مقاله پژوهشی

تأثیر بسته‌بندی نانوکامپوزیت نقره و سیلیکا بر خواص کیفی و فعالیت آنزیمی میوه تازه بریده شلیل رقم رد گلد

ساوه واعظی[۱]*، محمدرضا اصغری[۲]، علیرضا فرخزاد[۳] و زهرا یوسفی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۶- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۸)

چکیده

تأثیر بسته‌بندی نانوکامپوزیت که بوسیله اختلاط پلی‌پروپیلن با نانو ذرات نقره و سیلیکا آماده شده بود بر کیفیت و عمر پس از برداشت میوه‌های تازه بریده شلیل رقم ردگلد در دمای ۱-۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ تا ۹۵٪ بررسی شد. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۴ تکرار انجام گرفت. صفاتی چون میزان پوسیدگی، میزان کاهش وزن، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص قهوه‌ای شدن، فعالیت آنزیم های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز ارزیابی شدند. بسته‌بندی نانو در مقایسه با شاهد (پلی‌پروپیلن) کاهش معنی‌داری در میزان پوسیدگی و میزان کاهش وزن داشت ($P<0/01$). فعالیت پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز و شاخص قهوه‌ای شدن در میوه‌های بسته‌بندی شده در ظروف نانو کاهش یافت. بسته‌بندی نانو باعث حفظ اسیدیته کل گردید. میزان مواد جامد محلول در ظروف شاهد نسبت به ظروف نانو افزایش معنی داری نشان داد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ظروف بسته بندی حاوی نانوذرات نقره و سیلیکا می‌تواند تکنیک مناسبی برای کاهش پوسیدگی میوه و حفظ کیفیت و افزایش عمر پس از برداشت شلیل تازه بریده رقم رد گلد در طول دوره نگهداری باشد.

کلمات کلیدی: پلی‌فنل اکسیداز، شاخص قهوه‌ای شدن، ظروف بسته‌بندی، کیفیت، نانوذرات

۱ - دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲ - استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳ - دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۴- استادیار گروه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت

* پست الکترونیک: s.vaeziheris@urmia.ac.ir

مقدمه

میوه‌ها و سبزیجات تازه بریده محصولاتی هستند که بصورت جزیی فرآوری شده می‌باشند و با پوست گرفتن، قاچ کردن، برش زدن یا خرد کردن بدون شستشو یا همراه با شستشو قبل از بسته‌بندی جهت استفاده توسط مصرف‌کننده، آماده می‌شوند. چنین محصولاتی از میوه‌ها و سبزیجات تازه به دست می‌آیند که به صورت متابولیکی بعد از برداشت فعال باقی مانده و دستخوش فرآیندهای رسیدن و پیری می‌شوند (گالیندو[1]، ۲۰۰۴). به دلیل عمل جزیی فرآوری، عمر نگهداری این محصولات معمولا حدود ۱ تا ۳ روز یا کمتر می‌باشد (آلند[2] و همکاران، ۲۰۰۶). یک بررسی در مورد محصولات تازه بریده نشان داد که مصرف‌کنندگان می‌خواهند این محصولات ویژگی تازه بودن خود را بدون استفاده از مواد نگهدارنده برای مدت طولانی حفظ کنند (بروهن[3]، ۱۹۹۴). استفاده از ضدعفونی کننده‌های تجاری، اشعه uv، تیمارهای گرمایی، شیمیایی و بسته‌بندی می‌تواند جهت افزایش عمر نگهداری محصولات تازه بریده مفید واقع شود. اما این روش‌ها بازارپسندی محصول و تازگی آنها را کاهش داده و باعث کاهش کیفیت غذایی محصول می‌شوند (گونزالز-آگویلار[4] و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین استفاده از بسته‌بندی فعال می‌تواند برای حفظ کیفیت محصولات تازه بریده موثر باشد. ظهور فناوری نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، راه حل‌هایی کاربردی در ارتباط با افزایش طول عمر نگهداری مواد غذایی پیش روی بشر قرار داده است (امامی‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). ذرات نانو نسبت سطح به حجم بالایی دارند، بنابراین تماس نانو ذرات افزایش می‌یابد. با ظهور فناوری نانو و تولید نانو کامپوزیت‌های ضدباکتریایی مختلف، استفاده از این بسته‌های جدید بیش از سایر پوشش‌ها مورد توجه قرار گرفته است (ولی‌پورمطلق و همکاران، ۱۳۸۸). فناوری نانو با افزایش ایمنی مواد غذایی، تولید و زمان نگهداری و همچنین افزایش عمر انبارداری با ایجاد سد فیزیکی، مزایای زیادی در برنامه‌های پوشش و بسته‌بندی در مقایسه با بسته‌بندی معمولی دارد (سانتیاگو و کاسترو[5]، ۲۰۱۶). از آنجاییکه ذرات نانو به صورت لایه‌های موازی چندتایی در پلیمر پخش می‌شوند (شکل ۱)، مسیر حرکت گازها درون پلیمر طولانی می‌شود، بنابراین فیلم‌های تهیه شده از نانوکامپوزیت‌ها نفوذناپذیر می‌باشند و چون درصد نانوذرات کم است (حداکثر ۵٪) ورقه تولید شده برای بسته‌بندی، شفافیت خود را از دست نمی‌دهد (آرورا و پادوآ[6]، ۲۰۱۰).

