مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۱ صفحه های ۱۶۷ تا ۱۷۸ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

اثر کاربرد پس از برداشت پلی‌آمین‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیموشیرین[1]

The Effect of Postharvest Polyamine Application on the Physicochemical Traits, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Sweet Lime Fruit

لیلا تقی‌پور*، پدرام عصار[2]

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد پس از برداشت پلی‌آمین‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیموشیرین بود. میوه‌ها در محلول پوترسین (۲ و ۴ میلی‌مولار)، اسپرمیدین (۱ و ۲ میلی‌مولار)، اسپرمین (۱ و ۲ میلی‌مولار)، یا آب مقطر (شاهد) به‌مدت ۱۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از دو و چهار ماه انبارمانی (دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد) ارزیابی‌ها انجام شد. به‌طورکلی، تیمارها تاثیری بر میزان اسید کل و پی‌اچ آب میوه نداشتند. با کاربرد پلی‌آمین‌ها از میزان اتلاف وزن یا کاهش میزان ماده‌های جامد محلول کل عصاره کاسته شد و شاخص طعم میوه‌های تیمارشده نسبت به شاهد بهتر بود. با گذشت زمان انبارمانی، محتوای اسید آسکوربیک آب میوه‌ها افزایش یافت، اما میزان فنول کل و فعالیت پاداکسنده کاهش یافت. میوه‌های تیمارشده با پلی‌آمین‌ها محتوای اسید آسکوربیک، فنول کل و فعالیت پاداکسنده عصاره بیش‌تری نسبت به شاهد داشتند. تیمار با هر دو غلظت اسپرمین نسبت به تیمارهای دیگر بیش‌ترین کارایی را در حفظ شاخص طعم و محتوای اسید آسکوربیک عصاره داشت. شاخص طعم میوه‌های تیمارشده با اسپرمین و اسپرمیدین مشابه بود. افزون بر آن، محتوای اسید آسکوربیک میوه‌های تیمارشده با اسپرمین مشابه با میوه‌های تیمارشده با ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین و پوترسین بود. در نهایت، غوطه‌وری در اسپرمین ۱ میلی‌مولار موثرترین تیمار کاهنده اتلاف وزن و نگهدارنده محتوای فنول کل و فعالیت پاداکسنده عصاره بود و به‌عنوان تیمار برتر جهت حفظ کیفیت میوه لیموشیرین پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، پوسیدگی، فنول کل، کاهش وزن، لیموشیرین، ماده‌های جامد محلول کل.

مقدمه

تیمارهای پس از برداشت با ترکیب‌های آلی نگهدارنده کیفیت و بهبودبخش انبارمانی محصول‌های باغبانی از مهم‌ترین و محبوب‌ترین راهبردهای نوین کاهش میزان تلفات محسوب می‌شوند. پلی‌آمین‌ها، آمین‌های آلیفاتیک با وزن مولکولی کم و متابولیت‌های آلی پلی‌کاتیونی هستند که به‌تقریب در تمام موجودات زنده از جمله گیاهان یافت می‌شوند (۳۱). پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین سه ترکیب مهم پلی‌آمین گیاهی هستند (۲۳). بر اساس برخی شواهد علمی، نقش حفاظتی پلی‌آمین‌ها در کاهش شدت اثر مخرب انواع تنش در گیاهان اثبات شده است. کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها پیش یا حین تنش سبب افزایش

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱

۲- استادیاران گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، صندوق پستی: ۱۱۱-۷۴۱۳۵.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک (1. L_taghipoor@yahoo.com, 2. Leilataghipour@jahromu.ac.ir).

مقدار درون‌زاد آن‌ها و در نتیجه کاهش میزان صدمه‌های مرتبط با تنش در مقیاس گوناگون می‌شود و میزان اثرگذاری تیمار تابعی از عوامل مختلف مانند نوع پلی‌آمین مورد استفاده، گونه گیاهی و نوع، مدت و شدت تنش می‌باشد (۲۹). پیشینه پژوهش‌های کاربردی در حوزه فیزیولوژی پس از برداشت محصول‌های باغبانی نشان می‌دهد کاربرد پلی‌آمین‌ها می‌تواند به صورت موثر سبب بهبود عمر انبارمانی و حفظ کیفیت میوه‌های فرازگرا و نافرازگرا شود (۳۲). به عنوان مثال، پیامد تیمار پس از برداشت میوه‌های نافرازگرا مانند کیوی (۲۴)، توت‌فرنگی (۱۵)، انار (۲۱)، انگور (۵)، پرتقال خونی (۹) و میوه‌های فرازگرا مانند سیب (۱۷)، لیچی (۱۳)، هلو (۱۸)، انبه (۲۶)، آلو (۱۴، ۲۳، ۲۷)، زردآلو (۱۲، ۱۶، ۱۹) و گلابی (۲۸) به‌صورت تاخیر در پیری و تغییر رنگ، کاهش سرعت تنفس، کاهش تولید اتیلن، کاهش آسیب سرمازدگی و حفظ سفتی بافت محصول در دوره انبارمانی گزارش شده است. اگرچه در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده روش اعمال تیمار پلی‌آمین به شیوه نفوذ زیر فشار (خلأ) بوده است (به هدف اطمینان از بیشینه اثربخشی تیمار)، اما اعتقاد بر این است که غوطه‌وری میوه‌ها در محلول پلی‌آمین‌ها روشی آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر است و به‌همین دلیل روشی مرسوم و مناسب جهت اعمال تیمار پس از برداشت پلی‌آمین‌ها محسوب می‌شود (۲۱).

