



کاربرد پروسه و بسته بندی هردل برای نگه داری میوه های تازه چیده شده و سبزیجات

مریم فرنودی خشت مسجدی

دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی موسسه غیر انتفاعی مهرآیین ، بند انزلی، ایران

فاطمه ضیاء ضیابری

عضو هیئت علمی موسسه غیر انتفاعی مهر آیین، بند انزلی

چکیده

اخیراً تقاضای مصرف کنندگان برای مصرف غذای تازه ، مغذی و راحت نشان داده است که افزایش قابل توجه این روند باعث افزایش فروش محصولات مبتنی بر میوه و سبزیجات با حداقل فرآوری و/یا پیش بسته بندی شده است. توسعه محصول جدید و تنوع محصولات گیاهی غذاها از این رشد حمایت کرده است. بخش تولید مواد غذایی باید با لزوم ارائه مواد غذایی ایمن با ماندگاری طولانی این نیاز را متعادل کند و در عین حال پاسخگویی به خواسته های مصرف کننده برای محصولات غذایی جدید، مغذی و مقرون به صرفه را پوشش دهد. استفاده از «سافت هردل» جایگزین ممکن است منجر به کاهش نرخ فاسد شدن مواد غذایی و فساد ناشی از فعالیت میکروبی یا سایر واکنش های تخریب فیزیولوژیکی/شیمیایی می شود. هدف این مقاله ارائه یک بررسی سیستماتیک از اثر نگهدارنده هردل موجود در هنگام پردازش و بسته بندی میوه ها و سبزیجات تازه چیده شده با تمرکز بر کاربردهای اخیر با هدف بهبود کیفیت محصول و افزایش عمر ماندگاری محدود آنها است.

واژگان کلیدی: غذاهای گیاهی هردل؛ کیفیت؛ حفظ؛ پروسه؛ بسته بندی



مقدمه

میوه ها و سبزیجات نقش بسزایی در تغذیه سالم انسان ایفا می کنند و در فهرست اولویت های مصرفی از رتبه بالایی برخوردارند. سازمان جهانی بهداشت مصرف روزانه ۴۰۰ گرم میوه و سبزیجات را پیشنهاد کرده است. در پاسخ به این توصیه، چندین برنامه مرتبط با غذا و سلامت (به عنوان مثال روزانه پنج مرتبه) به منظور تشویق مصرف میوه ها و سبزیجات در طول دهه ۱۹۹۰ و بعد از آن اعلام شده است.

علیرغم مزایای غیرقابل انکار سلامت بودن محصولات، حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری و تضمین ایمنی میکروبی چنین غذاهای فاسد شدنی اساساً مهم است. به خوبی ثابت شده است که تغییرات فیزیولوژیکی پس از برداشت و آلودگی های باکتریایی بالقوه که در حین کار قبل از برداشت و پس از برداشت اتفاق می افتد، و همچنین مراحل تولید اضافی (مانند پوست کندن، برش، برش، یا خرد کردن)، باعث خراب شدن و فساد سریع میوه ها و سبزیجات می شوند. چندین مرتبه شیوع قابل توجه بیماری های ناشی از غذا یا مصرف میوه ها و سبزیجات آماده تازه کم فراوری شده همراه بوده است و تعداد موارد گزارش شده در طول دو دهه گذشته افزایش ثابتی داشته است.

چندین روش نگهداری مواد غذایی با هدف جلوگیری از رشد میکروارگانیسم ها و حفظ کیفیت میوه ها و سبزیجات استفاده شده است. بیشتر فناوری های این فرآیند بر اساس یک عامل نگهداری واحد (مانند دماهای بالا، ذخیره سرما، کاهش فعالیت آب، و غیره) هستند که اغلب مشخصات اولیه کیفیت غذا را تغییر می دهند، به ویژه از نظر ویژگی های حسی، تغذیه ای و ویژگی های فیزیکی شیمیایی. با این حال، هر یک از تکنیک های نگهداری سطح بهینه تا حد قابلی را ارائه می کند که فی نفسه بر میکروارگانیسم ها تأثیر می گذارد.

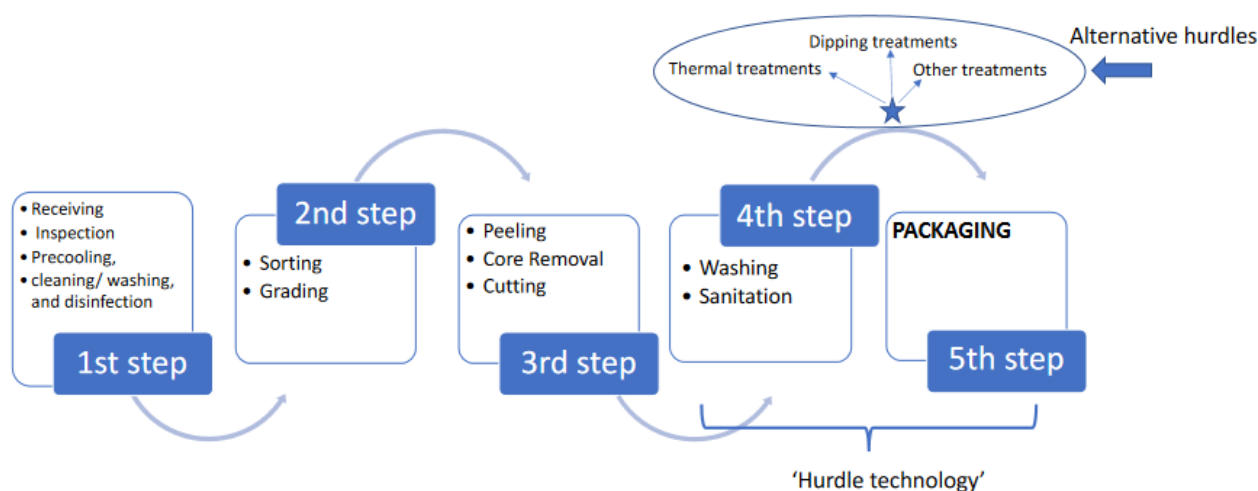
روش های جدید برای تولید محصولات غذایی بوجود آمده است که مطابق یا با تقاضای مصرف کنندگان همخوانی ندارد یا همخوانی کمی با دارا بودن کیفیت بالاتر، خواص حسی "طبیعی" بیشتر، و با یا بدون افزودنی، از نظر میکروبیولوژیکی ایمن و تغذیه سالم تر است. فناوری هردل، کاربرد ترکیبی روش های نگهداری مرسوم و نوآورانه را معرفی می کند و قصد دارد مجموعه ای از عوامل نگهدارنده (هردل) را فراهم کند که میکروارگانیسم ها نمی توانند بر آنها غلبه کنند. نگهداری مواد غذایی به معنای قرار دادن میکروارگانیسم ها در یک محیط با شرایط سخت است تا از رشد آنها جلوگیری جلوگیری به عمل آید یا بقای آنها را کم کند یا باعث مرگ آنها شود. پاسخ های عملی میکروارگانیسم ها به این محیط با شرایط سخت تعیین می کند که آیا آنها ممکن است رشد کنند یا نه.

در اصل، رویکرد هردل، جنبه های فیزیولوژیکی میکروارگانیسم ها را هدف قرار می دهد، این فرآیند شامل چهار مکانیسم اصلی است: هموستاز، فرسایش متابولیک یا استریل سازی خودکار، واکنش استرس، یا نگهداری چند منظوره غذاها [۸-۱۰]. با هدف دستیابی به هدف پایداری میکروبی، هردل متعدد (مجموعه مناسبی از هردل اعمال شده) برای حفظ کیفیت برتر تغذیه ای و حسی غذا ترکیب می شوند. مهمترین موانع مورد استفاده در نگهداری مواد غذایی عبارتند از: دما در طول پروسه نگهداری، حمل و نقل و ذخیره سازی (زیاد یا کم)، فعالیت آب (aw)، اسیدیته (ph)، پتانسیل ردوکس (Eh)، نگهدارنده ها (به عنوان مثال، طبیعی یا مصنوعی)، و میکروارگانیسم های رقابتی (به عنوان مثال، باکتری های اسید لاکتیک). طبق گفته لایستر [۸،۹]، بیش از ۶۰ هاردل بالقوه برای غذاها گزارش شده است که ممکن است ثبات و کیفیت محصولات غذایی را افزایش دهد. با این حال، این لیست به هیچ وجه هنوز کامل نیست.

موانع فردی ممکن است به طور همزمان یا متوالی بسته به ابزار هردل استفاده شده و روش نگهداری محصول اعمال شوند [۱۰]. استفاده از این رویکرد (گزارش شده مانند فرآیندهای ترکیبی یا فناوری هردل) پتانسیل خود را به عنوان عامل بسیار مؤثر بر طیف گسترده ای از انواع محصولات غذایی نشان داده است [۱۰،۱۱]. زیرا ترکیب هوشمندانه هردل ممکن است ایمنی و کیفیت میکروبی و همچنین پارامترهای ارگانولپتیک، ارزش غذایی و امکان سنجی اقتصادی یک محصول را تضمین کند. این ممکن است منجر به تولید محصولی کاملاً متفاوت با ظاهر و طعم منحصر به فرد شود. مهمترین عامل برای کاربرد موفقیت آمیز فناوری هردل، انتخاب هردل مناسب برای محصول غذایی هدف است. در این زمینه، هدف این مقاله مرور و خلاصه کردن حالت های اصلی تخریب میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده و توصیف انتقادی هردل موجود در فرآیند پردازش و بسته بندی آنها با تمرکز بر کاربردهای اخیر است.

حالت های اصلی زوال میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده

میوه ها و سبزیجات محصولات غذایی زنده ای هستند که به طور متوالی تحت فرآیند رسیدن و پیری قرار می گیرند و به عبارت بهتر بافت گیاه در واقع تجزیه می شود. محصولات گیاهی تحت فرآیندهای بیولوژیکی مختلفی قرار می گیرند که مدت ها پس از زمان برداشت ادامه می یابد، مانند فرآیند تنفس و تولید اتیلن که با سرعت های متفاوتی بین میوه ها و سبزیجات مختلف اتفاق می افتد [۱۲]. تأثیر تنفس بر کیفیت محصولات تازه ممکن است شامل کاهش وزن در نتیجه تجزیه اکسیداتیو مولکول های سوپسترا باشد - به عنوان مثال، نشاسته، قندها و اسیدهای آلی به مولکول های ساده تر (مانند H_2O و CO_2) [۱۳]. تا آنجا که موضوع به میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده شده مرتبط می شود، فساد اغلب به فرآیندهای فیزیولوژیکی و میکروبیولوژیکی و فعل و انفعالات آنها نسبت داده می شود [۱۴]. نمودار جریان نشان دهنده تولید چنین محصولاتی، شامل انواع درمان ها قبل از استفاده از "فناوری هاردل"، در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۵].



شکل ۱. نمودار جریان نشان دهنده فرآیند تولید میوه ها و سبزیجات تازه بریده شده

در این بخش، مهم ترین ویژگی های کیفی و حالت های اصلی زوال این بافت های گیاهی فاسد شدنی به اختصار بیان می شود تا ضرورت وجود هاردل، روش های بسته بندی خاص برای حفظ آنها بهتر نشان داده شود. در حوزه مطالب این مقاله نیست که حالت های زوال چنین بافت های فاسد شدنی را با جزئیات شرح دهد، موضوعی که به صراحت در [۱۶-۱۸] ارائه شده است. همانطور که در [۱۶، ۱۷] توضیح داده شد، از آنجایی که میوه ها و سبزیجات منابع خوبی از مواد مغذی و آب هستند، انواع میکروارگانیسم ها به طور بالقوه می توانند تحت این شرایط محیطی رشد کنند. حمله میکروبی می تواند در مزرعه یا در طی عملیات پس از برداشت و فرآوری صورت گیرد. باکتری های فساد شامل گونه هایی مانند *Enterobacteriaceae*، *Pseudomonadaceae* و سایر گونه های موجود در باکتری های اسید لاکتیک عمدتاً (*Leuconostoc mesenteroides*) می باشند. بسته به ترکیب ماتریکس گیاه، گونه های مخمر و کپک های مختلفی در میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده شناسایی شده اند. با این حال، در بیشتر موارد، وجود و تکثیر این میکروارگانیسم ها به شدت بر کیفیت محصول تأثیر می گذارد، اما در واقع سلامت مصرف کنندگان را به خطر نمی اندازد. با تمرکز بر پاتوژن ها، تنها گونه های کمی در محصولات تازه برداشت شده یافت شده اند، مانند اشریشیا کلی $V:H157O$ ، سالمونلا spp.، *Shigella* spp.، لیستریا مونوسیتوژنز، کمپیلوباکتر، و ویروس ها و انگل های خاص. تحقیقات متعدد منتشر شده ای وجود دارد که به صراحت اثر چندین تیمار را بر پوسیدگی میکروبیولوژیکی انواع محصولات باغبانی توصیف کرده است، به عنوان مثال، در هویج [۱۹]. طالبی [۲۰-۲۲]، قاج سیب [۲۳]، توت فرنگی [۲۴]، و غیره.



برای برداشت محصولات تازه گاهی زخمی کردن بافت گیاهی اجتناب ناپذیر است، که اغلب باعث شروع توالی از فعالیت های تنفسی، متابولیکی و آنزیمی می شود که منجر به تخریب کیفیت می شود [۱۸]: زوال بافت، افزایش رسیدن و پیری، تشکیل طعم های نامطبوع، تخریب رنگ و سایر تغییرات نامطلوب، تمام این واکنش ها در محصولات میوه و سبزیجات تازه برداشت شده باعث کاهش ماندگاری محصول می شود و در نتیجه می تواند محصول را غیرقابل فروش کند. رفتار پس از برداشت بافت های اقلیم با افزایش تنفس گیاه، به صورت تسریع تولید هورمون گیاهی در حال رسیدن با اتیلن-آغاز و چندین فعالیت متابولیکی مرکب دیگر که ممکن است باعث رسیدن و پیری چنین محصولات گیاهی آسیب پذیر شود مشخص می شود [۱۸، ۲۵].