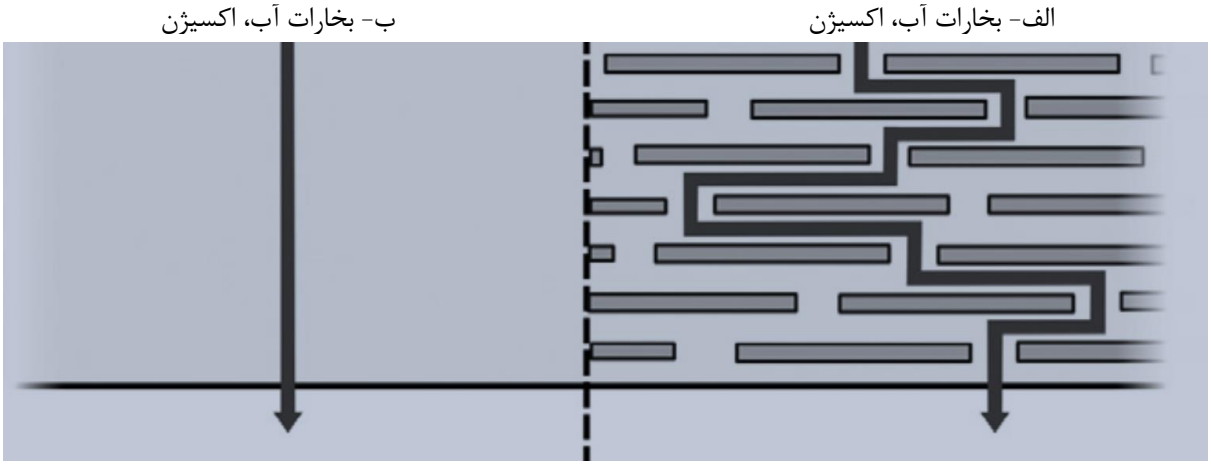
نانو ذرات نقره بیشترین اثر ضدمیکروبی را دارا می‌باشند زیرا اثر ضدمیکروبی علیه باکتری، ویروس و سایر میکرو ارگانیسم‌های یوکاریوتیک دارند و می‌توانند بیش از ۶۵۰ نوع میکروارگانیسم از قبیل باکتری و ویروس را از بین ببرند (ولی‌پورمطلق و همکاران ۱۳۸۸). از جمله سازوکارهای مختلف خواص ضدمیکروبی نانو ذرات نقره می‌تواند چسبیدن نانو ذرات به سطح هوشیار مواد غشایی، مولکول های لیپوپلی‌ساکارید، وارد شدن به سلول و افزایش زیاد نفوذپذیری غشا باشد. نانوذرات نقره، وارد سلول باکتری شده، منجر به تخریب DNA می‌شود. نانو ذرات سیلیکا به گروهی از مواد بی‌شکل با ساختار شبکه سه بعدی تعلق دارد و به دلیل اندازه کوچک، سطح ویژه بالا، انرژی سطح بالا، پیوندهای شیمیایی اشباع نشده و گروه‌های هیدرکسیل در سطح، به راحتی می‌تواند در میان زنجیره‌های ماکرومولکولی پراکنده شود (زامبرانو-زاراگوزا[7] و همکاران، ۲۰۱۸). نانو سیلیکا به‌طور گسترده در محصولات غذایی استفاده می‌شود. این ماده عمدتا جهت غلیظ شدن خمیر، به‌عنوان ماده ضدانعقاد جهت حفظ خواص روان بودن محصولات پودر شده و به‌عنوان حامل عطرها و طعم دهنده‌های معطر در محصولات خوراکی و غیرخوراکی استفاده می‌شود (زامبرانو-زاراگوزا و همکاران، ۲۰۱۸).

در این پژوهش با توجه به خصوصیات منحصر به فرد نانوکامپوزیت‌های محتوی نانو ذرات نقره و سیلیکا از جمله خاصیت ضدمیکروبی و ممانعت در مقابل نفوذ اکسیژن، حفظ کیفیت مواد غذایی برای مدت طولانی، اثرات این نوع از بسته‌بندی‌ها بر کیفیت و ماندگاری شلیل تازه بریده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

میوه‌های شلیل رقم "ردگلد"در مرحله بلوغ تجاری هنگامی که ۵۰ تا ۸۰ درصد رنگ گرفته و دارای اندازه مناسب بودند، برداشت شده و شلیل‌های سالم و با اندازه یکسان انتخاب

1. Galindo
2. Allende
3. Bruhn
4. Gonzalez-Aguilar
5. Santiago and Castro
6. Arora and Padua
7. Zambrano-Zaragoza



شکل ۱- الف: تصویری از مسیر پرپیچ و خم ایجاد شده از ترکیب نانوذرات در داخل پلیمر

شده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند و تا زمان انجام آزمایش در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد نگه داری شدند. ظروف مورد استفاده در این پژوهش از شرکت نانو بسپار آیتک خریداری شدند. شکل ظروف مکعب مربع با گنجایش ۱۰ میوه قاچ شده شلیل می‌باشد که غلظت نانو ذرات بکار رفته ۵٪ و اندازه نانو ذرات حداکثر ۲۰ نانومتر بود.