سال‌ها پیش، کاربرد تجاری پلی‌آمین‌ها به‌هدف بهبود قابلیت ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌ها در ایالات متحده ثبت شده است. همچنین، استفاده از پلی‌آمین‌ها در اروپا تابع قانون و محدویت خاصی نیست (۳۲). به‌بیان دیگر، با توجه به اینکه پلی‌آمین‌ها مولکول‌هایی آلی هستند، تیمار پس از برداشت محصول‌های باغبانی با پلی‌آمین‌ها به‌عنوان فنی سالم و سازگار با محیط زیست تلقی می‌شود. اگرچه کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها میزان درون‌زاد آن‌ها در محصول را افزایش می‌دهد، اما به دلیل توانایی یاخته‌ها در متابولیزه کردن آن‌ها، غلظتشان در حد بسیار کم‌تر از میزان سمیت باقی می‌ماند.

تولید ملی مرکبات در حدود ۴/۵ میلیون تن، دارا بودن رتبه‌های هفتم از نظر میزان تولید، هشتم از نظر سطح زیر کشت و نهم از نظر عملکرد در مقیاس جهانی، و نیز مصرف سرانه ۳۲ الی ۴۵ کیلوگرم (سال ۱۳۹۶) همگی معرف اهمیت و جایگاه ویژه تولید و مصرف مرکبات در میان محصول‌های باغبانی در ایران است (۶). استان فارس با ۱۳۱۲۰ هکتار سطح زیر کشت بارور، میانگین عملکرد بیش از ۴۲ تن و تولید بیش از ۵۵۴۰۰۰ تن لیمو شیرین (*Citrus limettioides* Tan.) و شهرستان جهرم به‌عنوان قطب تولید لیموشیرین در کشور، رتبه اول را از نظر شاخص‌های پرورش و تولید این محصول ارزشمند در اختیار دارند (۱). با بررسی آمار مربوط به ۶۰ محصول باغی و زراعی عمده، مشخص شده است که حدود ۹۰ درصد از آسیب پس از برداشت محصول‌های کشاورزی تولیدی در ایران مربوط به ۲۰ نوع محصول است و لیمو شیرین با رتبه بیستم یکی از محصول‌های زیرمجموعه محسوب می‌شود. از این رو، بر اساس سند برنامه مدیریت کنترل و کاهش آسیب محصول‌های کشاورزی، لیمو شیرین با مقدار برآوردشده زیان به میزان ۲۶ درصد در رتبه بیستم اولویت‌بندی کشوری برنامه کاهش تلفات محصول‌های کشاورزی قرار دارد (۲۲).

بررسی پیشینه پژوهش‌های کاربردی در حوزه فیزیولوژی پس از برداشت مرکبات نشان می‌دهد که تاکنون در زمینه کاربرد پس از برداشت پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین و ارزیابی اثر آن‌ها بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه لیمو شیرین پژوهشی انجام نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر به هدف بررسی اثر تیمارهای غوطه‌وری پس از برداشت پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیمو شیرین در دوره انبارمانی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

پس از برداشت میوه‌های لیموشیرین رقم محلی در مرحله بلوغ تجاری از باغی تجاری در شهرستان جهرم، عمل انتقال میوه‌ها به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت انجام شد. میوه‌های یکنواخت و بدون آسیب پوستی جداسازی و با هیپوکلریت سدیم ۲ درصد به مدت ۲ دقیقه ضد عفونی شدند. پس از آبکشی میوه‌ها با آب مقطر، میوه‌ها در دمای اتاق خشک شدند.

تیمارها و طرح آزمایشی

پلی‌آمین‌های مورد استفاده از برند تجاری سیگما تهیه شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی با ۱۴ تیمار و چهار تکرار (۱۰ میوه در هر تکرار) انجام شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از: غوطه‌وری میوه‌ها در هفت سطح شامل پوترسین (غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار)، اسپرمیدین (غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار)، اسپرمین (غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار) و آب مقطر به‌عنوان شاهد؛ زمان نمونه‌گیری در دو سطح (پس از ۲ و ۴ ماه انبارمانی). پس از غوطه‌وری میوه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه و خشک شدن آب سطحی میوه‌ها در دمای آزمایشگاه، میوه‌ها به‌صورت تک به تک در پلاستیک پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و با انتقال به انبار با دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت چهارماه نگهداری شدند. پس از دو و چهار ماه انبارمانی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده میوه‌های لیموشیرین ارزیابی شد.

ویژگی‌های مورد ارزیابی

ارزیابی کاهش وزن با استفاده از ترازوی دیجیتال انجام شد. میزان کاهش وزن با محاسبه تفاوت وزن در زمان نمونه‌گیری نسبت به زمان برداشت و با استفاده از فرمول زیر و بر مبنای درصد گزارش شد (۱۱):

$$\text{کاهش وزن میوه (٪)} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰$$

با استفاده از فرمول زیر درصد پوسیدگی میوه‌ها محاسبه شد (۱۱):

$$\text{درصد پوسیدگی} = \frac{\text{تعداد میوه پوسیده}}{\text{تعداد کل میوه}} \times ۱۰۰$$

درصد ماده‌های جامد محلول کل (TSS) عصاره میوه به کمک دستگاه قندسنج دیجیتال (Milwaukee MA871, Hungary)، میزان اسید کل (TA) به روش عیارسنجی با محلول سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH= ۸/۱ (۱۰)، شاخص طعم میوه با تقسیم TSS بر TA و پی‌اچ (pH) آب میوه نیز با استفاده از دستگاه پی‌اچ‌سنج (PHAC، پارت آریا صنعت) اندازه‌گیری شد.