انتشار آنزیم های تخریب کننده کیفیت، مانند پلی فنل اکسیدازها، سلولازها، آنزیم های پکتولیتیک، آمیلازها و پراکسیدازها، باعث تغییرات حسی جدی مانند تغییر رنگ، نرم شدن، تولید طعم ها و بوی بد و غیره می شود [۲۶]، [۲۷]. دریافت بازرسی قبل از خنک کردن، تمیز کردن، شستشو، و ضد عفونی، مرحله ۱ مرتب سازی درجه بندی، مرحله ۲ لایه برداری برداشتن هسته برش، مرحله ۳ شستشوی بهداشتی، مرحله ۴ بسته بندی، مرحله ۵ عملیات حرارتی درمان غوطه ور و سایر درمان ها، هردل جایگزین چارت هردل فناوری طبیعی شکل ۱ فلوچارت فرآیند تولید میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده است. در این بخش، مهم ترین ویژگی های کیفی و حالت های اصلی زوال این بافت های گیاهی فاسد شدنی به اختصار تشریح می شود تا ضرورت وجود هردل، روش های بسته بندی خاص برای حفظ آنها بهتر نشان داده شود. در حیطه این مقاله نیست که حالت های زوال چنین بافت های فاسد شدنی را با جزئیات شرح دهد، موضوعی که به صراحت در [۱۶-۱۸] ارائه شده است.

فساد میکروبی

همانطور که در [۱۶، ۱۷] توضیح داده شد، از آنجایی که میوه ها و سبزیجات منابع خوبی از مواد مغذی و آب هستند، انواع میکروارگانیسم ها به طور بالقوه می توانند تحت این شرایط محیطی رشد کنند. حمله میکروبی می تواند در مزرعه یا در طی عملیات پس از برداشت و فرآوری صورت گیرد. باکتری های فساد شامل گونه هایی مانند *Pseudomonadaceae*، *Enterobacteriaceae* و سایر گونه های موجود در باکتری های اسید لاکتیک عمدتاً (*Leuconostoc mesenteroides*) می باشند. بسته به ترکیب ماتریکس گیاه، گونه های مخمر و کپک های مختلفی در میوه ها و سبزیجات تازه بریده شده شناسایی شده اند. با این حال، در بیشتر موارد، وجود و تکثیر این میکروارگانیسم ها به شدت بر کیفیت محصول تأثیر می گذارد، اما در واقع سلامت مصرف کنندگان را به خطر نمی اندازد. با تمرکز بر پاتوژن ها، تنها گونه های کمی در محصولات تازه بریده شده یافت شده اند، مانند اشیریشیا کلی $7: H15VO$ ، سالمونلا گونه، شیگلا، لیستریا مونوسیتوزنز، کمپیلوباکتر، و ویروس ها و انگل های خاص. تحقیقات منتشر شده متعددی وجود دارد که به صراحت اثر چندین تیمار را بر پوسیدگی میکروبیولوژیکی انواع محصولات باغبانی توصیف کرده است، به عنوان مثال، در هویج [۱۹]، طالبی [۲۰-۲۲]، قاج سیب [۲۳]، توت فرنگی [۲۴]، و غیره.

فعالیت فیزیولوژیکی

گاهی برای برداشت محصول نیاز به زخمی شدن بافت گیاهی وجود دارد، که اغلب باعث شروع توالی از فعالیت های تنفسی، متابولیکی و آنزیمی می شود که منجر به تخریب مهم کیفیت می شود [۱۸]: زوال بافت، افزایش رسیدن و پیری، تشکیل طعم های نامطبوع، تخریب رنگ و سایر تغییرات نامطلوب تمام این واکنش ها در محصولات میوه و سبزیجات تازه برش خورده باعث کاهش ماندگاری محصول می شود و در نتیجه می تواند محصول را غیرقابل فروش کند. رفتار پس از برداشت بافت های اقلیم با افزایش تنفس، تسریع تولید هورمون گیاهی در حال رسیدن اتیلن-آغاز و چندین فعالیت متابولیکی مرکب دیگر مشخص می شود که ممکن است باعث رسیدن و پیری چنین محصولات گیاهی آسیب پذیر شود [۱۸، ۲۵].

انتشار آنزیم های تخریب کننده کیفیت، مانند پلی فنل اکسیدازها، سلولازها، آنزیم های پکتولیتیک، آمیلازها و پراکسیدازها، باعث تغییرات حسی جدی مانند تغییر رنگ، نرم شدن، تولید طعم های بد و بدبو و غیره می شود. [۲۷]. یکی دیگر از جنبه های رفتار دینامیکی چنین



محصولاتی مربوط به اتلاف آب است، به طور گسترده معروف به "تعرق". گزارش شده است که بافت های تازه برداشت شده گیاهی به میزان بیشتری نسبت به محصولات دست نخورده آب از دست می دهند، که به افزایش نسبت سطح به حجم ناشی از روش های برش در طی حداقل پردازش نسبت داده می شود. از سوی دیگر، دمای نگهداری سرد [۲۸،۲۹] و ترکیب اتمسفر نیز ممکن است باعث اختلالات متعددی شود.

زیرا هم بر میزان تنفس و هم بر کیفیت غذایی محصولات تازه برداشت شده تأثیر می گذارد. با این وجود، شایان ذکر است که محصول تازه برداشت شده از آسیب ناشی از سرما رنج نمی برد، اختلالی که اغلب در نمونه دست نخورده مشاهده می شود [۱۷]. با توجه به اینکه همه این مسیرهای فیزیولوژیکی کیفیت حسی و تغذیه ای محصول را کاهش می دهند، چالش تحقیق حاضر بر روی آزمایش هردل احتمالی به منظور مقابله با این پوسیدگی فیزیولوژیکی از جمله دماهای پایین، پوشش های خوراکی، آنتی اکسیدان ها، اسیدولان ها، عوامل ضد میکروبی، اتیلن است. مهارکننده ها، بسته بندی MAP، و غیره. در مقالات اخیر، چندین مطالعه جالب در مورد تخریب کیفیت میوه ها و سبزیجات با حداقل فرآوری شده به دلیل فعالیت فیزیولوژیکی، از جمله برای انار [۳۰]، کرفس [۳۱]، کلم بروکلی [۳۲]، گوجه فرنگی [۱۴] مارچوبه [۳۳] وجود دارد.

عوامل مرتبط با تخریب ویژگی های حسی

از دست دادن آب

از دست دادن رطوبت در نتیجه تعرق در حین نگهداری و حمل و نقل عامل مهمی است که بر کیفیت و بازارپسندی محصولات حساس مانند میوه ها و سبزیجات تأثیر می گذارد. در طول حمل و نقل پس از برداشت، میوه ها و سبزیجات تازه تمایل دارند رطوبت خود را از طریق پوست، روزنه، کوتیکول و سایر اجزای ساختاری خود از دست بدهند، به ویژه زمانی که جو اطراف دارای رطوبت نسبی کم است. پدیده تعرق در اثر اختلاف فشار بخار آب بین سطح محصول و محیط ایجاد می شود [۱۸،۲۶]. شایان ذکر است که تبخیر در سطح محصول یک فرآیند گرماگیر است که باعث کاهش دمای محصول می شود. از دست دادن آب به عوامل ذاتی مانند مورفولوژی سطح، اندازه، نسبت سطح به وزن و حجم، مرحله بلوغ، صدمات فیزیکی و همچنین عوامل بیرونی مانند دما، رطوبت نسبی و جریان هوا در اطراف محصول بستگی دارد. همانطور که به آسانی مشاهده شد [۲۶،۳۴]، برخی از بافت های گیاهی بیشتر در معرض از دست دادن آب هستند، مانند سبزیجات برگدار، مانند کاهو، که به سرعت پژمرده و چروک می شوند، در حالی که برخی دیگر، مانند سیب و گلابی، در برابر از دست دادن آب مقاوم تر هستند. محصولات تازه برداشت شده به دلیل افزایش نرخ تعرق ناشی از افزایش نسبت سطح به حجم، نسبت به محصولات کامل بیشتر مستعد تخریب کیفیت هستند. این فرآیند از دست دادن آب اثرات نامطلوب جدی بر ویژگی های کیفی چنین کالاهای فاسد شدنی دارد، از جمله از دست دادن حجم، چروکیدگی، پژمردگی و پلاسیده شدن [۳۵]. مطالعات متعددی برای اندازه گیری این شاخص ها به منظور ارزیابی تخریب محصول وجود دارد [۱۹،۳۰،۳۶-۳۹].

تغییرات بافت

ویژگی های بافتی بافت های گیاهی در طول حمل و نقل پس از برداشت متفاوت است، زیرا به عوامل زیادی مانند مرحله بلوغ، تنش آبی، دمای انبار و رطوبت نسبی، حمل و نقل خشن و فرآیند رسیدن بستگی دارد.

تغییرات مشاهده شده در چندین محصول شامل نرم شدن، از دست دادن تورگور، و افزایش کشش یا چقرمگی است که منجر به کاهش قابل توجه کیفیت محصول می شود. این پدیده های منفی ممکن است به دلیل فرآیند تعرق یا فعالیت چندین آنزیم یا آسیب های مکانیکی که در حین حمل و نقل و ذخیره سازی رخ می دهد، ایجاد شود. آنزیم هایی مانند β گالاکتوزیداز، پلی گالاکتوروناز، پکتین



متیل استراز، سلولز، فنیل آلانین آمونیاک لیاز، پراکسیداز و سلولاز ممکن است منجر به اصلاح دیواره سلولی و تخریب قابل توجه پکتین شوند.

نمونه هایی از چنین نقص های بافتی شامل تخریب پکتین در توت فرنگی [۴۰] و گوجه فرنگی [۳۹،۴۰]، سفت شدن در مارچوبه [۳۳]، از دست دادن تردی در کاهو و اسفناج [۴۱]، سفت شدن در هویج [۱۹،۴۲]، کاهش سفتی در کرفس [۳۸]، لکه دار شدن در طالبی [۴۳]، تغییر در کلم بروکلی [۳۲] و غیره [۴۴].

تغییرات رنگ

رنگ یکی از تعیین کننده ترین عوامل برای پذیرش یا رد کالاها از سوی مصرف کننده، مانند میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده در نظر گرفته می شود و اغلب به عنوان شاخص سطح کیفیت کلی و مرحله بلوغ محصول نهایی استفاده می شود [۱۷]. رنگ به طور قابل توجهی تحت تأثیر عواملی مانند رقم خاص، شرایط دما و رطوبت نسبی و روش های نگهداری پس از برداشت قرار می گیرد. تغییرات رنگ توسط واکنش های آنابولیک یا کاتابولیک ترکیبات رنگدانه، از جمله کلروفیل (سبز)، آنتوسیانین (قرمز، آبی و بنفش)، و کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها (زرد و نارنجی) نشان داده می شود [۴۵]. این تغییرات ممکن است به عنوان یک نتیجه از فرآیند رسیدن رخ دهد، اما همچنین می تواند توسط آسیب های مکانیکی بر روی بافت های سلولی در حین جابجایی و بارگیری ایجاد شود. یکی دیگر از علل شایع تخریب رنگ در میوه های تازه برداشت شده با فعالیت آنزیمی (به عنوان مثال، PPO (پلی فنل اکسیداز) و POD (پراکسیداز)) مرتبط است که به دنبال آسیب دیواره سلولی ایجاد می شود، که تماس فوری آنزیم ها، بسترها، و اکسیژن. قهوه ای شدن سیب، هلو، گلابی، آووکادو و غیره از عیب اصلی این کالاها محسوب می شود و به وجود ترکیبات فنلی (سوبسترای لازم)، فعالیت پلی فنل اکسیداز (PPO) و غلظت آنتی اکسیدان ها بستگی دارد. درون سلول های میوه [۴۶]. بهاتیا و همکاران [۳۰]، ژائو و همکاران. [۳۶]، ماسولو و همکاران. [۳۱]، پالسن و همکاران. [۳۲]، کومار و همکاران. [۳۹]، سوچتا و همکاران. [۴۰] و لوین و همکاران. [۳۳] تغییرات رنگ محصولات برش تازه با حداقل پردازش را به عنوان شاخصی برای توصیف تخریب محصول مورد مطالعه قرار داده اند.



طعم/مزه و تغییر ساختاری (تغییر ترکیب)

به خوبی مشخص شده است که ترکیب بافت گیاه به طور مداوم در حال تغییر است، نه تنها در طول رشد و رسیدن، بلکه پس از برداشت، که منجر به ویژگی های کیفی مثبت یا منفی می شود [۱۶]. در میان این تغییرات ترکیبی، محتوای جامدات محلول و اسیدیت (و به ویژه نسبت آنها) اغلب به عنوان یک معیار کیفیت برای انتخاب محصول برای بسته بندی و زمان برداشت استفاده می شود. چنین تغییراتی برای کالاهای اقلیم بارزتر است زیرا آنها حتی پس از برداشت نیز به رسیدن ادامه می دهند. ویژگی های طعمی بیشتر میوه ها تا حد زیادی تحت تأثیر غلظت قند (شیرینی)، اسیدهای آلی (اسیدیت)، ترکیبات فنولی (قابض) و فرارهای خاص (عطر) آنها است [۴۵].

تلفات فرار می تواند با فرآیند رسیدن، شرایط نامناسب ذخیره سازی یا فعالیت آنزیمی، آنزیم های مربوطه مانند پراکسیدازها و لیپوکسیژنازها مرتبط باشد. تا آنجا که به فاکتورهای تغذیه ای مربوط می شود، میوه ها و سبزیجات تازه منابع خوبی از ویتامین ها، مواد معدنی، فیبر غذایی و انواع مختلفی از ترکیبات دارای فعالیت آنتی اکسیدانی (فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها، پلی فنول ها و سایر مواد مغذی گیاهی) در نظر گرفته می شوند. اتلاف قابل توجهی از چنین موادی در حین جابجایی و پردازش و پس از برداشت اندازه گیری می شود. این تلفات عمدتاً ناشی از آسیب فیزیکی دیواره سلولی، شرایط نامناسب دما و رطوبت نسبی در حین ذخیره سازی و آسیب ناشی از سرمای کالاهای حساس است [۴۵]. در ماسولو و همکاران [۳۱]، سوچتا و همکاران [۴۰]، زو و همکاران [۲۲]، رودریگز-آرزوگا و همکاران [۲۳]، و Avalos-Llano و همکاران [۲۴] تغییرات حسی محصولات تازه انتخاب شده به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است.