فرآوری و تیمار میوه‌ها

میوه‌ها با محلول ضدعفونی کننده میوه و سبزی داتیس[1] مدل B1221 حاوی بنزالکونیوم کلراید به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی، سپس شسته شده و خشک گردیدند. اندازه‌گیری‌های اولیه در مورد صفات مورد نظر انجام شد. هر میوه با استفاده از چاقوی فلزی ضدزنگ تیز که از قبل با هیپوکلریت سدیم ۵٪ ضدعفونی شده بود، به ۴ قاچ مساوی تقسیم و سپس هسته میوه خارج شد. پس از آن قاچ‌های شلیل در داخل ظروف نانو کامپوزیت نقره و سیلیکا و ظروف پلی پروپیلن معمولی (در هر ظرف ۱۰ میوه) بطور تصادفی قرارداده شدند و به سردخانه با دمای ۱-۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰٪ به مدت ۲۱ روز منتقل شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی

اندازه‌گیری خواص کیفی در روزهای اول، هفتم، چهاردهم و بیست و یکم انجام گرفت. برای ارزیابی میزان پوسیدگی هر میوه با بررسی ظاهری میوه از روش نمره‌دهی استفاده شد: ۱- بدون پوسیدگی ۲- پوسیدگی بیشتر از ۵٪ از سطح میوه، ۳- پوسیدگی ۲۰-۵٪ از سطح میوه، ۴- پوسیدگی ۵۰-۲۰٪ از سطح میوه، ۵- پوسیدگی بیشتر از ۵۰٪ از سطح میوه، تعیین گردید (یو[2] و همکاران، ۲۰۰۳).

کاهش وزن میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی مدل CANDGL300 انجام شد. برای این منظور تفاوت وزن میوه‌ها در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ با روز اول محاسبه شد (منگ[3] و همکاران، ۲۰۰۷). درصد کاهش وزن به صورت زیر محاسبه گردید:

وزن اولیه / ۱۰۰ × (وزن ثانویه - وزن اولیه)= درصد کاهش وزن

برای اندازه‌گیری اسیدیته کل از روش تیتراسیون با محلول ۰/۱ نرمال NaOH تا رسیدن به pH=۸/۲ استفاده گردید و نتایج برحسب گرم اسید مالیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه بیان شد (هرناندز-مونز[4] و همکاران، ۲۰۰۸).

مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفرکتومتر دستی (مدل Atago Manual) در دمای اتاق برحسب درجه بریکس قرائت گردید.

شاخص قهوه ای شدن

شاخص قهوه‌ای شدن طبق روش بوئرا[5] و همکاران (۱۹۸۵) انجام گرفت که با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج تغییرات رنگ از سطح خارجی میوه اندازه‌گیری شد. شاخص قهوه‌ای شدن به صورت زیر محاسبه گردید:

شاخص قهوه‌ای شدن=۱۰۰(x-۰/۳) /۰/۱۷۵۲

$x=(a+ ۱/۷۵L^*) /(۵/۶۴۵L^* + a^* - ۳/۰۱۲b^*)$

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز(PPO)

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز با روش پیزوکارو[6] و

1. Dattis
2. Yu
3. Meng
4. Hernandez-Munoz
5. Buera
6. Pizzocaro

همکاران (۱۹۹۳) بر اساس اکسیداسیون کاتکول انجام شد: ۲/۵ میلی‌لیتر ماده بافری (بافرفسفات سدیم ۱۰۰ میلی مولار، pH=۶/۴ و ۵۰ میلی‌مولارکاتکول) را به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه کرده و پس از قرار دادن در بن‌ماری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل UV/Vis 2100 به مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز(POD)

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش یوپدهیایا[1] و همکاران (۱۹۸۵) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات‌سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ محتوی ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۱٪، ۱ میلی‌لیتر ۱٪، H_2O_2 و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم پراکسیداز به صورت افزایش در طی یک دقیقه در طول موج ۴۹۰ nm محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش بصورت فاکتوریل (۳×۲) در قالب طرح کاملا تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با کمک نرم‌افزار SAS انجام شد و برای رسم نمودارها از EXCEL استفاده شد و مقایسات میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

در همه فاکتورهای اندازه‌گیری شده اثرات ساده ظرف و زمان و همچنین اثرات متقابل ظرف و زمان از نظر آماری معنی‌دار بوده است.