اسید آسکوربیک آب میوه با استفاده از روش عیارسنجی با ۲ و ۶-دی کلروفنول ایندوفنول اندازه‌گیری و به‌صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه گزارش شد (۲).

ارزیابی محتوای فنول کل عصاره میوه با روش فولین-سیوکالتیو (Folin-Ciocalteu) با کمی تغییر انجام شد. ابتدا ۲۰۰ میکرولیتر عصاره متانولی با ۲۵۰ میکرولیتر فولین ۱۰٪ مخلوط و سانتریفیوژ شد. پس از ۵ دقیقه، ۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷٪ اضافه شد و پس از ۵ ساعت نگهداری نمونه‌ها در دمای اتاق، میزان جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید در غلظت‌های مختلف، میزان فنول کل محاسبه و به صورت میکرومول در هر گرم وزن تازه گزارش گردید (۲۰).

ارزیابی فعالیت پاداکسنده کل عصاره میوه بر مبنای ویژگی بازدارندگی رادیکال آزاد توسط ۲و۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) انجام شد (۳). برای این منظور، پس از رقیق‌سازی نمونه‌ها ۲۵ میکرولیتر از آن با ۱۰۰ میکرولیتر DPPH ترکیب و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری شد. سپس میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. مخلوط بلانک (کنترل) شامل همه مواد به‌جز عصاره میوه بود. درصد فعالیت پاداکسنده با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{فعالیت پاداکسنده (\%)} = [۱ - \frac{\text{جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر}}{\text{جذب کنترل در طول موج ۵۱۷ نانومتر}}] \times ۱۰۰$$

واکاوی آماری

واکاوی آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام و میانگین‌ها توسط آزمون کمینه تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کاهش وزن و پوسیدگی میوه

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتورهای آزمایشی زمان و غوطه‌وری بر میزان کاهش وزن میوه معنی‌دار بود. با پیشرفت زمان انبارمانی، میزان آن به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین میزان کاهش وزن مربوط به میوه‌های شاهد و کم‌ترین آن مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۱ میلی‌مولار اسپرمین بود و تفاوت مورد اخیر با سایر سطوح فاکتور غوطه‌وری میوه‌ها معنی‌دار بود. از نظر میزان کاهش وزن، تفاوت معنی‌داری بین میوه‌های شاهد و زیر تیمار اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار و اسپرمین ۲ میلی‌مولار وجود نداشت. سایر سطوح فاکتور غوطه‌وری سبب اتلاف وزن کم‌تر در میوه‌های زیر تیمار نسبت به شاهد شدند (جدول ۱). میوه‌های تیمار شده با پلی‌آمین‌ها، تا پایان زمان انبارمانی سالم و مصون از پوسیدگی بودند، اما بازه زمانی مصونیت میوه‌های شاهد تا نیمه دوره انبارمانی بود و در پایان دوره انبارمانی، میزان ۱۵ درصد پوسیدگی برای میوه‌های شاهد ثبت شد.

سازوکار اتلاف رطوبت و کاهش وزن میوه در دوره انبارمانی، وجود تفاوت فشار بخار بین درون و بیرون محصول، تجزیه دیواره یاخته‌ای، کاهش موم طبیعی میوه و از دست دادن اتم‌های کربن به دلیل تنفس است (۱۱، ۳۲). ممکن است تاثیر پلی‌آمین‌ها بر جلوگیری از کاهش وزن به علت افزایش پایداری غشا و دیواره یاخته‌ای و کاهش سرعت تنفس بافت باشد. پلی‌آمین‌ها با داشتن تعداد متفاوت گروه آمینه (برای پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین به ترتیب ۲، ۳ و ۴ گروه) توانایی اتصال به مولکول‌های دارای بار منفی مانند اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها و انواع مختلف پروتئین‌ها را دارا هستند (۵). برقراری پیوندهای الکترواستاتیکی بین پلی‌آمین‌ها و گروه‌های کربوکسیلیک پلی گالاکتورونیک اسید سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره یاخته مانند پکتین‌متیل‌استراز، پکتین‌استراز و پلی‌گالاکتوروناز و تاخیر در پیری می‌شود (۳۰). همچنین، پلی‌آمین‌ها با دارا بودن ویژگی پاداکسنده و توان خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، غشاهای یاخته را در برابر آسیب اکسایشی حفظ و مقاومت غشا را به تنش اکسایشی پس از برداشت افزایش می‌دهند (۳۰، ۳۲). بنابراین، تیمار پس از برداشت پلی‌آمین‌ها می‌تواند با حفظ ویژگی‌ها و یکپارچگی غشای یاخته میزان اتلاف رطوبت و وزن میوه را کاهش دهد (۱۹، ۲۷). دلیل کاهش وزن کم‌تر میوه‌های زیر تیمار اسپرمین می‌تواند به دلیل داشتن گروه آمینه بیشتر نسبت به سایر پلی‌آمین‌ها باشد. بر مبنای نتایج، غلظت بهینه اسپرمیدین، غلظت ۲ میلی‌مولار بود. به دنبال تیمار پوترسین، امکان افزایش میزان اسپرمیدین آزاد درون‌زاد وجود دارد که می‌تواند سازوکار اثربخشی مثبت غوطه‌وری در هر دو غلظت پوترسین بر کاهش وزن میوه‌ها باشد (۲۷). پیش‌تر، کاهش اتلاف وزن محصول‌هایی مانند توت‌فرنگی (۱۵)، انگور (۵)، انبه (۲۶)، پرتقال خونی (۹) و گلابی (۲۸) با کاربرد پس از برداشت پلی‌آمین‌ها گزارش شده است. پلی‌آمین‌ها دارای ویژگی ضد میکروبی هستند و از حمله بیماری‌زاها و پوسیدگی میوه‌ها در دوره پس از برداشت جلوگیری می‌کنند (۳۲). به‌عنوان مثال، با کاربرد غلظت‌های مختلف پلی‌آمین و پس از ۵۶ روز انبارمانی، هیچ‌گونه پوسیدگی در میوه‌های لیموترش (*C. aurantifolia* Swingle) رقم لوکال شاهده نشد که نتایج پژوهش حاضر با این یافته‌ها همسو است (۴).