هردل اعمال شده در حفظ و افزایش ماندگاری میوه های تازه برداشت شده و سبزیجات

همانطور که اغلب در بررسی های نسبی مشاهده می شود، مصرف کنندگان اخیراً تمایل دارند غذاهای فاسد شدنی را با حداقل فرآوری تهیه کنند، بنابراین مشخصات تغذیه ای، حسی غذای فرآوری شده به طور اساسی تغییر نخواهد کرد.

در این کار، تمرکز بر میوه ها و سبزیجات تازه برداشت شده است. محصولات حداقل فرآوری شده به عنوان "میوه ها و سبزیجات شسته شده، پردازش فیزیکی (پوست کندن، برش، برش یا خرد کردن)، بسته بندی و نگهداری شده در یخچال گزارش شده است [۶،۴۷] در ماتریس هایی که هنوز تنفس می کنند، تفاوت اصلی با نمونه های خام آنها این است که فرآیند تنفس توسط فرآیندهایی مانند برش، برش، عملیات حرارتی در دمای پایین و مواد نگهدارنده افزایش می یابد [۴۸].

علاوه بر این، آنها شبیه غذاهای کم آب نیستند، به خصوص به دلیل ویژگی های بافت و فعالیت آبی (aw) که بالاتر از ۰.۹۵ است. از سوی دیگر، بافت های گیاهی کم آب به صورت پایدار در دمای محیط نگهداری می شوند و بنابراین مدیریت زنجیره سرد اعمال نمی شود. تا آنجا که به مقایسه با غذاهای فرآوری شده حرارتی مربوط می شود، میوه ها و سبزیجات حداقل فرآوری شده را نمی توان به عنوان "تجاری استریل" در نظر گرفت

انواع مختلفی از هردل را می توان در فرایند برداشت میوه و سبزیجات استفاده کرد، از جمله عملیات حرارتی، ذخیره سازی در دمای پایین، تنظیم اسیدیت، کاهش فعالیت آب، استفاده از نگهدارنده های مناسب و غیره [۸-۱۰]. در همه موارد، انتخاب و توالی هردل به نوع میکروارگانیسم ها بستگی دارد و هدف اصلی برآورده کردن استانداردهای ایمنی بدون به خطر انداختن کیفیت غذا و سلامت مصرف کننده است [۴۹].

انتظار می رود که انتخاب دقیق و مستند هردل، علاوه بر شدت هر کدام، و توالی اعمال شده برای به دست آوردن هدف ایمنی و کیفیت خاص، پتانسیل قابل توجهی را برای آینده میوه ها و سبزیجات با حداقل فرآوری شده نشان دهد [۵۰]. در مورد میوه ها و سبزیجات تازه



بریده شده، همانطور که قبلاً بحث شد، عوامل غالبی که باعث فساد برگشت ناپذیر و دفع ارگانولپتیک می شوند، به فعالیت میکروبی و آنزیمی بالقوه مربوط می شوند.

بنابراین، تمام تکنیک‌های حفظ بالقوه، به اصطلاح «هردل»، یک مهار مؤثر میکروب و آنزیم را هدف قرار می‌دهند [۴۸]. برای دستیابی و بهبود ماندگاری به صورت مطلوب، برخی از روش‌های سنتی مانند حفظ حرارت (ترجیح عملیات حرارتی ملایم)، استفاده از مواد شیمیایی (مانند اسیدولان‌ها، آنتی اکسیدان‌ها، کلر، ضد میکروبی‌ها، ضد عفونی کننده‌ها و غیره)، نگهداری در دمای پایین، استفاده از تابش مناسب، اکسیداسیون/کاهش (O/R)، کاهش فعالیت آب (aw)، و بسته بندی مناسب (به عنوان مثال، بسته بندی اتمسفر اصلاح شده، MAP، پوشش‌های خوراکی و غیره) می‌توانند به طور مؤثر اعمال شوند.

کاربرد ترکیبی فن‌آوری‌های فوق، با در نظر گرفتن اثر هم افزایی هر دل یا هر دل‌های مختلف نگهداری، ممکن است انتخاب شود. این هر دل سیستم‌های آنزیمی دست نخورده یا تخریب شده در بافت‌های زنده، عمدتاً پلی فنل اکسیداز (PPO)، پراکسیداز (PO) یا پکتینازها، پلی گالاکتروناز (PG) و پکتین استراز (PE) و سایر آنزیم‌های مربوط به تنفسی را در مورد میوه‌های تازه برش داده شده در نظر می‌گیرند.

در سبزیجات، مرحله شستشو و روش بهداشتی نقش مهمی در ایمنی نهایی مواد غذایی دارند زیرا این کالاها به عنوان غذاهای "آماده برای مصرف" در نظر گرفته می‌شوند. هدف از بین بردن بقایای آفت کش‌ها، خاک و اجسام خارجی و میکروارگانیسم‌های مسئول تخریب کیفیت و فساد است [۵۱، ۵۲]. علاوه بر استفاده از مواد شیمیایی برای گندزدایی، سایر فناوری‌های فیزیکی مانند عملیات حرارتی، استفاده از اشعه ماوراء بنفش، فشار بالا، میدان الکتریکی پالسی، نور پالسی، میدان‌های مغناطیسی نوسانی، تابش گاما با دوز پایین، و درمان‌های اولتراسوند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

میکروارگانیسم‌ها را معمولاً با بیش از یک تکنیک در یک ترکیب مناسب از بین می‌برند [۵۲، ۵۳]. در این بخش، موانع اصلی اعمال شده در میوه‌ها و سبزیجات تازه برداشت شده به اختصار توضیح داده شده است و جدول (جدول ۱) شامل مطالعات شاخص ارائه شده است.

هردل‌های متعارف

عملیات حرارتی کوتاه مدت

این یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین شکل‌های نگهداری است که هدف آن کاهش میکروارگانیسم‌ها و مهار فعالیت آنزیم در بافت‌های گیاهی است (مرحله بلانچینگ معروف). مشکل عمده در چنین محصولات فاسد شدنی‌ای این است که گرما با کاهش قابل توجه طعم، بافت، رنگ و کیفیت غذایی همراه است. روش‌های اصلی به کار رفته در میوه‌ها و سبزیجات تازه برداشت شده شامل شیوه‌های کوتاه مدت آب گرم [۷۷-۸۱] است که هدف آن کنترل میکرو فلور سطح محصولات تازه است. سایر عملیات حرارتی شامل شستشو با آب گرم و مسواک زدن [82] (HWRB)، شوک حرارتی ملایم [۵۰، ۸۳]، سفید کردن آب داغ [۴۲، ۸۴] و غیره است. همانطور که در Sivakumar و [۸۲] Fallik بحث شد، گرمای کوتاه مدت تیمارها در صنعت محصولات تازه برداشت شده به عنوان وسیله‌ای مؤثر برای جلوگیری از اثرات منفی قهوه‌ای شدن آنزیمی و جایگزینی برای نگهداری شیمیایی جذاب تر می‌شوند.

دماهای پایین

ذخیره سازی سرد پس از رسیدگی، گامی ضروری در نگهداری میوه‌ها و سبزیجات تازه برداشت شده است، با هدف کند کردن رشد میکروبی و مهار فعالیت گسترده آنزیم. پیش سرد کردن یک مرحله رسیدگی متداول است که به دلیل هزینه کم، سادگی و راحتی، اغلب توسط صنایع محصولات باغی اعمال می‌شود [۳۳، ۸۵].

نگهداری شیمیایی با یا بدون کنترل (pH)



این دسته از هردل ها برای میوه های تازه برداشت شده و بافت های گیاهی با حداقل فراوری شده بسیار مهم است زیرا شامل عواملی است که برای اهداف شستشو و ضد عفونی استفاده می شوند [۵۰]. صنایع غذایی برای کاهش جمعیت باکتریایی اولیه بلافاصله پس از چیدن و به عنوان ابزاری برای حفظ کیفیت و افزایش عمر مفید، به ضد عفونی کننده های آب شستشو متکی است [۵۱]. برخی از مواد شیمیایی رایج عبارتند از ترکیبات مبتنی بر کلر (هیپوکلریت، دی اکسید کلر، کلریت سدیم اسیدی، آب اکسید کننده الکترولیز شده و غیره)، فرمولاسیون اسید آلی، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، آب ازن دار و ازن گازی (O_3)، محصولات قلیایی، و محصولات شوینده ید.

در مقالات اخیر، تحقیقات متعددی وجود دارد که استفاده مؤثر از ترکیبات شیمیایی را برای ضد عفونی کردن محصولات تازه برداشت شده گزارش می کند [۸۶-۹۰]. علاوه بر عوامل شستشو و ضد عفونی کننده، سایر ترکیبات شیمیایی به طور گسترده برای جلوگیری از فساد میکروبی و حفظ کیفیت محصولات گیاهی کم اسید، محصولات اسیدی کم اسید و محصولات میوه ای با اسید بالا استفاده شده است.

چنین موادی شامل مواد ضد میکروبی مانند اسیدهای آلی، اسیدهای چرب با زنجیره متوسط، استرهای اسیدهای چرب پلی هیدریک، شکر و نمک، اسید ال اسکوربیک و EDTA می باشد [۹۱]. نگهدارنده هایی که به عنوان آنتی اکسیدان عمل می کنند به طور گسترده برای جلوگیری از قهوه ای شدن آنزیمی، جلوگیری از تغییر رنگ نگهدارنده ها و محافظت در برابر از دست دادن ویژگی های حسی و تغذیه ای استفاده می شوند.

در گورتلر و همکاران. [۹۲]، مروری بر مواردی ارائه شده است که ترکیبات ضد میکروبی و پردازش حرارتی ملایم به صورت ترکیبی برای افزایش غیرفعال سازی جمعیت های بیماری زای مواد غذایی در غذاهای فاسد شدنی، از جمله کاهو، کلم خرد شده یا خرد شده، هویج خرد شده و برگ های بچه اسفناج استفاده شده است.

کاهش فعالیت آب

کاهش فعالیت آب می تواند یک راه بسیار مؤثر برای محدود کردن فعالیت میکروبی و آنزیمی باشد زیرا اکثر میوه ها و سبزیجات تازه تازه برداشت شده دارای $a_w \geq 0.98$ هستند. این روش شامل حذف مقدار معینی از رطوبت از غذاها (نوعی کم آبی) یا آغشته کردن همزمان در فشار اسمزی متوسط یا بالا (تصفیه اسمزی) است. بدیهی است که کاهش فعالیت آب نمی تواند به عنوان تنها "هردل" مورد استفاده قرار گیرد زیرا منجر به کم آبی گسترده ماتریکس با اثرات ناخوشایند بر ویژگی های تغذیه ای و حسی بافت خام می شود. همانطور که از طریق مثال های خاص نشان داده خواهد شد، استفاده از کاهش a_w در ترکیب با روش نگهداری دیگر می تواند راه مؤثری برای حفظ کیفیت برتر مواد خام باشد و در عین حال عمر مفید آن را افزایش دهد. این مانع در Dermesonlouoglou et al [۵۵] و مدینه و همکاران. [۹۳].

روش های بیولوژیکی (حفاظت زیستی)

این فرآیند عمدتاً مبتنی بر استفاده از میکرو فلور طبیعی یا کنترل شده، مانند باکتری های اسید لاکتیک و/یا متابولیت ها، برای بهبود ماندگاری و ایمنی محصولات غذایی است [۹۴]. این گونه به تولید ترکیبات متابولیک ضد میکروبی متعددی مانند باکتریوسین ها، دی استیل، پراکسید هیدروژن و اسیدهای آلی معروف است که ممکن است اثر زیادی بر میکروارگانیسم های بیماری زا بگذارد [۹۵،۹۶].

تکنیک های نوظهور در فناوری یکپارچه هردل

پیشرفت‌های اخیر در فناوری هردل شامل معرفی تکنیک‌های نوآورانه به عنوان بخشی از توالی هردل ها [۹۷،۹۸]، برای مثال HHP [55]، 99، 100، 101، PEF، 102، UV-C (فرابنفش موج کوتاه) [۱۰۰، ۱۰۳، ۱۰۴] ازن [۱۰۵]، نور پالسی [۱۰۶]، سونوگرافی با قدرت بالا [۱۰۰]، اکسیدان های طبیعی استخراج شده از ضایعات مواد غذایی و غیره در [۹۷] Alzamora et al. در همین راستا یک مرور کلی از عوامل اصلی "غیر حرارتی" در حال ظهور، همراه با نحوه عمل آنها، مزایا و معایب بالقوه، و فرآیندهای ترکیبی (موانع تکمیلی)، که برای نگهداری میوه استفاده شده است، ارائه شده است.

در یکی دیگر از مقالات جالب اخیر، مهم ترین پیشرفت های نوآورانه اعمال شده در زمینه میوه های تازه برداشت شده از جمله روش های فیزیکی، شیمیایی و زیستی ارائه شده است. فشار هیدرواستاتیک بالا (HHP) تکنیکی است که مبتنی بر اعمال آبی و یکنواخت فشار در حدود ۱۰۰ تا ۸۰۰ مگاپاسکال، زیر ۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد، از ثانیه صفر تا حدود ۲۰ دقیقه، با هدف از هم گسیختگی غشاء، داناتوره شدن پروتئین، نشت محتوای سلول های رویشی و تفکیک ریبوزوم ها نور فرابنفش موج کوتاه (UV-C) تابش از ناحیه ۲۰۰-۲۸۰ نانومتری طیف الکترومغناطیسی است.