پوسیدگی

ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا در کنترل میزان پوسیدگی‌های میوه در طول دوره نگهداری بسیار موثر بود. نتایج نشان داد که ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا باعث کاهش میزان پوسیدگی در طول دوره نگهداری میوه تازه بریده شلیل می‌شود (شکل ۲). بطوریکه در هفته اول نگهداری، ظروف شاهد ۱/۷٪ و ظروف حاوی نانوذرات ۱/۲٪ پوسیدگی را نشان دادند. اثر متقابل نوع ظرف و زمان نگهداری بر میزان پوسیدگی میوه‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان پوسیدگی (۲/۵ ٪) مربوط به بسته‌بندی معمولی پلی‌پروپیلن در مقایسه با ظروف حاوی نانو ذرات (۱/۴٪) بعد از ۲۱ روز نگهداری بود (شکل ۲). در بسته‌بندی‌های جدید، نانو ذرات به صورت زیگزاگ قرار گرفته‌اند و مانند سدی مانع از نفوذ اکسیژن می‌شوند. به بیان دیگر مسیری که گاز باید برای ورود به بسته طی کند طولانی می‌شود، به همین دلیل مواد غذایی در این بسته‌ها تازگی خود را بیشتر حفظ می‌کنند (پائول و روبسون[2]، ۲۰۰۸). با استفاده از این ظروف در مقایسه با ظروف معمولی در ۲۴ ساعت اولیه میزان رشد باکتری‌ها ۹۸٪ کاهش یافته است (انصاری، ۱۳۸۶). پلاستیک پلی اتیلنی محتوی ۰/۱ تا ۰/۸ درصد وزنی نانو ذرات نقره، زمان نگهداری سبزیجات با رنگ سبز تیره (مانند پیازچه، اسفناج و گشنیز) را که به راحتی از بین می‌روند، یک هفته تا یک ماه بیشتر از بسته‌های زیپ‌دار معمولی نگهداری کرد و میزان پوسیدگی سبزیجات را در ۲ هفته اول نگهداری در مقایسه با پلاستیک پلی‌اتیلنی معمولی حدود ۳٪ کاهش داد (چنگ و چو[3]، ۲۰۰۷). نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط اصغری و همکاران (۱۳۹۴)، لی[4] و همکاران (۲۰۱۷)، آل-نامانی[5] و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد که گزارش نمودند که نانو کامپوزیت حاوی ناو ذرات نقره، فیلم پلی‌لاکتیک اسید حاوی نانو ذرات اکسید روی و نانو کامپوزیت پلی‌اتیلن حاوی نانو ذرات اکسید روی-کیتوسان موجب کاهش پوسیدگی میوه‌های شلیل تازه بریده، سیب تازه بریده و بامیه شده است.

میزان کاهش وزن میوه‌ها

تأثیر هر دو تیمار ظرف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا و زمان نگهداری و نیز اثرات متقابل آنها بر میزان کاهش وزن میوه‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱).

میزان کاهش وزن میوه‌ها در ۷ روز پس از نگهداری در بسته‌بندی معمولی ۱/۶٪ و در بسته‌بندی حاوی نانو ذرات ۰/۷٪ بود. پس از ۲۱ روز نگهداری بیشترین میزان کاهش وزن مربوط به بسته بندی معمولی (۲٪) در مقایسه با بسته بندی حاوی نانوذرات (۱/۷٪) بود (شکل ۲). خسارت کاهش وزن میوه به طور عمده با تنفس و تبخیر رطوبت در اطراف

1. Updhyaya
2. Paual and Robeson
3. Chang and Chou
4. Li
5. Al-Naamani

جدول۱- تجزیه واریانس تأثیر بسته‌بندی نانوکامپوزیت نقره و سیلیکا و زمان نگهداری و اثرات متقابل آنها بر صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		میزان پوسیدگی	کاهش وزن	اسیدیته کل	مواد جامد محلول	شاخص قهوه ای شدن	آنزیم پلی‌فنل اکسیداز	آنزیم پراکسیداز
اثر ظرف	۱	۵/۳۰**	۰/۰۲۶۲**	۰/۰۳۵**	۰/۰۸۲**	۶۰۱/۸۰**	۱۱۸۸**	۸۶۵/۵۸**
اثر زمان	۲	۰/۴۷**	۰/۰۱۳۶**	۰/۰۶۹**	۰/۰۶۸**	۲۲۲/۱۸**	۴۸۷۶**	۱۱۳/۱۷**
اثر ظرف*زمان	۲	۰/۳۷**	۰/۰۰۱۵**	۰/۰۱۱*	۰/۰۲۱**	۲۹/۱۹**	۶۷۵۵**	۱۹۴/۸۸*
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۷	۰/۰۴۴	۹۸۸۳/۳	۴۰۱/۴۰
ضریب تغییرات (%)		۳/۹۱	۸/۹۲	۶/۸۱	۸/۳۵	۰/۲۳	۱۳/۸۶	۲۲/۴۸