ماده‌های جامد محلول کل، اسید کل، شاخص طعم و پی‌اچ عصاره

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتور آزمایشی زمان بر میزان اسید کل و پی‌اچ و اثر هر دو فاکتور آزمایشی زمان و غوطه‌وری بر میزان ماده‌های جامد محلول کل و شاخص طعم (TSS/TA) آب میوه معنی‌دار بود. با پیشرفت زمان انبارمانی، میزان ماده‌های جامد محلول کل به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت. کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های شاهد بود و تفاوتی با میوه‌های زیر تیمار غوطه‌وری هر دو غلظت پوترسین و غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین نداشت. در مقابل، میوه‌های زیر تیمار غوطه‌وری غلظت‌های مختلف اسپرمین و غلظت ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین بیش‌ترین میزان ماده‌های جامد محلول کل آب را دارا بودند. با گذشت زمان، میزان اسید کل و پی‌اچ آب میوه‌ها به‌ترتیب به صورت معنی‌دار کاهش و افزایش یافت. با پیشرفت زمان انبارمانی، شاخص طعم به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت. بیش‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های مختلف اسپرمین بود و کم‌ترین مقادیر مربوط به میوه‌های شاهد و تیمارشده با

غلظت‌های متفاوت پوترسین بود. مقدار عددی شاخص طعم آب میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های مختلف اسپرمیدین مشابه هم و حد واسط دو گروه دارای بیشینه و کمینه شاخص طعم بود و تفاوت معنی‌داری با هیچ‌کدام نداشت (جدول ۲).

چنین بیان شده است که سازوکار احتمالی افزایش مداوم سطح قند در آب میوه مرکبات در دوره پس از برداشت، زیست‌ساخت آن از اسیدهای آلی است، اما از سوی دیگر تامین انرژی لازم برای سوخت و ساز میوه مرکبات در طی دوره انبارمانی، به گلیکولیز و فعالیت چرخه کربس و همچنین مصرف قندها وابسته است. در نهایت، افزایش یا کاهش در میزان TSS آب میوه تابعی از برآیند این فرایندها و متناسب با مدت زمان انبارمانی است (۱۱). از سوی دیگر، با افزایش مدت زمان نگهداری میوه‌ها و توسعه فرایند پیری و شدت تنفس، اسیدهای آلی آب میوه مرکبات به عنوان منبعی برای تولید انرژی و نیز تامین اسکلت کربنی پیش‌نیاز زیست‌ساخت ترکیب‌های فنولی کاهش می‌یابد (۹، ۱۰). به‌صورت مشابه، گزارش شده است که با افزایش تنفس میوه‌های توت‌فرنگی در دوره انبارمانی میزان اسیدهای آلی آب میوه کاهش یافت (۱۵). متناسب با روند کاهشی میزان اسیدهای آلی در طول مدت انبارمانی بر مقدار عددی شاخص pH آب میوه افزوده می‌شود (۱۱).

بر اساس یافته‌های پژوهش‌های پیشین، کاربرد تیمارهای پس از برداشت پلی‌آمین‌ها می‌تواند تاثیر کمی بر روند تغییر و میزان ماده‌های جامد محلول کل آب میوه‌ها در دوره انبارمانی داشته باشد، اما در مقابل، تاثیر آن‌ها بر حفظ و جلوگیری از کاهش میزان اسید کل آب میوه‌ها چشمگیر است (۳۲). به‌عبارت دیگر، کاربرد پلی‌آمین‌ها با کاهش شدت تنفس میوه‌ها سبب تاخیر در مصرف قندها و اسیدهای آلی می‌شود (۱۹) و بدین گونه می‌تواند بر حفظ بهتر شاخص طعم آب میوه موثر باشد. به‌عنوان مثال، پس از چند روز نگهداری میوه‌های چهار رقم آلو در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، میزان TA در میوه‌های شاهد کاهش یافت؛ در حالی که مقدار این شاخص در میوه‌های تیمارشده با پلی‌آمین‌ها تغییری نکرد یا در سطح بالاتری نسبت به میوه‌های شاهد حفظ شد (۲۷). نتایج پژوهش حاضر نیز موید تاثیرگذاری معنی‌دار تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در هر دو غلظت اسپرمین بر حفظ بهتر میزان ماده‌های جامد محلول و شاخص طعم آب میوه‌های لیموشیرین بود؛ در حالی که کاربرد سایر پلی‌آمین‌ها تغییری در مقدار شاخص طعم نسبت به شاهد ایجاد نکرد.