این تکنیک که باعث آسیب گسترده به DNA، یکپارچگی غشاء و فعالیت آنزیم می شود. در مورد میوه های تازه برداشت شده یا سبزیجات حداقل فرآوری شده، ضد عفونی با اشعه ماوراء بنفش-C یک روش معمول در درمان پس از برداشت برای غیرفعال کردن سطح میکروارگانیسم ها است [۵۳]، و به دنبال آن هاردل دیگری مانند MAP یا انبار سرد، برای ماندگاری بیشتر است. علاوه بر آن میدان های الکتریکی پالسی (PEF) شامل استفاده از پالس های الکتریکی کوتاه ولتاژ بالا (۵-۵۰ کیلوولت بر سانتی متر، مدت زمان پالس چند میکروثانیه) برای غیرفعال سازی میکروبی و در عین حال حفظ کیفیت برتر غذای گیاهی است به کار رفته است.

مکانیسم اصلی، اختلال در غشای سلولی و از دست دادن نفوذپذیری غشاء است. تکنیک اولتراسوند پرقدرت (US) بر اساس تولید انرژی توسط امواج صوتی (۵ W/cm²؛ ۲۰-۱۰۰ کیلوهرتز) است و به خوبی شناخته شده است که باعث آسیب سلولی گسترده و لیز سلولی منتسب به کاویتاسیون می شود. یکی دیگر از هردل های در حال ظهور، نور پالسی (PL) است که بر اساس پالس های کوتاه نور با شدت بالا است.

مدت زمان در یک محدوده طول موج گسترده، از اشعه ماوراء بنفش تا ناحیه مادون قرمز نزدیک (۲۰۰-۱۱۰۰ نانومتر) است. علاوه بر کاهش قابل توجه میکروبی که در یک زمان رسیدگی بسیار کوتاه به دلیل آسیب DNA و اجزای سلولی به دست می آید، تأثیر محیطی کم و انعطاف پذیری بالا از مزایای اصلی تکنیک PL است [۱۰۶].

پلاسمای سرد یکی دیگر از فناوری های پردازش غیرحرارتی است که هدف آن کاهش جمعیت میکروبی روی سطوح محصول به عنوان جایگزینی برای عوامل ضد عفونی کننده شیمیایی است [۱۰۰، ۱۰۷، ۱۰۸]. اخیراً، تحقیقات علمی پتانسیل استفاده از فاز متراکم دی اکسید کربن (۲DP-CO) را به عنوان یک درمان غیر حرارتی جایگزین برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم ها و آنزیم ها در میوه ها و سبزیجات با حداقل فرآوری شده بررسی کرده اند [۱۰۸-۱۱۱]. یکی دیگر از موانع جالب استفاده از ترکیبات طبیعی با ظرفیت آنتی اکسیدانی به عنوان یک جایگزین موثر برای افزودنی های مصنوعی است. علاوه بر این، مزایای چنین رویکردی زمانی به حداکثر می رسد که آن ترکیبات زیست فعال به عنوان بخشی از بهره برداری پایدار از ضایعات غذایی از صنایع غذایی توسط محصولات استخراج شوند.

در Venturi و همکاران [۱۱۲]، ترکیبات آنتی اکسیدانی با ارزش افزوده بالا از محصولات جانبی سیب زمینی ارگانیک استخراج شد و به طور موثر در پیش تصفیه مکعب های سیب تازه برداشت شده، جایگزین سایر مواد شیمیایی بالقوه خطرناک با موفقیت استفاده شد. یافته های مثبت مشابه در مورد مزایای بهره برداری از محصولات جانبی غذایی برای افزایش عمر مفید چند محصول باغی برداشت شده در [۱۱۳، ۱۱۴] ارائه شده است. نگهداری با استفاده از تابش، شامل گرمایش مادون قرمز، مایکروویو، اشعه ماوراء بنفش، تابش یونیزان و غیره است. پتانسیل افزایش ماندگاری و حفظ طراوت میوه های تازه برداشت شده را دارد [۹۵، ۱۱۵-۱۱۷].

یک شکل گویا از کاربرد مفهوم هردل در شکل ۲ برای برخی موارد شاخص جدول ۱ ارائه شده است. در شکل A۲، یک محصول تازه برداشت شده (هلو و زردآلو) یک عملیات حرارتی کوتاه (بلانچینگ) دریافت می کند تا سطح آنزیم های باقی مانده و بار میکروبی اولیه



موجود در ماده خام را کاهش دهد. هاردل دوم شامل استفاده همزمان از یک فرآیند کاهش aw، یعنی آبیگری اسمزی قطعات برداشت شده، غوطه ور در محلولی حاوی یک عامل نگهدارنده (یک محصول ضد میکروبی طبیعی با علامت (P) است که مستقیماً بر سیستم های میکروبی تأثیر می گذارد. هدف مرحله فشار هیدرواستاتیک بالا (HHP) هم مهار آنزیم و هم غیرفعال سازی میکروبی اضافی (پاستوریزه کردن سرد) است. این محصول در طول مدت نگهداری، توزیع و بازاریابی در دمای پایین بسته بندی و نگهداری می شود (داده های بدست آمده از Dermesonlouoglou و همکاران [۵۹]). در شکل B۲، سیب های تازه برداشت شده ابتدا با آب کلر داده شده شسته می شوند (کاهش اندک میکروبی) و سپس در محلول اسید اسکوربیک/کلرید کلسیم غوطه ور می شوند و pH را کاهش می دهند و باعث ایجاد اثر ضد قهوه ای (از طریق غیرفعال شدن آنزیم) می شوند. هردل بعدی شامل یک نوع نگهداری با پوشش خوراکی است که تنفس، از دست دادن آب و نرخ واکنش اکسیداسیون را کاهش می دهد، که کمی بر غیرفعال شدن آنزیم و میکروبی تأثیر می گذارد. در نهایت، یک درمان با نور پالسی با هدف کاهش بیشتر میکروبی انجام می شود. این محصول در طول مدت نگهداری، توزیع و بازاریابی در دمای پایین بسته بندی و نگهداری می شود (داده های بدست آمده از Moreira و همکاران [۵۶]).

حفاظت از میوه ها و سبزیجات با روش های بسته بندی مناسب

نگرانی عمده در خرید میوه ها و فرآورده های تازه برداشت شده آماده مصرف، ماندگاری کوتاه آن ها در نتیجه کاهش سریع کیفیت در مراحل پس از برداشت است که منجر به ظاهر نامطلوب و کاهش طعم پذیری به عنوان مثال، سالادهای برگ تازه بسته بندی شده به طور قابل توجهی فاسد شدنی هستند و ماندگاری آنها در یخچال ($\geq 5^{\circ}\text{C}$) بین ۷ تا ۱۰ روز است. عمر مفید میوه ها و سبزیجات را می توان بر اساس تغییرات باکتریایی و شیمیایی محاسبه کرد. میکرو فلور فساد پیچیده بومی شامل گونه های سودوموناس، باکتری های اسید لاکتیک، گونه های انتروباکتریاسه، مخمرها و کپک ها است. عوامل اضافی مؤثر بر کیفیت ممکن است قهوه ای شدن و نرم شدن آنزیمی باشد که ممکن است تا حدی به آنزیم های میکروارگانیسم ها نسبت داده شود [۶۶، ۱۱۸، ۱۱۹]. استفاده از بسته بندی مناسب برای به حداقل رساندن آسیب فیزیکی میوه ها و سبزیجات و به دست آوردن ماندگاری مطلوب ضروری است.

در برخی موارد، انواع بسته بندی انتخاب شده (به عنوان مثال، سالم، سرگرم کننده، ساده و غیره) محصولات میوه و سبزیجات ممکن است به منظور تأثیرگذاری بر ارزیابی سلامت و طعم گروه های هدف خاص (به عنوان مثال، کودکان) انتخاب شوند. به گفته دیال و همکاران. [۱۲۰] کودکان تحت تأثیر برخی از جنبه های بسته بندی قرار گرفته اند، بسته بندی های سالم و سرگرم کننده را به طور مشابه رتبه بندی می کنند. به طور کلی، متداول ترین روش بسته بندی برای محصولات تازه استفاده از کارتن فیبر است. با این حال، در بیشتر موارد، یک لایه بسته بندی داخلی اضافی برای محدود کردن آسیب ناشی از سایش مناسب است. برای این منظور می توان از دستمال کاغذی، سینی، فنجان یا پد استفاده کرد. در مورد میوه های بسیار ظریف، بسته های کوچک با لایه های نسبتاً کمی از میوه ها برای کاهش فشرده سازی و محافظت بیشتر در برابر آسیب استفاده می شود. میوه ها را نیز می توان به صورت جداگانه با استفاده از دستمال کاغذی یا کاغذ موم بسته بندی کرد.

این تکنیک ممکن است آلودگی با ارگانیسم های بیماری را در یک بسته کاهش دهد [۱۲]. بسته بندی هوشمند، با در نظر گرفتن روش های بسته بندی فعال و ابزارهای مدیریت کیفیت، مانند کنترل گاز و رطوبت، سیستم های بسته بندی ضد میکروبی و/یا آنتی اکسیدانی، برچسب های هوشمند، و فیلم ها یا پوشش های خوراکی، ممکن است به عنوان روش های بسته بندی جدید در نظر گرفته شود که نتیجه آن در بهبود کیفیت و ماندگاری طولانی محصولات غذایی حساس گزارش شده است [۱۲۴-۱۲۶].

بر اساس دستورالعمل اتحادیه اروپا برای مقررات کمیسیون (EC) شماره ۲۰۰۹/۴۵۰، بسته بندی در صورتی فعال در نظر گرفته می شود که عملکردهایی فراتر از حفاظت متعارف و مانع بی اثر برای محیط خارجی ارائه دهد [۱۲۷]. تفاوت اصلی بسته بندی هوشمند و فعال

در این است که بسته بندی فعال شامل تشخیص و پاسخ مناسب به تغییرات محیط داخلی یا خارجی به منظور تنظیم خواص بسته بندی است.

بسته بندی هوشمند بر اساس تغییرات عوامل محیطی خارجی یا داخلی انجام می شود و اطلاعاتی را در مورد سطح کیفی غذای بسته بندی شده به مصرف کننده منتقل می کند [۱۲۸، ۱۲۹]. مواد هوشمند بر اساس EC/۲۰۰۹/۴۵۰ به عنوان ابزارهایی تعریف شده اند که وضعیت غذای بسته بندی شده یا محیط اطراف آن را ردیابی می کنند. بسته بندی فعال شامل جنبه های مختلفی است، مانند فرآیندهای فیزیولوژیکی (به عنوان مثال، تنفس میوه و سبزیجات تازه)، تغییرات شیمیایی (به عنوان مثال، اکسیداسیون لیپید)، تغییرات فیزیکی (به عنوان مثال، از دست دادن رطوبت)، و فعالیت میکروبی (به عنوان مثال، میکروبی) که ممکن است بر ماندگاری میوه ها و سبزیجات بسته بندی شده تأثیر بگذارد.

با اجرای سیستم های بسته بندی فعال مناسب، می توان این شرایط را به روش های مختلف مدیریت کرد و به نوبه خود، بسته به نیاز محصول بسته بندی شده، افت کیفیت به میزان قابل توجهی به تعویق افتد. عملکرد خاص بسته بندی فعال بستگی به ترکیبات فعالی دارد که در سیستم بسته بندی گنجانده شده است. به عنوان مثال، یک سیستم بسته بندی فعال ضد میکروبی مبتنی بر ترکیب ترکیبات ضد میکروبی در مواد بسته بندی با هدف به تأخیر انداختن یا جلوگیری از رشد میکروبی یا آلودگی در تمام مراحل از حمل و نقل تا مصرف نهایی است [۶].

وجود اکسیژن در بسته های مواد غذایی تازه ممکن است بر پارامترهای کیفی و ویژگی های حسی تأثیر منفی بگذارد. ممکن است باعث واکنش های بدتری مانند از دست دادن مواد مغذی، تغییر رنگ، ایجاد بی طعم و فعالیت میکروبی شود. همچنین تأثیر قابل توجهی بر میزان تنفس و تولید اتیلن در میوه ها و محصولات سبزیجات دارد.

حذف یا کم شدن O_2 جنبه ای از تلاش قابل توجه در حفظ محصولات غذایی بوده است. مواد بسته بندی هاردل غیرفعال، مانند مواد با هاردل بالا و سیستم های چند لایه، که حاوی کوپلیمرهای اتیلن-وینیل-الکل یا فویل آلومینیوم هستند، ممکن است برای بسته بندی مواد غذایی حساس به O_2 [۲] ۱۳۰ [و همچنین نانوکامپوزیت های با مانع بالا [۱۳۱] استفاده شوند.

با این حال، حذف مطلق O_2 در فضای سر یا انحلال O_2 در سطح غذا یا O_2 نفوذ داده شده به دیوار بسته بندی را نمی توان با روش های غیرفعال به دست آورد. بنابراین، جاذب های O_2 که به آنها جاذب O_2 نیز گفته می شود، می توانند با کاهش متابولیسم غذا، کاهش ترشیدگی اکسیداتیو، مهار اکسیداسیون نامطلوب رنگدانه ها و ویتامین ها، تأخیر در قهوه ای شدن آنزیمی، کنترل تغییر رنگ آنزیمی و مهار رشد میکروارگانیسم های هوازی مفید باشند [۱۳۲-۱۳۴].

جاذب های O_2 به عنوان مهم ترین نوع بسته بندی مواد غذایی فعال از نظر تجاری گزارش شده است. حذف کننده های O_2 بر اساس ترکیباتی مانند آهن پودری یا اسید اسکوربیک ساخته می شوند که اولی به طور گسترده تری استفاده می شود. در جاذب ها، ظرفیت و سرعت جذب ثابت است که نشان دهنده دو پارامتر معمولی و اولیه آنهاست. علیرغم پتانسیل جذب خوب مستند ساشه های تجاری، نرخ جذب، پارامتری که برای کیفیت غذا اهمیت اساسی دارد، در مطالعات محدود مورد ارزیابی قرار گرفته است.