^{ns} ، ** و * به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

پوست میوه ارتباط دارد. همچنین کاهش وزن میوه در نتیجه دهیدراسیون و آب از دست‌دهی از سطح میوه‌ها می‌باشد (مارتینز-رومرو[1] و همکاران، ۲۰۰۶). در این آزمایش میوه‌های قرار داده شده در ظروف حاوی نانو ذرات کاهش وزن کمتری را نشان دادند. میوه‌های کیوی‌فروت داخل بسته‌بندی‌های نانو کاهش وزن کمتری نسبت به بسته‌بندی‌های پلیمر معمولی در طی ۴۲ روز نگهداری داشتند (هو[2] و همکاران، ۲۰۱۱). دوین[3] و همکاران (۲۰۲۰) نیز به نتایج مشابهی در توت‌فرنگی دست یافتند.

اسیدهای قابل تیتراسیون

تأثیر هر دو تیمار ظرف حاوی نانوذرات نقره و سیلیکا و زمان نگهداری در سطح احتمال ۱٪ و نیز اثرات متقابل آنها در سطح احتمال ۵٪ بر میزان اسیدهای قابل تیتراسیون معنی‌دار بود (جدول ۱). همانطوریکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود میزان اسیدهای قابل تیتراسیون در طی ۲۱ روز نگهداری کاهش یافت اما میوه‌های بسته‌بندی شده در ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا کاهش کمتری نشان دادند. عواملی که باعث کاهش تنفس و تولید اتیلن می‌شوند به واسطه کاهش مصرف قندها از کاهش اسیدهای آلی و افزایش مواد جامد محلول جلوگیری می‌کنند (جلیلی-مرندی، ۱۳۸۳). یانگ[4] و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تفاوت قابل توجهی در میزان اسیدهای قابل تیتراسیون بین بسته‌های نانو در مقایسه با بسته‌های پلیمر معمولی در میوه توت‌فرنگی در طول دوره نگهداری وجود داشت. بسته‌های نانو باعث حفظ بیشتر میزان اسیدهای آلی نسبت به بسته بندی‌های پلیمر معمولی در طول دوره نگهداری در میوه سیب تازه بریده شدند (لی[5] و همکاران، ۲۰۰۹).

مواد جامد محلول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تفاوت معنی‌داری بین بسته‌بندی نانو و زمان نگهداری بر میزان مواد جامد محلول در طول دوره نگهداری وجود داشت. بیشترین میزان افزایش مواد جامد محلول (۱۸٪) مربوط به بسته‌بندی پلی‌پروپیلن بعد از ۲۱ روز نگهداری بود، در حالیکه در بسته‌بندی حاوی نانو ذرات ۱۳٪ افزایش داشت (شکل ۲). افزایش شدید مواد جامد محلول در میوه‌های شاهد به دلیل شکستن پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و تبدیل آنها به قندهای محلول در نتیجه پیشرفت پیری و تخریب سلولی صورت می‌گیرد و هر عاملی که با کاهش سرعت پیری از شکستن دیواره‌های سلولی جلوگیری کند و یا آن را کاهش دهد، باعث جلوگیری از افزایش غیرعادی مواد جامد محلول خواهد شد (سالوکا[6] و همکاران، ۱۹۷۴). هو[7] و همکاران (۲۰۱۱) و آل-نامانی[8] و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که افزایش میزان مواد جامد محلول در میوه کیوی و بامیه بسته‌بندی شده در ظروف حاوی نانو ذرات در مقایسه با ظروف شاهد کمتر بود.

شاخص قهوه‌ای شدن

شاخص قهوه‌ای شدن در شلیل‌های تازه بریده به تدریج در طول زمان نگهداری افزایش یافت (شکل ۲). اختلاف معنی‌داری بین بسته‌بندی حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا، زمان نگهداری و نیز اثرات متقابل آنها در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت (جدول ۱). کمترین میزان قهوه‌ای شدن مربوط به ظروف حاوی نانوذرات نقره و سیلیکا بعد از ۷ روز نگهداری ثبت شد (شکل ۲). در اثر برش و تخریب ساختمان

1. Martinez-Romero
2. Hu
3. Duyen
4. Yang
5. Li
6. Salukha
7. Hu
8. Al-Naamani

سلول‌ها در سطح برش، تغییر رنگ رخ می‌دهد. قهوه‌ای شدن اکسیداتیو در سطح برش عامل محدودکننده در نگهداری بسیاری از محصولات تازه بریده است. قهوه‌ای شدن آنزیمی به تغییر رنگ محدود نمی‌شود بلکه ایجاد طعم نامطلوب و کاهش کیفیت غذایی محصول نیز می‌تواند ناشی از این مسئله باشد (واموس- ویگیازو[1]، ۱۹۸۱). میزان قهوه‌ای شدن میوه عناب چینی در بسته‌بندی نانو ذرات نقره و نانو دی‌اکسید تیتانیوم و سیب تازه بریده فوجی در بسته بندی نانواکسید روی نسبت به بسته‌بندی معمولی کاهش پیدا کرده است (لی و همکاران، ۲۰۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۱۱).