اسید آسکوربیک، فنول کل و فعالیت پاداکسنده عصاره

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتورهای آزمایشی زمان و غوطه‌وری بر میزان اسید آسکوربیک آب میوه‌ها معنی‌دار بود. با گذشت زمان انبارمانی، به‌صورت معنی‌داری بر میزان اسید آسکوربیک آب میوه‌ها افزوده شد. بیش‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های مختلف اسپرمین و غلظت ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین و پوترسین بود و در رتبه بعد، میوه‌های تیمارشده با غلظت‌های ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین و ۴ میلی‌مولار پوترسین قرار داشتند که به‌صورت معنی‌دار اسید آسکوربیک بیش‌تری نسبت به میوه‌های شاهد داشتند، اما تفاوتی بین خود آن‌ها وجود نداشت (جدول ۳).

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتورهای آزمایشی زمان، غوطه‌وری و برهمکنش آن‌ها بر میزان فنول کل آب میوه‌ها معنی‌دار بود. به‌طور کلی، با گذشت زمان انبارمانی به‌صورت معنی‌داری از میزان فنول کل آب میوه‌ها کاسته شد. در هر دو زمان ارزیابی‌ها، کم‌ترین و بیش‌ترین میزان فنول کل به‌ترتیب مربوط به میوه‌های شاهد و غوطه‌ور شده در محلول ۱ میلی‌مولار اسپرمین بود. در هر دو زمان، سطح فنول کل آب میوه‌های تمام غلظت‌های غوطه‌وری در پلی‌آمین‌ها به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر از مقادیر متناظر در آب میوه‌های شاهد بود (جدول ۳).

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتورهای آزمایشی زمان و غوطه‌وری بر میزان فعالیت پاداکسنده آب میوه‌ها معنی‌دار بود. میزان این شاخص با گذشت زمان انبارمانی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. تیمار پلی‌آمین‌ها در تمامی موارد سبب حفظ سطح فعالیت پاداکسنده آب میوه‌ها در سطحی بالاتر نسبت به شاهد شد. بیشینه این شاخص مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۱ میلی‌مولار اسپرمین بود (جدول ۳).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر غوطه‌وری در محلول پلی‌آمین، زمان نمونه‌برداری و اثر متقابل آن‌ها بر کاهش وزن میوه لیمو شیرین.

Table 1. Mean comparison of the effect of dipping in polyamine solution, sampling time, and their interaction on weight loss of sweet lime fruit.

زمان نمونه‌برداری Sampling time	غوطه‌وری در پلی‌آمین Dipping in polyamine							میانگین Mean
	شاهد Control	پوترسین ۲ میلی‌مولار Putrescine (2 mM)	پوترسین ۴ میلی‌مولار Putrescine (4 mM)	اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار Spermidine (1 mM)	اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار Spermidine (2 mM)	اسپرمین ۱ میلی‌مولار Spermine (1 mM)	اسپرمین ۲ میلی‌مولار Spermine (2 mM)	
	کاهش وزن میوه Fruit weight loss (%)							
پس از دو ماه After 2 months	1.60f	1.35fg	1.53f	1.49fg	1.37fg	1.20g	1.47fg	1.43B
پس از چهار ماه After 4 months	4.44a	4.12bcd	3.85de	4.36ab	4.01cde	3.75e	4.17abc	4.10A
میانگین Mean	3.02A	2.73BC	2.69C	2.92AB	2.69C	2.47D	2.82ABC	

For the main effect of the experimental factors or their interaction on each parameter, means with the same letter are not significantly different using LSD test at $P \leq 0.05$.

با آزمون کمینه تفاوت معنی‌دار، برای اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی یا برهمکنش آن‌ها بر هر صفت، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر غوطه‌وری در محلول پلی‌آمین، زمان نمونه‌برداری، و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه لیمو شیرین.

Table 2. Mean comparison of the effect of dipping in polyamine solution, sampling time, and their interaction on biochemical aspects of sweet lime fruit.

زمان نمونه‌برداری Sampling time	غوطه‌وری در پلی‌آمین Dipping in polyamine: شاهد Control	پوترسین ۲ میلی‌مولار Putrescine (2 mM)	پوترسین ۴ میلی‌مولار Putrescine (4 mM)	اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار Spermidine (1 mM)	اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار Spermidine (2 mM)	اسپرمین ۱ میلی‌مولار Spermine (1 mM)	اسپرمین ۲ میلی‌مولار Spermine (2 mM)	میانگین Mean
	ماده‌های جامد محلول کل عصاره Juice total soluble solids (%)							
پس از دو ماه After 2 months	6.26f	7.08bcd	6.88cde	7.15abc	7.55ab	7.73a	7.41abc	7.15A
پس از چهار ماه After 4 months	5.45g	6.35ef	6.31ef	6.54def	7.05bcd	7.12bcd	6.95cd	6.54B
میانگین Mean	5.85c	6.71c	6.60c	6.85bc	7.30a	7.43a	7.18ab	
	اسید کل عصاره Juice total acid (%)							
پس از دو ماه After 2 months	0.096bcd	0.115a	0.110ab	0.096bcd	0.106ab	0.098abc	0.094bcd	0.102A
پس از چهار ماه After 4 months	0.073e	0.081cde	0.085cde	0.080cde	0.083cde	0.080de	0.080de	0.080B
میانگین Mean	0.085b	0.098a	0.097ab	0.088ab	0.094ab	0.089ab	0.087ab	
	شاخص طعم عصاره Juice TSS/TA							
پس از دو ماه After 2 months	63.07bc	61.80c	62.92bc	75.55abc	75.37abc	81.10a	79.79ab	71.37B
پس از چهار ماه After 4 months	75.04abc	78.17abc	75.10abc	82.03a	85.29a	85.43a	88.37a	81.35A
میانگین Mean	69.06B	69.99BC	69.01B	78.79AB	80.33AB	83.27A	84.08A	