متداول ترین جاذب کننده های O_2 ، کیسه های کوچک حاوی پودرهای مختلف بر پایه آهن به همراه یک سری کاتالیزور هستند که O_2 را در بسته بندی مواد غذایی از بین می برند و به طور برگشتناپذیر آن را به یک اکسید پایدار تبدیل می کنند [۱۳۵]. حذف کننده های اکسیژن ممکن است به تنهایی یا همراه با MAP استفاده شوند. در صورتی که به تنهایی اعمال شوند، نیازی به ماشین آلات MAP نخواهد بود و مرحله بسته بندی تسریع می شود.

با این حال، مقدار اصلی O_2 محیط توسط MAP در روش تجاری استاندارد حذف می شود، و اکسیژن باقی مانده در داخل بسته توسط یک روبنده نسبتاً کوچک و ارزان حذف می شود [۱۳۶]. جاذب O_2 Ageless ۲ در سال ۱۹۷۷ توسط شرکت گاز میتسوبیشی معرفی شد. این سیستم شامل نمک های آهن کاهش یافته است که توسط H_2O_2 فعال می شود و در یک بسته سد گاز مهر و موم شده قرار می گیرد، که در آن آهن به حالت آهن اکسید تبدیل می شود، بعدها، Toppan Printing (توکيو، ژاپن) یک اسکوربیک بر پایه اسید اسکوربیک O_2 را راه اندازی کرد.



در طول دهه نود، Toyo Seikan Kaisha Ltd.، توکیو، ژاپن (با Oxyguard®، W.R. Grace and Company، کلمبیا، MD، ایالات متحده آمریکا (با Daraform® ۶۴۹۰ و Cryovac® OS ۱۰۰۰)، و Multisorb Technologies Inc.، نیویورک، نیویورک ایالات متحده آمریکا (با FreshMax®) به روزترین روبنده های O ۲ مرتبط با سیستم های جاذب O ۲ فعلی، مانند) OxySorbTM گروه عمده فروشی بین المللی Pty. Ltd.، استرالیا) را ارائه کرد [۱۳۷].

چارلز و همکاران [۱۳۸] گزارش دادند که استفاده از جاذب O ۲ روی بسته بندی ممکن است عمر مفید گوجه فرنگی را افزایش دهد. با استفاده از یک فیلم پلی اتیلن با چگالی کم در رابطه با یک جاذب O ۲ مبتنی بر آهن، پیک CO ۲ سرکوب شد. علاوه بر این، جاذب های اکسیژن برای مهار اکسیداسیون بتا کاروتن در تکه های سیب زمینی شیرین خشک استفاده شده است.

کاربرد ترکیبی جاذب های اکسیژن و لایه های مانع اکسیژن منعطف منجر به حفظ قابل توجه بتاکاروتن در تکه های سیب زمینی شیرین در طول ۲۱۰ روز نگهداری شد [۱۳۹]. علاوه بر این، سوسک آرد قرمز نرخ مرگ و میر ۱۰۰٪ را در کشمش سلطانی بسته بندی شده در دمای ۳۰-۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۹ تا ۴۵ روز نشان داد. در همین مقاله، رنگ سطح با استفاده از یک جاذب O ۲ و دمای نگهداری در ۱۵ درجه سانتیگراد حفظ شد [۱۴۰].

جاذب های اکسیژن مانع از میکروارگانیسم ها در ذخیره سازی میوه و سبزیجات می شوند و علاوه بر آن کیفیت تغذیه ای غذا مانند غلظت ویتامین را حفظ می کنند [۱۳۷]. یکی از مراحل توسعه حیاتی در بخش بسته بندی محصولات تازه و کم فراوری شده، سیستم های بسته بندی ضد میکروبی است که با ادغام ساشه ها یا پدهای حاوی ترکیبات ضد میکروبی فرار، استفاده از فیلم های بسته بندی ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی ((خوراکی یا غیرخوراکی) به دست می آید)

پوشش ها. چندین شکل جایگزین از ترکیبات ضد میکروبی (شیمیایی یا طبیعی، فرار یا غیرفرار) ممکن است به مواد بسته بندی اضافه شود یا مستقیماً روی سطح غذا با پوشش مناسب اعمال شود [۱۴۱، ۱۴۲].

سه نوع بسته بندی ضد میکروبی برای کاربرد آنها بر روی میوه ها و محصولات سبزیجات تازه و کم فراوری شده گزارش شده است که عبارتند از:

- کیسه های ضد میکروبی: محصور در بسته هایی از کیسه های حاوی عوامل ضد میکروبی فرار
- فیلم های ضد میکروبی: ادغام ترکیبات ضد میکروبی فرار یا غیرفرار در فرمول فیلم های بسته بندی
- پوشش های خوراکی ضد میکروبی: کاربرد مستقیم پوشش ها یا فیلم های خوراکی ضد میکروبی روی سطح غذا، در این مورد، جزء اصلی پوشش ممکن است یک پلیمر با خاصیت ضد میکروبی (مثلاً کیتوزان) باشد یا عوامل ضد میکروبی اضافی در محلول تشکیل دهنده فیلم اضافه شود [۶].

کیسه ضد میکروبی را می توان به عنوان یک پد حاوی عوامل ضد میکروبی فرار توصیف کرد که در داخل بسته بندی مواد غذایی قرار می گیرد تا امکان آزادسازی تدریجی ماده ضد میکروبی و تعامل آن با فضای سر در بسته را فراهم کند. غلظت رطوبت داخل بسته به عنوان نیروی محرکه برای آزادسازی عامل ضد میکروبی از سیستم کیسه ای فرض شده است و ترکیبات ضد میکروبی آزاد شده رشد میکروارگانیسم ها را در سطح میوه ها و سبزیجات بسته بندی شده مهار می کنند [۱۴۳].

ساشه های ضد میکروبی مشابه حاوی اسانس های جایگزین به عنوان ضد میکروبی گزارش شده است که برای مهار رشد باکتری های فساد و پاتوژن ها در محصولات مختلف از جمله برگ پاپایا، گوجه فرنگی و اسفناج قابل استفاده است [۶۹-۷۱].

مواد تشکیل دهنده فیلم ضد میکروبی با ترکیب عوامل ضد میکروبی در یک ماتریس پلیمری ایجاد می شوند که اجازه می دهد آنها را بر روی سطح غذا آزاد کنند تا با میکرو فلور تعامل کنند. ژانگ و همکاران [۷۲] اثر یک فیلم ضد میکروبی سفارشی را با اعمال یک پوشش حاوی میکروکپسول های دی اکسید کلر با رهش پایدار بر روی انبه های تازه بررسی کرد.

طبق مطالعه گزارش شده توسط Ghaouth و همکاران. [۷۳]، گوجه فرنگی های پوشش داده شده با کیتوزان به اندازه کافی از گونه های *Aspergillus spp.*، *Penicillium*، *Rhizopus stolonifer* و *Botrytis cinerea* محافظت شدند. گزارش شده است که کیتوزان کنترل



مناسب بیماری های قارچی را فراهم می کند، که ممکن است منجر به بدتر شدن شاخص های کیفیت میوه در طول ذخیره سازی شود [۱۴۴].

چولی تودی و همکاران [۱۴۵] اثر آنتی اکسیدانی عصاره تیمبرای Satureja، یک ماده غنی از اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها، پس از اسپری شدن بر روی یک فیلم بسته بندی غیر خوراکی و چند لایه برای افزایش عمر مفید چپیس سبب زمینی سرخ شده را بررسی کردند. شاخص های مورد آزمایش مقادیر پراکسید، محصولات فرار و مصرف اکسیژن بودند. علاوه بر این، کاربرد عصاره ها، چه در بسته بندی فعال و چه به عنوان افزودنی بر روی چپیس سبب زمینی، مورد بررسی قرار گرفت، که اولی بیشترین اثر آنتی اکسیدانی را نشان داد. روکش خوراکی یا فیلم به لایه نازکی از مواد گفته می شود که برای پوشش یا بسته بندی چندین محصول غذایی به منظور کاهش میزان افت کیفیت و افزایش عمر مفید آنها استفاده می شود. فیلم های خوراکی ممکن است به طور جداگانه تولید شوند و متعاقباً روی غذاها اعمال شوند، در حالی که پوشش ها مستقیماً روی سطح غذا تشکیل می شوند [۱۴۶].

به طور کلی، هردل های مناسب در برابر رطوبت و گازها (عمدتاً CO_2 و O_2 برای محصولات تازه)، پوشش یکنواخت، چسبندگی کافی به سطح غذا، بی رنگی و بی مزه بودن الزامات اساسی برای یک سیستم بسته بندی خوراکی هستند [۱۴۷، ۱۴۸]. اعمال پوشش ها به روش های مختلفی از جمله غوطه ور شدن، پاشیدن، افتادن یا برس کشیدن امکان پذیر است.

کوادرورس و همکاران [۷۴] اثربخشی پوشش های خوراکی با هیدرولیز پروتئین ماهی بر شاخص های کیفی و ماندگاری گوجه فرنگی گیلاسی را بررسی کردند. نتایج رشد میکروبی نشان داد که پوشش های خوراکی مبتنی بر هیدرولیز پروتئین دارای فعالیت زیستی قابل توجهی هستند زیرا از تکثیر کپک ها و مخمرها جلوگیری می کنند. رویز مارتینز و همکاران [۷۵] افزایش کیفیت پس از برداشت گوجه فرنگی را با پوشش خوراکی عامل دار شده با عصاره *Flourensia cernua* گزارش کردند. سورتینو و همکاران [۷۶] اثربخشی یک پوشش خوراکی مبتنی بر *Aloe arborescens* و درمان ترکیبی ۱-methylcyclopropene و پوشش خوراکی را برای بهبود کیفیت و طولانی تر کردن ماندگاری هلو "Settembrina" ارزیابی کردند.

۴.۳- برچسب های هوشمند برای میوه ها و سبزیجات در فناوری بسته بندی هوشمند ممکن است اطلاعات مهمی را در مورد کیفیت غذا، به طور غیرمستقیم (به عنوان مثال، ادغام کننده های دمای زمان) یا مستقیم (به عنوان مثال، شاخص های تازگی) ارائه دهد [۱۴۹]. شاخص های تازگی را می توان به عنوان دستگاه های مناسبی نام برد که در بسته بندی مهر و موم شده محصول غذایی گنجانده می شوند و برای اطلاع کاربر نهایی از تغییرات میکروبی و فیزیکیوشیمیایی که بر سطح کیفیت محصول غذایی بسته بندی شده تأثیر می گذارند، در نظر گرفته می شوند. فعل و انفعالات بین متابولیت های میکروبی و شاخص های گنجانده شده در بسته غذایی کیفیت غذا را از نظر سطح میکروبی تجسم می کند [۱۲۹، ۱۵۰].

اکثر سیستم های پیشنهادی که تا به حال توسعه یافته اند، بر اساس تغییرات رنگ برچسب در نتیجه متابولیسم میکروبی هستند، که نشان می دهد غذای بسته بندی شده ممکن است دیگر برای مصرف مناسب نباشد [۱۵۱]. برای میوه ها و سبزیجات، حالت تازگی معمولاً در بافت رسیده بیان می شود. در یک حالت خاص از رسیدن، اغلب دشوار است که بدانیم چه زمانی میوه به سطوح کیفی مورد نظر برای استفاده مشتری وارد شده است.

برای خریداران، این شرایط اغلب به مانعی در درک زمان خرید یا مصرف میوه تبدیل می شود RipeSense™. www.ripesense.co.nz، قابل دسترسی در ۱۹ فوریه ۲۰۲۱ یک سنسور رسیدگی را راه اندازی کرده است که امکان رفع این مشکل را فراهم می کند. حسگر به رایحه هایی که از میوه در حال رسیدن آزاد می شود پاسخ می دهد. سنسور ابتدا قرمز است و به نارنجی و سپس زرد تغییر می کند. این حسگر روی گلابی استفاده شده است و ممکن است در سایر میوه های هسته دار مانند کیوی، خربزه، انبه و آووکادو نیز استفاده شود [۱۵۲].

علاوه بر این، ترکیبات فرار منتشر شده در طول مراحل مختلف رسیدن میوه با استفاده از e-noses تجزیه و تحلیل شد و برای ارزیابی رسیدن گوجه فرنگی استفاده شد [۱۵۳]. یک نشانگر رنگ بر اساس برموفنل آبی که روی بسته بندی مواد غذایی قرار داده شده است طراحی شده است و آزمایشات اولیه برای ارزیابی تازگی نمونه های گواوا (*Psidium guajava L.*) توسط [۱۵۴] انجام شده است.



یک حسگر تازگی توسط Ozen و Kemiklioglu [۱۱۹] ایجاد شده است که با اصل اندازه گیری تغییر غلظت یون در میوه ها و سبزیجات کار می کند. یکپارچه کننده دمای زمان (TTI) به عنوان یک برچسب ارزان قیمت و هوشمند تعریف می شود که ممکن است تغییرات وابسته به زمان و دما را به راحتی قابل اندازه گیری نشان دهد و تاریخچه دمای زمانی محصولی را که به آن متصل شده است را منعکس کند [۱۵۵]. اصل عملکرد TTI یک تغییر غیرقابل برگشت مکانیکی، شیمیایی، الکتروشیمیایی، آنزیمی یا میکروبیولوژیکی است که عمدتاً به صورت یک پاسخ بصری بیان می شود (به عنوان مثال، تغییر شکل مکانیکی، تغییر رنگ یا حرکت).

در طول سی سال گذشته، چندین سیستم جایگزین TTI توسعه یافته است، با این حال، تعداد محدودی به مرحله نمونه اولیه صنعتی رسیده اند و حتی تعداد کمتری کاربرد تجاری پیدا کرده اند [۱۲۵] که در گاهشماری توسعه TTI توسط Taoukis [۱۵۶] خلاصه شده است. TTI ها به عنوان ابزاری مؤثر برای نظارت بر کیفیت و ماندگاری غذاهای فاسد شدنی، عمدتاً گوشت و محصولات ماهی، در زنجیره سرد گزارش شده اند. برای این دسته از محصولات غذایی، دما نقش مهمی در تخریب کیفیت و ماندگاری در هر مرحله از زنجیره تامین دارد.