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

فعالیت پلی‌فنل اکسیداز در طی ۲۱ روز نگهداری در همه بسته‌بندی‌ها افزایش یافت ولی در بسته‌بندی حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا، میزان فعالیت پلی‌فنل اکسیداز نسبت به بسته‌بندی معمولی کمتر بود (شکل ۲). بیشترین میزان فعالیت پلی‌فنل اکسیداز مربوط به بسته‌بندی پلی‌پروپیلن پس از ۱۴ روز نگهداری بود. اثر متقابل ظروف نانو و زمان نگهداری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). در این پژوهش میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در طی دوره نگهداری در میوه‌های شاهد افزایش یافت (۴٪)، اما در میوه‌های قرار داده شده در ظروف محتوی نانو ذرات نقره و سیلیکا کاهش میزان فعالیت (۲/۹٪) مشاهده شد. پتانسیل قهوه‌ای شدن در شلیل، مرتبط با فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز می‌باشد و پلی‌فنل اکسیداز نقش مهمی در تغییرات آنزیمی قهوه‌ای شدن میوه‌ها و سبزی‌ها بازی می‌کند (اُپرا[2]، ۲۰۰۴). فناوری نانو توانایی کنترل متابولیسم آنزیم‌ها توسط تغییر در ساختمان و افزودن دیگر ذرات فعال را دارد. بنابراین می‌توان فعالیت‌های آنزیم‌ها را از این طریق تحت کنترل درآورد (انصاری، ۱۳۸۶). لی و همکاران (۲۰۱۱)، لی و همکاران (۲۰۱۷) و دوین و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در میوه‌های توت‌فرنگی، سیب تازه بریده و توت فرنگی بسته‌بندی شده در ظروف حاوی نانو ذرات کاهش می‌یابد.