To be continued ادامه دارد

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

زمان نمونه‌برداری Sampling time	غوطه‌وری در پلی‌آمین Dipping in polyamine							
	شاهد Control	پوترسین ۲ میلی‌مولار Putrescine (2 mM)	پوترسین ۴ میلی‌مولار Putrescine (4 mM)	اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار Spermidine (1 mM)	اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار Spermidine (2 mM)	اسپرمین ۱ میلی‌مولار Spermine (1 mM)	اسپرمین ۲ میلی‌مولار Spermine (2 mM)	میانگین Mean
	پی‌اچ عصاره Juice pH							
پس از دو ماه After 2 months	5.79b	5.79b	5.75b	5.78b	5.80b	5.74b	5.73b	5.77B
پس از چهار ماه After 4 months	6.32a	6.21a	6.16a	6.27a	6.26a	6.26a	6.25a	6.25A
میانگین Mean	6.05A	6.00A	5.95A	6.02A	6.03A	6.00A	5.99A	

For the main effect of the experimental factors or their interaction on each parameter, means with the same letter are not significantly different using LSD test at $P \leq 0.05$.

با آزمون کمینه تفاوت معنی‌دار، برای اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی یا برهمکنش آن‌ها بر هر صفت، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر غوطه‌وری در محلول پلی‌آمین، زمان نمونه‌برداری، و اثر متقابل آن‌ها بر ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیموشیرین.

Table 3. Mean comparison of the effect of dipping in polyamine solution, sampling time, and their interaction on bioactive compounds, and antioxidant activity of sweet lime fruit.

زمان نمونه‌برداری Sampling time	غوطه‌وری در پلی‌آمین Dipping in polyamine							میانگین Mean
	شاهد Control	پوترسین ۲ میلی‌مولار Putrescine (2 mM)	پوترسین ۴ میلی‌مولار Putrescine (4 mM)	اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار Spermidine (1 mM)	اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار Spermidine (2 mM)	اسپرمین ۱ میلی‌مولار Spermine (1 mM)	اسپرمین ۲ میلی‌مولار Spermine (2 mM)	
	اسید آسکوربیک عصاره Juice ascorbic acid (mg 100 mL^{-1})							
پس از دو ماه After 2 months	102.08f	117.54cd	109.82e	112.81de	118.90bcd	120.64bc	115.71cde	113.93 B
پس از چهار ماه After 4 months	114.36cde	125.28ab	121.04bc	121.22bc	120.64bc	128.30a	129.14a	122.85 A
میانگین Mean	108.22d	121.41ab	115.43c	117.02bc	119.77abc	124.47a	122.42a	
	فنول کل عصاره Juice total phenol (µmol g^{-1} FW)							
پس از دو ماه After 2 months	11.57e	15.67bc	15.11d	15.28cd	15.46bcd	16.72a	15.92b	15.10A
پس از چهار ماه After 4 months	5.62k	7.74gh	6.74j	7.16ij	7.49hi	8.61f	8.13fg	7.36B
میانگین Mean	8.60f	11.71bc	10.93e	11.22de	11.48cd	12.67a	12.03b	
	فعالیت پاداکسنده عصاره Juice antioxidant activity (%)							
پس از دو ماه After 2 months	37.19fg	46.81b	40.71d	44.47c	46.91b	48.82a	46.50b	44.49A
پس از چهار ماه After 4 months	31.85i	38.71ef	34.72h	36.22gh	39.94de	43.28c	40.72d	37.92B
میانگین Mean	34.52E	42.76BC	37.72D	40.35C	43.43B	46.05A	43.61B	

For the main effect of the experimental factors or their interaction on each parameter, means with the same letter are not significantly different using LSD test at $P \leq 0.05$.

با آزمون کمینه تفاوت معنی‌دار، برای اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی یا برهمکنش آن‌ها بر هر صفت، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