در Bobelyn و همکاران. [۱۵۷]، یک مطالعه امکان سنجی با هدف ارزیابی پتانسیل کاربرد TTI به عنوان شاخص کیفیت محصولات باغبانی انجام شده است. در این مطالعه از قارچ (*Agaricus bisporus* Pilát) به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. یک آنزیمی مناسب (Malmö, Vitsab A.B.)، سوئد) برای پایش کیفیت قارچ در شرایط دمایی ثابت و متغیر استفاده شده است.

نتیجه گیری ها

تقاضا برای مواد غذایی تازه، مغذی و راحت توسط مصرف کنندگان اخیراً افزایش یافته است. توسعه محصول جدید و تنوع محصولات غذایی مبتنی بر میوه و سبزیجات از این روند حمایت کرده است. در حالی که به تقاضای مصرف کنندگان برای محصولات جدید، مغذی و مقرون به صرفه رسیدگی می شود، تولیدکنندگان مواد غذایی باید الزامات تضمین ایمنی مواد غذایی و افزایش ماندگاری محصولات توسعه یافته را نیز در نظر بگیرند.

یک چالش علمی برای بخش مواد غذایی، بررسی پتانسیل افزایش عمر مفید و توسعه مدل های پیش بینی ماندگاری مناسب است [۶۷]. به طور کلی، حداقل فرآوری پتانسیل افزایش بیشتر ماندگاری میوه ها را نشان داده است.

که سبزیجات با استفاده ترکیبی از موانع مختلف نگهدارنده، مانند دمای پایین، ضد میکروبی ها و آنتی اکسیدان های طبیعی یا مصنوعی، pH، aw و فشار بالا با روش های بسته بندی، مانند اتمسفر اصلاح شده و بسته بندی فعال نگهداری میشوند.

تحقیقات آینده باید بر روی توسعه تکنیک های پردازش ملایم، در زمینه فناوری هردل متمرکز شود، که ویژگی های تازه ماندن را حفظ می کند و در عین حال عمر مفید محصولات نهایی را بدون به خطر انداختن ایمنی و یکپارچگی آنها افزایش می دهد. علاوه بر این، معرفی روش های بسته بندی فعال و هوشمند بهینه با ترکیب ترکیبات فعال جایگزین یا عملکردهای فعال و هوشمند در یک سیستم ترکیبی جدید نیز ممکن است به این هدف کمک کند.

مشارکت نویسنده: Conceptualization, M.C.G. و T.N.T. تحقیق، M.C.G. و T.N.T. نوشتن - آماده سازی پیش نویس اصلی، M.C.G. و T.N.T. نگارش - بررسی و ویرایش، M.C.G. و T.N.T. همه نویسندگان نسخه منتشر شده نسخه خطی را خوانده و با آن موافقت کرده اند. بودجه: این تحقیق هیچ بودجه خارجی دریافت نکرد. تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.

Abstract

Recently, consumers' demand for fresh, nutritious, and convenient food has shown a significant rise. This trend has forced increased sales of minimally processed and/or pre-packed fruit and

vegetable-based products. New product development and the diversification of plant-based foods have supported this growth. The food production sector should balance this requirement with the necessity to provide safe food with extended shelf life while meeting consumer demands for novel, nutritious, and affordable food products. The use of alternative "soft hurdles" may result in a decrease in the rate of food deterioration and spoilage attributed to microbial activity or other physiological/chemical degradation reactions. The objective of the article is to provide a systematic review of the preservative effect of the available hurdles implemented during processing and packaging of fresh-cut fruits and vegetables, focusing on recent applications aiming at improving product quality and prolonging their limited shelf life.

Keywords: plant-based foods; hurdles; quality; preservation; processing; packaging

References

- 1.WHO. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Disease; World Health Organization Technical Report Series 797; World Health Organization: Geneva, Switzerland,.1999
2. Cox, D.N.; Anderson, A.S.; McKellar, S.; Reynolds, J.; Lean, M.E.J.; Mela, D.J. Vegetables and fruits: Barriers and opportunities for greater consumption. *Nutr. Food Sci*,1996,96,44-47. [CrossRef]
- 3.Ragaert, P.; Verbeke,W.; Devlieghere, F.; Debevere, J. Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Qual. Prefer*.2004,15,259-270. [CrossRef]
- 4.Oms-Oliu, G.; Rojas-Graü, M.A.; González, L.A.; Varela, P.; Soliva-Fortuny, R.; Hernando, M.I.H.; Munuera, I.P.; Fiszman, S.;Martín-Belloso, O. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biol.Technol*.2010, 57, 139-148. [CrossRef]
- 5.Thunberg, R.L.; Tran, T.T.; Bennett, R.W.; Matthews, R.N.; Belay, N. Microbial evaluation of selected fresh produce obtained at retail markets. *J. Food Prot*.2002, 65, 677-682. [CrossRef] [PubMed]
- 6.ng, J.; Zhao, Y. Antimicrobial packaging for fresh and minimally processed fruits and vegetables. In *Antimicrobial Food Packaging*;Barros-Velázquez, J., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA,2016; pp. 243-256.
7. Erkmen, O.; Bozoglu, T.F. Food Preservation by Combination of Techniques (Hurdle Technology). 1st Edition. In *Food Microbiology:Principles into Practice*; JohnWiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA,2016; pp. 166-179.
- 8.Leistner, L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *Int. J. Food Microbiol*. 2000, 55, 181-186. [CrossRef]
- 9.Leistner, L. Hurdle Technology in the Design of Minimally Processed Foods. In *Minimally Processed Fruits and Vegetables:Fundamentals and Applications*; Alzamora, S.M., Lopez-Malo, A., Tapia, M.S., Eds.; Aspen Publishers Inc.: New York, NY, USA,2000pp13-28.
- 10.Leistner, L.; Gorris, L.G.M. Food preservation by hurdle technology. *Trends Food Sci. Technol*.1995, 6, 41-46. [CrossRef]
- 11.Singh, S.; Shalini, R. Effect of Hurdle Technology in Food Preservation: A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*.2016, 56, 641-649.
- 12.Scetar, M.; Kurek, M.; Galic, K. Trends in fruit and vegetable packaging—A Review. *Croat. Food Technol. Biotechnol. Nutr*.2010, 5, 86-89.
- 13.Jalali, A.; Seiedlou, S.; Linke, M.; Mahajan, P. A comprehensive simulation program for modified atmosphere and humidity packaging (MAHP) of fresh fruits and vegetables. *J. Food Eng*.2017,206, 88-97 [CrossRef].
14. Sucheta Singla, G.; Chaturvedi, K.; Sandhu, P.P. Status and recent trends in fresh-cut fruits and vegetables. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*; Siddiqui, M.W., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA,2020; pp. 17-49.
- 15.Rastogi, N.K.; Raghavarao, K.S.M.S.; Niranjana, K. Recent Developments in Osmotic Dehydration. In *Emerging Technologies for Food Processing*, 2nd ed.; Sun, D.-W., Ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA,2014; pp181-212.
- 16.Ragaert, P.; Jacxsens, L.; Vandekinderen, I.; Baert, L.; Devlieghere, F. Microbiological and Safety Aspects of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*; Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Eds.; CRC Press: New York, NY, USA, 2011; pp. 53-86.
- 17.Montero-Calderón, M.; del Milagro Cerdas-Araya, M. Fruits and Vegetables for the Fresh-Cut Processing Industry. In *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*; Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Eds.; CRC Press: New York, NY, USA,2011; pp.205-186.
18. Baldwin, E.A.; Bai, J. Physiology of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*;Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Eds.; CRC Press: New York, NY, USA,2011; pp. 87-104.
19. Ben-Fadhel, Y.; Cingolani, M.C.; Li, L.; Chazot, G.; Salmieri, S.; Horak, C.; Lacroix, M. Effect of γ -irradiation and the use of combined treatments with edible bioactive coating on carrot preservation. *Food Packag. Shelf Life* 2021, 28, 100635. [CrossRef] Foods 2021].
- 20.Kwon, S.-A.; Song,W.-J.; Kang, D.-H. Combination effect of saturated or superheated steam and lactic acid on the inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes on cantaloupe surfaces. *Food Microbiol*.2019 CrossRef] [PubMed]

- 21 .Massey, L.M.; Hettiarachchy, N.S.; Horax, R.; Rayaprolu, S.J.; Kumar-Phillips, G.; Martin, E.M.; Ricke, S.C. Efficacy of organic acid electrostatic spray for decontaminating Salmonella on cantaloupe cubes and cherry tomatoes. *J. Food Process Preserv.* 2018, 42, e13748. [CrossRef]
- 22 .Zou, Y.; Yu, Y.; Cheng, L.; Li, L.; Zou, B.; Wu, J.; Zhou, W.; Li, J.; Xu, Y. Effects of curcumin-based photodynamic treatment on quality attributes of fresh-cut pineapple. *LWT Food Sci. Technol.* 2021, 141, 110902. [CrossRef]
- 23 .Rodríguez-Arzuaga, M.; Salsi, M.S.; Piagentini, A.M. Storage quality of fresh-cut apples treated with yerba mate (*Ilex paraguariensis*). *J. Food Sci. Technol.* 2021, 58, 186–196. [CrossRef]
- 24 .Avalos-Llano, K.R.; Molina, R.S.; Sgroppo, S.C. UV-C Treatment Applied Alone or Combined with Orange Juice to Improve the Bioactive Properties, Microbiological, and Sensory Quality of Fresh-Cut Strawberries. *Food Bioprocess Technol.* 2020, 13, 1528–1543. [CrossRef]
- 25 .Solomos, T. Aspects of the Biology and Physics Underlying Modified Atmosphere Packaging. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 17–53.
- 26 .Yildiz, F. Initial Preparation, Handling, and Distribution of Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 53–93.
- 27 .Temiz, A.; Ayhan, D.K. Enzymes in Minimally Processed Fruits and Vegetables. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 93–153.
- 28 .Varoquaux, P.; Wiley, R.C. Biological and Biochemical Changes in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 153–186.
- 29 .Wiley, R.C. Preservation Methods for Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 187–238.
- 30 .Bhatia, K.; Asrey, R. Minimal processing of pomegranates (*Punica granatum L.*)—A review on processing, quality, and shelf life. *J. Food Process Preserv.* 2019, 43, e14281. [CrossRef]
- 31 .Massolo, J.F.; González Forte, L.; Concellón, A.; Viña, S.Z.; Vicente, A.R. Effects of ethylene and 1-MCP on quality maintenance of fresh cut celery. *Postharvest Biol. Technol.* 2019, 148, 176–183. [CrossRef]
- 32 .Paulsen, E.; Barrios, S.; Baenas, N.; Moreno, D.A.; Heinzen, H.; Lema, P. Effect of temperature on glucosinolate content and shelf life of ready-to-eat broccoli florets packaged in passive modified atmosphere. *Postharvest Biol. Technol.* 2018, 138, 125–133. [CrossRef]
- 33 .Lwin, W.W.; Pongprasert, N.; Boonyariththongchai, P.; Wongs-Aree, C.; Srilaong, V. Synergistic effect of vacuum packaging and cold shock reduce lignification of asparagus. *J. Food Biochem.* 2020, 44, e13479. [CrossRef]
- 34 .Xanthopoulos, G.T.; Athanasiou, A.A.; Lentzou, D.I.; Boudouvis, A.G.; Lambrinos, G.P. Modelling of transpiration rate of grape tomatoes. Semi-empirical and analytical approach. *Biosyst. Eng.* 2014, 124, 16–23. [CrossRef]
- 35 .Aindongo, W.V.; Caleb, O.J.; Mahajan, P.V.; Manley, M.; Opara, U.L. Effects of storage conditions on transpiration rate of pomegranate aril-sacs and arils. *S. Afr. J. Plant Soil* 2014, 31, 7–11. [CrossRef]
- 36 .Zhao, H.; Fan, Z.; Wu, J.; Zhu, S. Effects of pre-treatment with S-nitrosoglutathione-chitosan nanoparticles on quality and antioxidant systems of fresh-cut apple slices. *LWT Food Sci. Technol.* 2021, 139, 110565. [CrossRef]

- 37 .Cofelice, M.; Lopez, F.; Cuomo, F. Quality Control of Fresh-Cut Apples after Coating Application. *Foods* 2019, 8, 189. [CrossRef]
[PubMed]
- 38 .González-Buesa, J.; Page, N.; Kaminski, C.; Ryser, E.T.; Beaudry, R.; Almenar, E. Effect of non-conventional atmospheres and bio-based packaging on the quality and safety of *Listeria monocytogenes*-inoculated fresh-cut celery (*Apium graveolens* L.) during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 2014, 93, 29–37. [CrossRef]
- 39 .Kumar, N.; Kaur, P.; Devgan, K.; Attkan, A.K. Shelf life prolongation of cherry tomato using magnesium hydroxide reinforced bio-nanocomposite and conventional plastic films. *J. Food Process Preserv.* 2020, 44, e14379. [CrossRef]
- 40 .Drobek, M.; Frac, M.; Zdunek, A.; Cybulska, J. The Effect of Cultivation Method of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Honeoye on Structure and Degradation Dynamics of Pectin during Cold Storage. *Molecules* 2020, 25, 4325. [CrossRef]
[PubMed]
- 41 .Retta, M.A.; Verlinden, B.; Verboven, P.; Nicolai, B. Texture-microstructure relationship of leafy vegetables during postharvest storage. *Acta Hort.* 2019, 1256, 169–178. [CrossRef]
- 42 .Wang, H.; Fang, X.-M.; Sutar, P.P.; Meng, J.-S.; Wang, J.; Yu, X.-L.; Xiao, H.-W. Effects of vacuum-steam pulsed blanching on drying kinetics, colour, phytochemical contents, antioxidant capacity of carrot and the mechanism of carrot quality changes revealed by texture, microstructure and ultrastructure. *Food Chem.* 2021, 338, 127799. [CrossRef]
- 43 .Parreidt, T.; Schmid, M.; Müller, K. Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon. *J. Food Sci.* 2018, 83, 929–936. [CrossRef]
- 44 .Barrett, D.M.; Beaulieu, J.C.; Shewfelt, R. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2010, 50, 369. [CrossRef]
- 45 .Kader, A.A.; Barrett, D.M. Classification, composition of fruits, and postharvest maintenance of quality. In *Processing Fruits*; Barrett, D.M., Somogyi, L., Ramaswamy, H., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2004; pp. 3–22.
- 46 .Kader, A.A. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technol.* 1980, 34, 45.
- 47 .Harris, L.J.; Farber, J.N.; Beuchat, L.R.; Parish, M.E.; Suslow, T.V.; Garrett, E.H.; Busta, F.F. Outbreaks associated with fresh produce: Incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2003, 2, 78. [CrossRef]
- 48 .Wiley, R.C.; Yildiz, F. Introduction to Minimally Processed Refrigerated (MPR) Fruits and Vegetables. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 3–17.
- 49 .Dabas, K.; Khan, K.A. Use of hurdle technology in processing of fruits and vegetables. In *Processing of Fruits and Vegetables—From Farm to Fork*; Khan, K.A., Megh, R., Goyal, P.E., Kalne, A.A., Eds.; Apple Academic Press: Oakville, ON, Canada, 2020; pp. 113. [CrossRef]
- 50 .Allende, A.; Tomás-Barberán, F.A.; Gil, M.I. Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends Food Sci. Technol.* 2006, 17, 513. [CrossRef]
- 51 .Gil, M.I.; Allende, A.; Selma, M.V. Treatments to Ensure Safety of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*; Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Eds.; CRC Press: New York, NY, USA, 2011; pp. 211–224.
- 52 .Tapia, M.S.; Alzamora, S.M.; Chanes, J.W.; Gould, G. Combination of preservation factors applied to minimal processing of foods.

- Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 1996, 36, 629–659. [CrossRef]
- 53 .Allende, A.; Artes, F. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed “Lollo Rosso” lettuce. Food Res. Int. 2003, 36, 739–746. [CrossRef]
- 54 .Koh, P.C.; Noranizan, M.A.; Karim, R.; Nur Hanani, Z.A.; Lasik-Kurdy's, M. Combination of alginate coating and repetitive pulsed light for shelf life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L. *reticulatus* cv. Glamour). J. Food Process. Preserv. 2018, 42, e13786. [CrossRef]
- 55 .Dermesonlouoglou, E.K.; Andreou, V.; Alexandrakakis, Z.; Katsaros, G.J.; Giannakourou, M.C.; Taoukis, P.S. The hurdle effect of osmotic pretreatment and high-pressure cold pasteurisation on the shelf-life extension of fresh-cut tomatoes. Int. J. Food Sci. Technol. 2017, 52, 916–926. [CrossRef]
- 56 .Moreira, M.R.; Álvarez, M.V.; Martín-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. Effects of pulsed light treatments and pectin edible coatings on the quality of fresh-cut apples: A hurdle technology approach. J. Sci. Food Agric. 2017, 97, 261–268. [CrossRef]
- 57 .Luo, K.; Oh, D.-H. Inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh-cut bell pepper treated with slightly acidic electrolyzed water combined with ultrasound and mild heat. Food Microbiol. 2016, 53, 165–171. [CrossRef]
- 58 .Jang, J.-H.; Moon, K.-D. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. Food Chem. 2011, 124, 444–449. [CrossRef]
- 59 .Dermesonlouoglou, E.K.; Angelikaki, F.; Giannakourou, M.C.; Katsaros, G.J.; Taoukis, P.S. Minimally Processed Fresh-Cut Peach and Apricot Snacks of Extended Shelf-Life by Combined Osmotic and High Pressure Processing. Food Bioprocess Technol. 2019, 12, 371] .۳۸۶–CrossRef]
- 60 .Kumar, P.; Sethi, S.; Sharma, R.R.; Singh, S.; Varghese, E. Improving the shelf life of fresh-cut ‘Royal Delicious’ apple with edible coatings and anti-browning agents. J. Food Sci. Technol. 2018, 55, 3767–3778. [CrossRef] [PubMed]
- 61 .Son, J.; Hyun, J.-E.; Lee, J.-W.; Lee, S.-Y.; Moon, B. Combined application of antibrowning, heat treatment and modified-atmosphere packaging to extend the shelf life of fresh-cut lotus root. J. Food Sci. 2015, 80, C1178–C1187. [CrossRef]
- 62 .Putnik, P.; Bursa'c Kova'cevi'c, D.; Herceg, K.; Levaj, B. Influence of antibrowning solutions, air exposure, and ultrasound on color changes in fresh-cut apples during storage. J. Food Process. Preserv. 2017, 41, e13288. [CrossRef]
- 63 .Dermesonlouoglou, E.K.; Bimpilas, A.; Andreou, V.; Katsaros, G.J.; Giannakourou, M.C.; Taoukis, P.S. Process Optimization and Kinetic Modeling of Quality of Fresh-Cut Strawberry Cubes Pretreated by High Pressure and Osmosis. J. Food Process. Preserv. 2017, 41, e13137. [CrossRef]
- 64 .Gutiérrez, D.; Chaves, A.; Rodriguez, S.D. Use of UV-C and Gaseous Ozone as Sanitizing Agents for Keeping the Quality of Fresh-Cut Rocket (*Eruca sativa* mill). J. Food Process. Preserv. 2017, 41, e12968. [CrossRef]
- 65 .Pittia, P.; Nicoli, M.C.; Comi, G.; Massini, R. Shelf-life extension of fresh-like ready-to-use pear cubes. J. Sci. Food Agric. 1999, 79, 955] .۹۶۰–CrossRef]
- 66 .Tsironi, T.; Dermesonlouoglou, E.; Giannoglou, M.; Gogou, E.; Katsaros, G.; Taoukis, P. Shelf life models for ready-to-eat fresh cut salads: Testing in real cold chain. Int. J. Food Microbiol. 2016, 240, 131–140. [CrossRef]
- 67 .Dermesonlouoglou, E.; Fileri, K.; Orfanoudaki, A.; Tsevdou, M.; Tsironi, T.; Taoukis, P. Modelling the microbial spoilage and quality decay of pre-packed dandelion leaves as a function of temperature. J. Food Eng. 2016, 184, 21–30. [CrossRef]

- 68 .Mistriotis, A.; Briassoulis, D.; Giannoulis, A.; D'Aquino, S. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films. *Postharvest Biol. Technol.* 2016, 111, 389–399. [CrossRef]
- 69 .Ayala-Zavala, J.F.; González-Aguilar, G.A. Optimizing the use of garlic oil as antimicrobial agent on fresh-cut tomato through a controlled release system. *J. Food Sci.* 2010, 75, M398–M405. [CrossRef] [PubMed]
- 70 .Espitia, P.J.P.; Soares, N.D.F.F.; Botti, L.C.M.; Melo, N.R.D.; Pereira, O.L.; Silva, W.A.D. Assessment of the efficiency of essential oils in the preservation of postharvest papaya in an antimicrobial packaging system. *Braz. J. Food Technol.* 2012, 15, 333–342. [CrossRef]
- 71 .Seo, H.-S.; Bang, J.; Kim, H.; Beuchat, L.R.; Cho, S.Y.; Ryu, J.-H. Development of an antimicrobial sachet containing encapsulated allyl isothiocyanate to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on spinach leaves. *Int. J. Food Microbiol.* 2012, 159, 136–143. [CrossRef] [PubMed]
- 72 .Zhang, B.; Huang, C.; Zhang, L.; Wang, J.; Huang, X.; Zhao, Y.; Liu, Y.; Li, C. Application of chlorine dioxide microcapsule sustained-release antibacterial films for preservation of mangos. *J. Food Sci. Technol.* 2019, 56, 1095–1103. [CrossRef] [PubMed]
- 73 .Ghaouth, A.; Ponnampalam, R.; Castaigne, F.; Arul, J. Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. *Hortscience* 1992, 27, 1016. [CrossRef]
- 74 .Quadros, C.; Lima, K.O.; Bueno, C.H.L.; dos Santos Fogaca, F.H.; da Rocha, M.; Prentice, C. Effect of the edible coating with protein hydrolysate on cherry tomatoes shelf life. *J. Food Process. Preserv.* 2020, 44, e14760.
- 75 .Ruiz-Martínez, J.; Aguirre-Joya, J.A.; Rojas, R.; Vicente, A.; Aguilar-González, M.A.; Rodríguez-Herrera, R.; Alvarez-Perez, O.B.; Torres-León, C.; Aguilar, C.N. Candelilla Wax Edible Coating with *Flourensia cernua* Bioactives to Prolong the Quality of Tomato Fruits. *Foods* 2020, 9, 1303. [CrossRef]
- 76 .Sortino, G.; Saletta, F.; Puccio, S.; Scuderi, D.; Allegra, A.; Inglese, P.; Farina, V. Extending the Shelf Life of White Peach Fruit with 1-Methylcyclopropene and *Aloe arborescens* Edible Coating. *Agriculture* 2020, 10, 151. [CrossRef]
- 77 .Rux, G.; Efe, E.; Ulrichs, C.; Huyskens-Keil, S.; Hassenberg, K.; Herppich, W.B. Effects of Pre-Processing Hot-Water Treatment on Aroma Relevant VOCs of Fresh-Cut Apple Slices Stored in Sugar Syrup. *Foods* 2020, 9, 78. [CrossRef]
- 78 .Chiabrando, V.; Peano, C.; Giacalone, G. Influence of hot water treatments on postharvest physicochemical characteristics of Hayward and Jintao kiwifruit slices. *J. Food Process Preserv.* 2018, 42, e13563. [CrossRef]
- 79 .Herppich, W.B.; Maggioni, M.; Huyskens-Keil, S.; Kabelitz, T.; Hassenberg, K. Optimization of Short-Term Hot-Water Treatment of Apples for Fruit Salad Production by Non-Invasive Chlorophyll-Fluorescence Imaging. *Foods* 2020, 9, 820. [CrossRef]
- 80 .Kabelitz, T.; Hassenberg, K. Control of apple surface microflora for fresh-cut produce by post-harvest hot-water treatment. *LWT Food Sci. Technol.* 2018, 98, 492–499. [CrossRef]
- 81 .Pareek, S. *Novel Postharvest Treatments of Fresh Produce*, 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2018.
- 82 .Sivakumar, D.; Fallik, E. Influence of Heat Treatments on Quality Retention of Fresh and Fresh-Cut Produce. *Food Rev. Int.* 2013, 29, 290–299. [CrossRef]
- 83 .Paillart, M.J.M.; Otma, E.C.; Woltering, E.J. Effect of mild heat-shock treatments on pink discoloration and physiological parameters in fresh-cut iceberg lettuce. *LWT Food Sci. Technol.* 2017, 85, 456–459. [CrossRef]
- 84 .Shrestha, L.; Kulig, B.; Moschetti, R.; Massantini, R.; Pawelzik, E.; Hensel, O.; Sturm, B. Optimisation of Physical and Chemical

- Treatments to Control Browning Development and Enzymatic Activity on Fresh-cut Apple Slices. *Foods* 2020, 9, 76. [CrossRef]
- 85 .Garrido, Y.; Tudela, J.A.; Gil, M.I. Comparison of industrial precooling systems for minimally processed baby spinach. *Postharvest Biol. Technol.* 2015, 102, 1–8. [CrossRef]
- 86 .Kang, C.; Sloniker, N.; Ryser, N.T. Use of a Novel Sanitizer To Inactivate Salmonella Typhimurium and Spoilage Microorganisms during Flume Washing of Diced Tomatoes. *J. Food Prot.* 2020, 83, 2158–2166. [CrossRef]
- 87 .Sethi, S.; Nayak, S.L.; Joshi, A.; Sharma, R.R. Sanitizers for fresh-cut fruits and vegetables. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*; Siddiqui, M.W., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020; pp. 99–119.
- 88 .Chen, X.; Hung, Y.-C. Development of a Chlorine Dosing Strategy for Fresh Produce Washing Process to Maintain Microbial Food Safety and Minimize Residual Chlorine. *J. Food Sci.* 2018, 83, 1701–1706. [CrossRef] [PubMed]
- 89 .Banach, J.L.; van Overbeek, L.S.; Nierop Groot, M.N.; van der Zouwen, P.S.; van der Fels-Klerx, H.J. Efficacy of chlorine dioxide on *Escherichia coli* inactivation during pilot-scale fresh-cut lettuce processing. *Int. J. Food Microbiol.* 2018, 269, 128–136. [CrossRef]
- 90 .Wengert, S.L.; Aw, T.G.; Ryser, E.T.; Rose, J.B. Postharvest Reduction of Coliphage MS2 from Romaine Lettuce during Simulated Commercial Processing with and without a Chlorine-Based Sanitizer. *J. Food Prot.* 2017, 80, 220–224. [CrossRef] [PubMed]
- 91 .Bari, M.L.; Ukuku, D.O.; Kawasaki, T.; Inatsu, Y.; Isshiki, K.; Kawamoto, S. Combined Efficacy of Nisin and Pediocin with Sodium Lactate, Citric Acid, Phytic Acid, and Potassium Sorbate and EDTA in Reducing the *Listeria monocytogenes* Population of Inoculated Fresh-Cut Produce. *J. Food Prot.* 2005, 68, 1381–1387. [CrossRef] [PubMed]
- 92 .Gurtler, J.B.; Fan, X.; Jin, T.; Niemira, B.A. Influence of Antimicrobial Agents on the Thermal Sensitivity of Foodborne Pathogens: A Review. *J. Food Prot.* 2019, 82, 628–644. [CrossRef]
- 93 .Medina, M.S.; Tudela, J.A.; Marín, A.; Allende, A.; Gil, M.I. Short postharvest storage under low relative humidity improves quality and shelf life of minimally processed baby spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 2012, 67, 1–9. [CrossRef]
- 94 .Leneveu-Jenvrin, C.; Charles, F.; Barba, F.J.; Remize, F. Role of biological control agents and physical treatments in maintaining the quality of fresh and minimally-processed fruit and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020, 60, 2837–2855. [CrossRef]
- 95 .Sagong, H.G.; Lee, S.Y.; Chang, P.S.; Heu, S.; Ryu, S.; Choi, Y.J.; Kang, D.H. Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Int. J. Food Microbiol.* 2011, 129, 287–295. [CrossRef] [PubMed]
- 96 .Al-Tayyar, N.A.; Youssef, A.M.; Al-Hindi, R.R. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustain. Mater. Technol.* 2020, 26, e00215.
- 97 .Alzamora, S.M.; López-Malo, A.; Guerrero, S.N.; Tapia, M.S. The Hurdle Concept in Fruit Processing. In *Fruit Preservation: Novel and Conventional Technologies*; Rosenthal, A., Deliza, R., Welti-Chanes, J., Barbosa-Cánovas, G.V., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2018; pp. 93–126.
- 98 .De Corato, U. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020, 60, 940–975. [CrossRef]