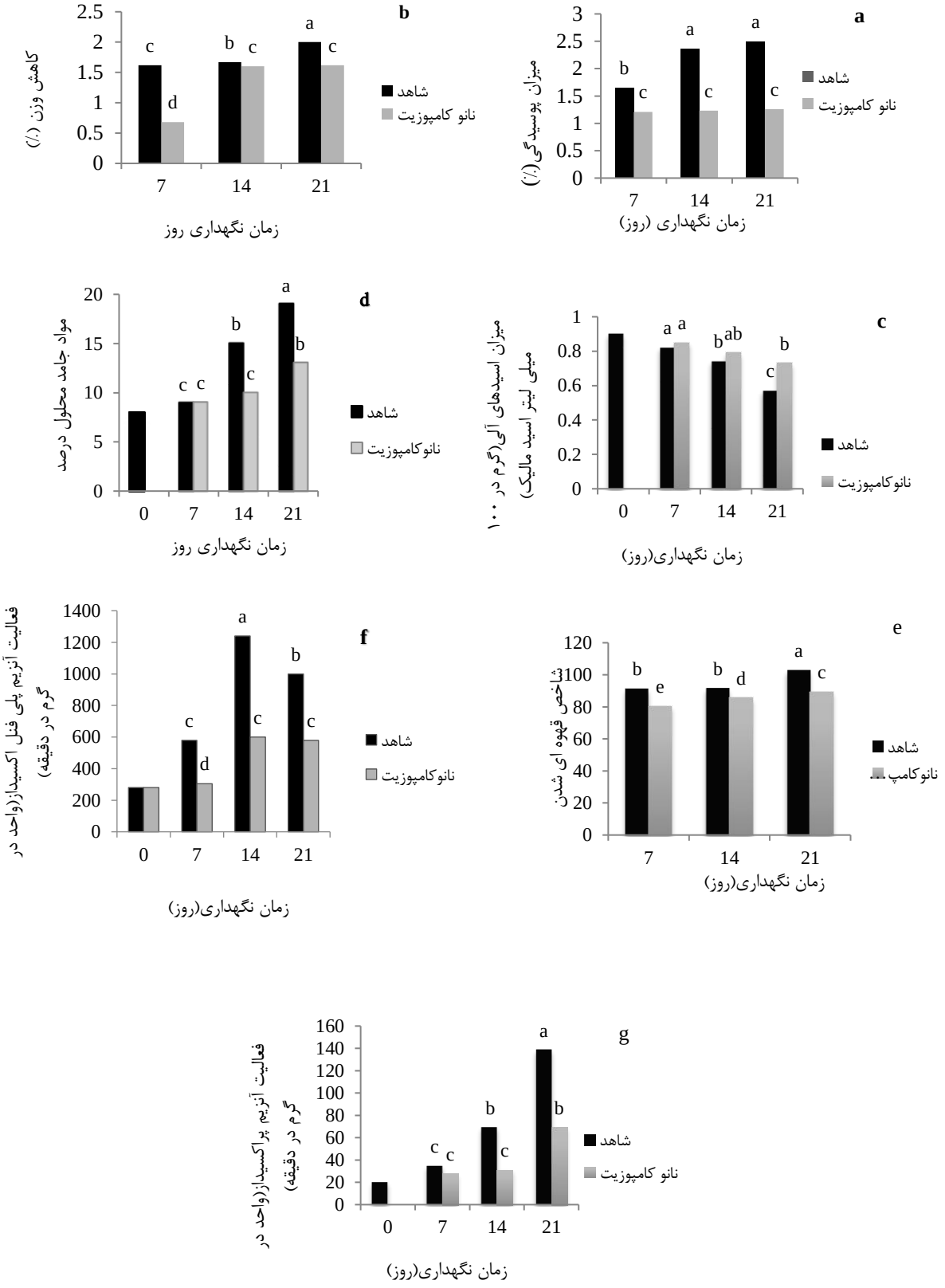
فعالیت آنزیم پراکسیداز

اثر متقابل نوع ظرف و زمان نگهداری بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). فعالیت آنزیم پراکسیداز در طی ۲۱ روز نگهداری در همه بسته‌بندی‌ها افزایش یافت، ولی در بسته‌بندی حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۳/۵٪) نسبت به بسته‌بندی معمولی (۷٪) کمتر بود (شکل ۲). تغییر در تولید پراکسیدازها ممکن است توسط زخم، استرس‌های فیزیولوژیکی و آلودگی‌ها ایجاد شود. بسیاری از واکنش‌ها به وسیله پراکسیدازها تقویت می‌شوند و در حضور مقادیر کمی پراکسید هیدروژن، این آنزیم می‌تواند مقداری از ترکیبات فنلی را که در سطح گسترده‌ای تولید می‌شوند، اکسید نماید (میتلر[3]، ۲۰۰۲). یانگ و همکاران (۲۰۱۰) و لی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که فعالیت آنزیم پراکسیداز در میوه‌های توت‌فرنگی بسته‌بندی شده در ظروف نانو نقره و سیب تازه بریده فوجی بسته‌بندی شده در ظروف نانواکسیدروی (nano-ZnO) کاهش می‌یابد. همچنین هو و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که میزان فعالیت پراکسیداز به طور قابل توجهی در میوه‌های کیوی داخل بسته‌بندی‌های نانو کاهش یافت.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش مشخص شد که ظروف پلی‌پروپیلن حاوی نانوذرات نقره و سیلیکا در حفظ کیفیت محصول تازه‌بریده نسبت به بسته‌بندی پلی‌پروپیلن معمولی موثرتر بود. بسته‌بندی حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا میزان پوسیدگی میوه‌ها را در مقایسه با بسته‌بندی معمولی ۱/۱٪ کاهش داده و از کاهش وزن میوه‌ها در طول دوره انبارداری (۰/۳٪) جلوگیری کرد. میزان فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز نیز در بسته‌بندی نانو کاهش یافت. بنابراین بسته‌بندی نانو روش خوبی برای حفظ کیفیت میوه‌های تازه بریده شلیل رقم "رد گلد" در طول دوره نگهداری می‌باشد و ۱۴ روز نگهداری در ظروف مورد نظر جهت حفظ بازارپسندی میوه توصیه می‌شود.

1. Vamos-Vigyazo
2. Opera
3. Mittler



شکل ۲- تأثیر بسته‌بندی نانو نقره و سیلیکا و بسته‌بندی معمولی روی کیفیت میوه تازه بریده شلیل رقم "رد گلد". a) میزان پوسیدگی b) کاهش وزن c) میزان اسیدهای آلی d) مواد جامد محلول e) شاخص قهوه‌ای شدن f) پلی‌فنل اکسیداز g) پر اکسیداز

منابع

اصغری، م.ر.، واعظی، س. و فرخزاد، ع.ر. ۱۳۹۴. تأثیر بسته‌بندی نانو نقره بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری میوه تازه بریده شلیل رقم (رد گلد). نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (۴)۲۵: ۴۱-۵۰.

انصاری، ش. ۱۳۸۶. نانو ذرات نقره و خاصیت ضدمیکروبی آن. نشریه پژوهشگاه مواد و انرژی کرج، ۷: ۳۹-۴۵.

امامی‌فر، آ.، کدیور، م.، شاهدی، م. و سلیمانیان‌زاد، ص. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیتی حاوی نقره و اکسید روی بر عمر نگهداری آب پرتقال تازه. مجله صنایع غذایی ایران، ۱: ۶۷-۵۷.

جلیلی‌مرندی.، ر. ۱۳۸۳. فیزیولوژی بعد از برداشت (جابجایی و نگهداری میوه، سبزی و گیاهان زینتی). انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، ۳۷۰ ص.