الگوهای متفاوتی از تغییر میزان اسید آسکوربیک میوه‌ها و سبزی‌ها در دوره پس از برداشت وجود دارد. کاهش میزان اسید آسکوربیک محصول‌های باغبانی در دوره انبارمانی با اکسایش آنزیمی آن مرتبط است. افزون بر آن، تغییر میزان اسید آسکوربیک در دوره انبارمانی زیر اثر تغییر در بیان ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌های مسیر سوخت و ساز آن قرار دارد. ممکن است زیر تاثیر بروز تنش اکسایشی مرتبط با نگهداری پس از برداشت محصول‌ها و در پاسخ به آن، زیست‌ساخت اسید آسکوربیک به‌عنوان عامل پاداکسنده غیرآنزیمی تشدید شود و در فرایند مقابله با تنش اکسایشی نقش ایفا کند (۷). اگرچه پاداکسنده‌های غیرفنولی مانند اسید آسکوربیک و کاروتنوئیدها نقش مهمی در تعیین سطح فعالیت پاداکسنده کل دارند، در اغلب موارد، میزان فنول کل مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده فعالیت پاداکسنده عصاره میوه‌ها و سبزی‌ها است. ترکیب‌های فنولی به عنوان دهنده الکترون نقش مهمی در خنثی کردن رادیکال‌های آزاد دارا هستند. بنابراین، در دوره انبارمانی محصول‌های باغبانی، کاهش فعالیت پاداکسنده کل عصاره با کاهش میزان ترکیب‌های زیست‌فعال گوناگون مرتبط است. کاهش میزان فنولیک‌ها با کاهش سطح فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز[۱](PAL) و افزایش اکسایش آنزیمی زیر تاثیر فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و پراکسیداز مرتبط است (۸). پلی‌آمین‌ها با به تاخیر انداختن فرایند پیری (۹)، کاستن از شدت فعالیت آنزیم‌های دخیل در تخریب اسید آسکوربیک (۱۴)، افزایش میزان سایر ترکیب‌های زیست‌فعال پاداکسنده، حفظ سطح بالاتر فعالیت پاداکسنده کل و جلوگیری از افزایش گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و محافظت غشاءها در برابر آسیب اکسایشی ناشی از فعالیت آن‌ها (۲۶) سبب حفظ میزان اسید آسکوربیک و فنول کل در محصول‌های باغبانی می‌شوند. به‌عنوان مثال، محتوای بیش‌تر اسید آسکوربیک آب میوه انار به سبب تاثیر بازدارندگی تیمار اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آسکوربات اکسیداز گزارش شده است (۲۵). همچنین، گزارش شده است که کاربرد پس از برداشت پلی‌آمین‌های پوترسین و اسپرمیدین (به شیوه غوطه‌وری یا نفوذ زیر فشار) بر حفظ ترکیب‌های فنولی و میزان فعالیت پاداکسنده انارداندانه‌ها در سطحی بیش‌تر نسبت به انارداندانه‌های شاهد موثر بوده است (۲۱). در پژوهشی دیگر، کاربرد پس از برداشت پوترسین ۲ میلی‌مولار سبب حفظ محتوای اسید آسکوربیک و افزایش معنی‌دار میزان فنول و فعالیت پاداکسنده کل آب میوه‌های پرتقال خونی شد و کاهش میزان این ترکیب‌ها در میوه‌های شاهد، با توسعه فرایند پیری میوه‌ها در دوره انبارمانی درازمدت ۶۰ روزه مرتبط بود (۹). بر مبنای نتایج پژوهش حاضر، تیمار غوطه‌وری در اسپرمین ۱ میلی‌مولار، موثرترین تیمار برای حفظ ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده آب میوه لیموشیرین در دوره انبارمانی بود. محتمل است کارایی بیش‌تر اسپرمین نسبت به سایر پلی‌آمین‌ها با تعداد بیش‌تر گروه آمینه و بار مثبت آن مرتبط باشد (۲۷).

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر دال بر کارایی تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در محلول‌های پلی‌آمینی بر حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده عصاره میوه لیموشیرین بود. در مجموع، غوطه‌وری در اسپرمین ۱ میلی‌مولار برترین تیمار حفظ کیفیت انبارمانی میوه لیموشیرین بود. با کاربرد تیمار اشاره‌شده، افزون بر سطح بالاتر محتوای اسید آسکوربیک و شاخص طعم عصاره نسبت به شاهد، بیش‌ترین تاثیر مثبت از کاربرد تیمارها بر کاهش میزان اتلاف وزن و نیز حفظ محتوای فنول کل و فعالیت پاداکسنده عصاره میوه‌ها ثبت شد.

منابع References

1. Ahmadi, K., H.R. Ebadzadeh, F. Hatami, R. Hosseinpour and H. Abdeshah. 2020. Agricultural statistics: horticultural products. Ministry of Jihad Agriculture. 3: 156 p. (In Persian).
2. AOAC. 2000. Vitamins and other nutrients, official methods of analysis (17th ed.). Washington D.C., AOAC International. pp: 16–20.
3. Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier and C.L.W.T. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT. 28(1): 25-30.