- 99 .Hu, X.; Ma, T.; Ao, L.; Kang, H.; Hu, X.; Song, Y.; Liao, X. Effect of high hydrostatic pressure processing on textural properties and microstructural characterization of fresh-cut pumpkin (*Cucurbita pepo*). *J. Food Process Eng.* 2020, 43, e13379. [CrossRef]
- 100 .Fan, X.; Wang, W. Quality of fresh and fresh-cut produce impacted by nonthermal physical technologies intended to enhance microbial safety. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020. [CrossRef] [PubMed]
- 101 .Dellarosa, N.; Tappi, S.; Ragni, L.; Laghi, L.; Rocculi, P.; Dalla Rosa, M. Metabolic response of fresh-cut apples induced by pulsed electric fields. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2016, 38, 356–364. [CrossRef]
- 102 .Shayanfar, S.; Chauhan, O.P.; Toepfl, S.; Heinz, V. Effect of non-thermal hurdles in extending shelf life of cut apples. *J. Food Sci. Technol.* 2014, 51, 4033–4039. [CrossRef]
- 103 .Graça, A.; Santo, D.; Pires-Cabral, P.; Quintas, C. The effect of UV-C and electrolyzed water on yeasts on fresh-cut apple at 4 °C. *J. Food Eng.* 2020, 282, 110034. [CrossRef]
- 104 .Santo, D.; Graça, A.; Nunes, C.; Quintas, C. *Escherichia coli* and *Cronobacter sakazakii* in ‘Tommy Atkins’ minimally processed mangos: Survival, growth and effect of UV-C and electrolyzed water. *Food Microbiol.* 2018, 70, 49–54. [CrossRef] [PubMed]
- 105 .Aslam, R.; Alam, M.S.; Saeed, P.A. Sanitization Potential of Ozone and Its Role in Postharvest Quality Management of Fruits and Vegetables. *Food Eng. Rev.* 2020, 12, 48–67. [CrossRef]
- 106 .Bhavya, M.L.; Umesh Hebbar, H. Pulsed light processing of foods for microbial safety. *Food Qual. Saf.* 2017, 1, 187–202. [CrossRef]
- 107 .Perni, S.; Liu, D.; Shama, G.; Kong, M. Cold Atmospheric Plasma Decontamination of the Pericarps of Fruit. *J. Food Prot.* 2008, 71, 302–308. [CrossRef] [PubMed]
- 108 .Schnabel, U.; Handorf, O.; Stachowiak, J.; Boehm, D.; Weit, C.; Weihe, T.; Schäfer, J.; Below, H.; Bourke, P.; Ehlbeck, J. Plasma-Functionalized Water: From Bench to Prototype for Fresh-Cut Lettuce. *Food Eng. Rev.* 2021, 13, 115–135. [CrossRef]
- 109 .Valverde, M.T.; Marin-Iniesta, F.; Calvo, L. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in conference pear with high pressure carbon dioxide and effects on pear quality. *J. Food Eng.* 2010, 98, 421–428. [CrossRef]
- 110 .Calvo, L.; Torres, E. Microbial inactivation of paprika using high-pressure CO₂. *J. Supercrit. Fluids* 2010, 52, 134–141. [CrossRef]
- 111 .Pinela, J.; Ferreira, I.C.F.R. Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017, 57, 2095–2111. [CrossRef]
- 112 .Venturi, F.; Bartolini, S.; Sanmartin, C.; Orlando, M.; Taglieri, I.; Macaluso, M.; Lucchesini, M.; Trivellini, A.; Zinnai, A.; Mensuali, A. Potato Peels as a Source of Novel Green Extracts Suitable as Antioxidant Additives for Fresh-Cut Fruits. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2431. [CrossRef]
- 113 .Badr, A.N.; Gromadzka, K.; Shehata, M.G.; Stuper-Szablewska, K.; Drzewiecka, K.; Abdel-Razek, A.G.; Youssef, M.M. Encapsulated Bioactive Ingredients of grape by-products applicate in fresh-cut fruit and juices diminished the ochratoxins. *J. Food Process Preserv.* 2021, 45, e15112. [CrossRef]
- 114 .Lee, C.H.; Kang, J.-H.; Woo, H.J.; Song, K.B. Combined treatment of nut by-product extracts and peracetic acid against *Listeria monocytogenes* on red mustard and kale leaves. *LWT Food Sci. Technol.* 2020, 129, 109608. [CrossRef]
- 115 .Ma, L.; Zhang, M.; Bhandari, B.; Gao, Z. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 2020, 64, 23–38. [CrossRef]
- 116 .Palekar, M.P.; Matthew Taylor, T.; Maxim, J.E.; Castillo, A. Reduction of *Salmonella enterica* serotype Poona and background

- microbiota on fresh-cut cantaloupe by electron beam irradiation. *Int. J. Food Microbiol.* 2015, 202, 66–72. [CrossRef]
- 117 .Kim, J.; Moreira, R.; Castell-Perez, E. Simulation of pathogen inactivation in whole and fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo*) using electron beam treatment. *J. Food Eng.* 2010, 97, 425–433. [CrossRef]
- 118 .Brocklehurst, T.F.; Zaman-Wong, C.M.; Lund, B.M. A note on the microbiology of re-tail packs of prepared salad vegetables. *J. Appl. Bacteriol.* 1987, 63, 409–415.
- 119 .Kemiklioglu, E.; Ozen, O. Design of a sensor to detect fruit freshness. *Int. J. Sci. Technol. Res.* 2018, 4, 1–6.
- 120 .Dial, L.A.; Musher-Eizenman, D.R. Power of packaging: Evaluations of packaged fruits and vegetables by school-age children in the U.S. *Appetite* 2020, 148, 104591. [CrossRef] [PubMed]
- 121 .Song, Y.; Vorsa, N.; Yam, K.L. Modeling respiration–transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. *J. Food Eng.* 2002, 53, 103–109. [CrossRef]
- 122 .Sandhya. Review: Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT Food Sci. Technol.* 2010, 43, 392–399. [CrossRef]
- 123 .Lee, L.; Arul, J.; Lencki, R.; Castaigne, F. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: Physiological basis and practical aspects—Part 2. *Packag. Technol. Sci.* 1996, 9, 1–17. [CrossRef]
- 124 .Smolander, M. The use of freshness indicators in packaging. In *Novel Food Packaging Techniques*; Ahvenainen, R., Ed.; Woodhead Publishing Ltd.: Cambridge, MA, USA, 2003; pp. 127–143.
- 125 .Taoukis, P.; Tsironi, T. Smart Packaging for Monitoring and Managing Food and Beverage Shelf Life. In *Food and Beverage Stability and Shelf Life*; Kilcast, D., Subramaniam, P., Eds.; Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK, 2016; Chapter 5; pp. 141–168.
- 126 .Janjarasskul, T.; Suppakul, P. Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2018, 58, 808–831. [CrossRef] [PubMed]
- 127 .EU. Guidance to the Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on Active and Intelligent Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food. In Version 10. European Commission Health and Consumers Directorate-General Directorate E-Safety of the Food Chain. E6-Innovation and Sustainability. 2009. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/LSU/?uri=CELEX%3A32009R0450> (accessed on 19 February 2021).
- 128 .Fellows, P.J. Packaging. In *Food Processing Technology. Principles and Practice*, 4th ed.; Woodhead Publishing: Duxford, UK, 2016; Chapter 24; pp. 949–1044.
- 129 .Tsironi, T.; Taoukis, P. Current practice and innovations in fish packaging. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 2018, 27, 1024–1047. [CrossRef]
- 130 .Lagaron, J.M.; Catala, R.; Gavara, R. Structural characteristics defining high barrier properties in polymeric materials. *Mater. Sci. Technol.* 2004, 20, 1–7. [CrossRef]
- 131 .Teixeira, V.; Carneiro, J.; Carvalho, P.; Silva, E.; Azevedo, S.; Batista, C. High barrier plastics using nanoscale inorganic films. In *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging*; Lagarón, J.M., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2011; pp. 285–315.
- 132 .Day, B.P.F. Extension of shelf-life of chilled foods. *Eur. Food Drink Rev.* 1989, 4, 47–56.
- 133 .Day, B.P.F. Active packaging—A fresh approach. *Brand J. Brand Technol.* 2001, 1, 32–41.
- 134 .Rooney, M.L. *Active Food Packaging*; Chapman & Hall: London, UK, 1995.
- 135 .Bodbodak, S.; Rafiee, Z. Recent trends in active packaging in fruits and vegetables. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*; Siddiqui, M.W., Ed.; Academic Press Inc.: Cambridge, MA, USA, 2016; pp. 77–125.

- 136 .Idol, R. Oxygen scavenging: Top marks. Packag. Week 1993, 9, 17–19.
- 137 .Cichello, S.A. Oxygen absorbers in food preservation: A review. J. Food Sci. Technol. 2015, 52, 1889–1895. [CrossRef]
- 138 .Charles, F.; Sanchez, J.; Gontard, N. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: Modeling with tomatoes and oxygen absorber. J. Food Sci. 2003, 68, 1736–1742. [CrossRef]
- 139 .Emenhiser, C.; Watkins, R.H.; Simunovic, N.; Solomons, N.; Bulux, J.; Barrows, J.; Schwartz, S.J. Packaging preservation of β -Carotene in sweet potato flakes using flexible film and an oxygen absorber. J. Food Qual. 1999, 22, 63–73. [CrossRef]
- 140 .Tarr, C.R.; Clingeffer, P.R. Use of an oxygen absorber for disinfestation of consumer packages of dried vine fruit and its effect on fruit colour. J. Stored Prod. Res. 2005, 41, 77–89. [CrossRef]
- 141 .Alzamora, S.M.; Guerrero, S.; López-Malo, A.; Palou, E. Plant antimicrobials combined with conventional preservatives for fruit products. In Natural Antimicrobials for the Minimal Processing of Foods; Roller, S., Ed.; Woodhead Publishing: London, UK, 2003; pp. 235–249.
- 142 .Ganiari, S.; Choulitoudi, E.; Oreopoulou, V. Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. Trends Food Sci. Technol. 2017, 68, 70–82. [CrossRef]
- 143 .Dongen, W.D.V.; Kruijff, N.D. Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2007.
- 144 .Romanazzi, G.; Feliziani, E.; Santini, M.; Landi, L. Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and other resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. Postharvest Biol. Technol. 2013, 75, 24–27. [CrossRef]
- 145 .Choulitoudi, E.; Velliopoulou, A.; Tsimogiannis, D.; Oreopoulou, V. Effect of active packaging with Satureja thymbra extracts on the oxidative stability of fried potato chips. Food Packag. Shelf Life 2020, 23, 100455. [CrossRef]
- 146 .Cordeiro de Azeredo, H.M. Edible coatings. In Advances in Fruit Processing Technologies; Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N., Eds.; CRC Press Inc.: Boca Raton, FL, USA, 2012; pp. 345–361.
- 147 .Dhall, R.K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2012, 53, 435–450. [CrossRef]
- 148 .Lin, D.; Zhao, Y. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2007, 6, 60–75. [CrossRef]
- 149 .Smolander, M. Freshness indicators and food packaging. In Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods; Kerry, J., Butler, P., Eds.; John Wiley & Sons Ltd.: West Sussex, UK, 2008; pp. 111–127.
- 150 .Vanderroost, M.; Ragaert, P.; Devlieghere, F.; De Meulenaer, B. Intelligent food packaging: The next generation. Trends Food Sci. Technol. 2014, 39, 47–62. [CrossRef]
- 151 .Rhim, J.W.; Kim, Y.T. Biopolymer-based composite packaging materials with Nanoparticles. In Innovations in Food Packaging, 2nd ed.; Han, J.H., Ed.; Elsevier Ltd.: London, UK, 2014; pp. 413–442.
- 152 .Kuswandi, B. Freshness Sensors for Food Packaging. Ref. Modul. Food Sci. 2017, 1–11. [CrossRef]
- 153 .Gómez, A.H.; Hu, G.; Wang, J.; Pereira, A.G. Evaluation of tomato maturity by electronic nose. Comput. Electron. Agric. 2006, 54, 44]. ٥٢–CrossRef]
- 154 .Kuswandi, B.; Maryska, C.; Abdullah, A.; Heng, L.Y. Real time on-package freshness indicator for guavas packaging. J. Food Meas. Charact. 2013, 7, 29–39. [CrossRef]
- 155 .Taoukis, P.S.; Labuza, T.P. Applicability of time temperature indicators as shelf life monitors of food products. J. Food Sci. 1989, 54, 783]. ٧٨٨–CrossRef]
- 156 .Taoukis, P.S. Commercialization of time-temperature integrators for foods. In Case Studies in Novel Food Processing Technologies:

Innovations in Processing, Packaging and Predictive Modelling; Doona, C.J., Kustin, K., Feeherry, F.E., Eds.; Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK, 2010; Chapter 14; pp. 351–365.

157 .Bobelyn, E.; Hertog, M.L.A.T.M.; Nicolai, B.M. Applicability of an enzymatic time temperature integrator as a quality indicator

for mushrooms in the distribution chain. *Postharvest Biol. Technol.* 2006, 42, 104–114. [CrossRef]