ولی‌پورمطلق، ن.، حامد موسویان، م.ت. و مرتضوی، س.ع. ۱۳۸۸. تاثیر بسته‌بندی محتوی نانو ذرات نقره بر مشخصه‌های میکروبی و ظاهری زرشک در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، (۲)۵: ۷۵-۸۷.

Al-Naamani, L., Dutta, J. and Dobretsov, S. 2018. Nanocomposite zinc oxide-chitosan coatings on polyethylene films for extending storage life of okra (*Abelmoschus esculentus*). Nanomaterials, 8: 479-486.

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

Arora, A. and Padua, G.W. 2010. Review: Nanocomposites in food packaging. Journal Food Science, 75: 43-49.

Bruhn, C. 1994. Consumer perception of fresh-cut produce. Perish Handl News, 81: 18–19.

Buera, M.P., Lozano, R.D. and Petriella, C.1985. Definition of colour in the nonenzymatic browning process. Die Farbe Review, 3: 318–322.

Chang, K.F. and Chou, P.C. 2007. A study on the psychology satisfaction influenced by the indoor physical environment factors-taking the thermal comfort factor, TTSBE 2007 proceeding of the international conference in sustainable building Taipei, Session A, Taiwan, pp. A07:1-6.

Duyen, H., Nguyen, H. and Nguyen, V.H. 2020**.** Effects of nano-chitosan and chitosan coating on the quality, polyphenol oxidase activity, malondialdehyde content of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Journal of Horticulture and Postharvest Research, 3(1): 11-24.

Galindo, F.G. 2004. Factors affecting quality and postharvest properties of vegetables: integration of water relations and metabolism. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44: 139–154.

Gonzalez-Aguilar, G.A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Meudoza, J., Goycoolea, F., Martínez-Téllez, M.A., Villegas-Ochoa, M.A., Monroy-García, I.N. and Ayala-Zavala, J.F. 2009. Effect of chitosan coatiny in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya. Jourual of Seience of Food Agriculture, 89(1): 15-23.

Hernandez-Munoz, P., Almena, E., Valle, V.D. Velez, D. and Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combine with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerate storage. Food Chemistry, 110: 428-435.

Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N. and Zhao, L. 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. Food Research International, 44: 1589-1596.

Li, H.M., Li, F. and Wang, L. 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var inermis (Bunge) Rehd). Food Chemistry, 114: 547-552.

Li. X., Li, W. and jiang, Y. 2011. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut "fugi" apple. Journal of Food Science and Technology, 46: 1947-1955.

Li, W., Li, L., Cao. Y., Lan, T., Chen, H. and Qin, Y. 2017. Effects of PLA Film Incorporated with ZnO Nanoparticle on the Quality Attributes of Fresh-Cut Apple. Nanomaterials, 7: 207-211.

Martinez-Romero, D.N., Alburquerqu, J.M. Valverde, F., Guillen, S. and Cas, S. 2006. Postharvest quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: a new edible coating. Postharvest Biology and Technology, 39: 93-100.

Meng, X., LiBLiu, J. and Tian, S. 2007. Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. Food Chemistry, 106: 501-550.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Science, 7: 405-410.

Opera, L. 2004. Emerging technological innovation triad for smart agriculture in the 21st century. Part 1. Prospect and impacts of nono technology in agriculture, pp. 1-27.

Paual, D.R. and Robeson, L.M. 2008. Polymer nanotechnology. Journal Polymer, 49: 3187-3204.

Pizzocaro, F., Torreggiani, D. and Gilardi, G. 1993. Inhibition of apple polyphenol oxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. Journal of Food Processing and Preservation, 17:21-30.

Salukha, D.K., Jadhar, S.J. and Yu, M.H. 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruits influenced by certain biochemical and physiological changes. Qualita Splantarum, 24: 85-113.

Santiago, L.G. and Castro, G.R. 2016. Novel technologies for the encapsulation of bioactive food compounds. Food Science, 7: 78-85.

Updhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T.D., Sankhla, N. and Smidth, B.N. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of Some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. Journal of Plant Physiology, 121: 453-461.

Vamos-Vigyazo, L. 1981. Polyphenol oxidase in fruits and vegetables. CRC Critical Review, Food Science Nutrition, 15: 49-127.

Yang, F., Li, H., Li, F. and Hu, Q. 2010. Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.cv.Fengxiang) during storage at 4°c. Journal of Food Science, 75: c236-c240.

Yu, Z., Song, C.K., Jun, C.Q., Long, Z.S. and Ping, R.Y. 2003. Effects of acetylsalicylic acid (ASA) and ethylene treatments on ripening and softening of postharvest kiwifruit. Acta Botanica Sinica, 45: 1447-1452.

Zambrano-Zaragoza, M., Gonzalez-Reza, R., Mendoza-Munoz, N., Miranda-Linares, V., Bernal-Couoh, T., Mendoza-Elvira, S. and Quintanar-Guerrero, D. 2018. Nanosystems in Edible Coatings: A Novel Strategyfor Food Preservation. International Journal of Molecular Sciences, 19: 705-729.