۱- Phenylalanine ammonia lyase

4. Champa, W.A.H. and K.G.N.M Gamage. 2020. Postharvest dip application of putrescine and salicylic acid delayed postharvest quality deterioration and extended the storage life of lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) Fruit. Int. J. Fruit Sci. 20(S3): S1629-S1638.
5. Champa, W.A.H., M.I.S. Gill, B.V.C. Mahajan and N.K. Arora. 2014. Postharvest treatment of polyamines maintains quality and extends shelf-life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. Postharvest Biol. Technol. 91: 57-63.
6. Ebrahimi, Y., I. Arji, M. Emami, S.M. Banihashemian, M. Jafari et al. 2017. Citrus and subtropical fruits research center. In: Ghasemi, A., R. Dastjerdi and A.H. Omidi (Eds.). Horticultural cultivars (past and future). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Press. pp: 83-118 (In Persian).
7. Galani, J.H.Y., J.S. Patel, N.J. Patel and J.G. Talati. 2017. Storage of fruits and vegetables in refrigerator increases their phenolic acids but decreases the total phenolics, anthocyanins and vitamin c with subsequent loss of their antioxidant capacity. Antioxidants. 6: 59.
8. Galani, J.H.Y., M.P. Mankad, A.K. Shah, N.J. Patel, R.R. Acharya and J.G. Talati. 2017. Effect of storage temperature on vitamin C, total phenolics, UPLC phenolic acids profile and antioxidant capacity of eleven potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. Hortic. Plant J. 3: 73–89.
9. Habibi, F. and A. Ramezanian. 2017. Vacuum infiltration of putrescine enhances bioactive compounds and maintains quality of blood orange during cold storage. Food Chem. 227: 1-8.
10. Habibi, F., A. Ramezanian, F. Guillén, M. Serrano and D. Valero. 2020. Blood oranges maintain bioactive compounds and nutritional quality by postharvest treatments with γ-aminobutyric acid, methyl jasmonate or methyl salicylate during cold storage. Food Chem. 306: 125634.
11. Habibi, F., F. Guillén, M. Serrano and D. Valero. 2021. Physicochemical changes, peel colour, and juice attributes of blood orange cultivars stored at different temperatures. Horticulturae. 7(9): 320.
12. Hosseinifarahi, M., S.M. Mousavi, M. Radi, M.M. Jowkar and G. Romanazzi. 2020. Postharvest application of hot water and putrescine treatments reduce brown rot and improve shelf life and quality of apricots. Phytopathol. Mediterr. 59: 319–329.
13. Jiang, Y.M. and F. Chen. 1995. A study on polyamine change and browning of fruit during cold storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Postharvest Biol. Technol. 5: 245-250.
14. Khan, A.S., Z. Singh and N.A. Abbasi. 2007. Pre-storage putrescine application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during low temperature storage in 'Angelino' Plum. Postharvest Biol. Technol. 46: 36-46.
15. Khosroshahi, M.R.Z., M. Esna-ashari and A. Ershadi. 2007. Effect of exogenous putrescine on postharvest life of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit cultivar Selva. Sci. Hortic. 114: 27-32.
16. Koushesh Saba, M., K. Arzani and M. Barzegar. 2012. Postharvest polyamine application alleviated chilling injury and affects apricot storage ability. J. Agric. Food Chem. 60: 8947-8953.
17. Kramer, G.H., C.Y. Wang, W.S. Conway. 1991. Inhibition of softening by polyamine application in Golden Delicious and McIntosh apple. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 116: 813-816.
18. Martinez-Romero, D., D. Valero, M. Serrano, M. Burlo, A. Carbonell, L. Burgos and F. Requelme. 2000. Exogenous polyamine and gibberellic acid effects on peach (*Prunus persica* L.) storability improvement. J. Food Sci. 65: 288-294.
19. Martinez-Romero, D., M. Serrano, A. Carbonell, L. Burgos, F. Riquelme and D. Valero. 2002. Effects of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot. J. Food Sci. 67: 1706-1712.
20. Meyers, K.J., C.B. Watkins, M.P. Pritts and R.H. Liu. 2003. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. J. Agric. Food Chem. 51(23): 6887-6892.
21. Mirdehghan, S.H., M. Rahemi, M. Serrano, F. Guillen, D. Martinez-Romero and D. Valero. 2007. The aplication of polyamines by pressure or immersion as a tool to maintain functional properties in stored pomegranates arils. J. Agric. Food Chem. 55: 755-760.
22. Mirmajidi Hashtjin, A., R. Famil Momen and F. Goodarzi. 2016. Postharvest loss reduction: Most important strategic approch in enhancement of food security. Agricultural Engineering Research Institute (AERI) Press. 40 p. (In Persian).
23. Perez Vincente, A., D. Martinez-Romero, A. Carbonell, M. Serrano, F. Requelme, F. Guillen and D. Valero. 2002. Role of polyamines on extending shelf life and the reduction of mechanical damage during plum (*Prunus salicina* Lindl.) storage. Postharvest Biol. Technol. 25(1): 25-32.
24. Petkou, I.T., T.S. Pritsa and E.M. Sfakiotakis. 2004. Effects of polyamines on ethylene production, respiration and ripening of kiwifruit. J. Hort. Sci. Biotechnol. 79: 977-980.
25. Ramezanian, A., M. Rahemi, M. Maftoun, B. Kholdebarin, S. Eshghi, M.R. Safizadeh and V. Tavallali. 2010. The ameliorative effects of spermidine and calcium chloride on chilling injury in pomegranate fruits after long-term storage. Fruits, 65: 169–178.

26. Razzaq, K., A.S. Khan, A.U. Malik, M. Shahid and S. Ullah. 2014. Role of putrescine in regulating fruit softening and antioxidative enzyme systems in ‘Samar Bahisht Chaunsa’ mango. Postharvest Biol. Technol. 96: 23-32.
27. Serrano, M., D. Martinez-Romero, F. Guillen and D. Valero. 2003. Effect of exogenous putrescine on improving shelf life of four plum cultivars. Postharvest Biol. Technol. 30: 259-271.
28. Singh, V., S.K. Jawandha and P.P.S. Gill. 2020. Putrescine application reduces softening and maintains the quality of pear fruit during cold storage. Acta Physiol. Plant. 42(2): 1-10.
29. Taghipour, L., M. Rahemi, P. Assar, A. Ramezanian and S.H. Mirdehghan. 2021. Alleviating chilling injury in stored pomegranate using a single intermittent warming cycle: fatty acid and polyamine modifications. Int. J. Food Sci. Article ID 2931353, 16 p.
30. Taghipour, L., M. Rahemi, P. Assar and Z. Sedaghatkish. 2011. The effects of post-harvest treatments of polyamines and hot water on quantitative and qualitative characteristics of 'Rabab-e-Neyriz' pomegranate fruit. National Pomegranate Symposium, Ferdows, Iran. pp: 291-296 (In Persian).
31. Valero, D., D. Martinez-Romero and M. Serrano. 2002. The role of polyamines in the improvement of the shelf life of fruit. Trends Food Sci. Technol. 13(6): 228-234.
32. Valero, D. and M. Serrano. 2010. Polyamine treatments. In: Valero, D. and M. Serrano (Eds.). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton, USA. pp: 125–149.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (1): 167-178 (2022)
Research article

The Effect of Postharvest Polyamine Application on the Physicochemical Traits, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Sweet Lime Fruit

L. Taghipour[*] and P. Assar[1]

The present study aimed to investigate the effect of postharvest polyamine application on the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of sweet lime fruit. The fruits were dipped in putrescine (2 and 4 mM), spermidine (1 and 2 mM), spermine (1 and 2 mM), or distilled water (control) for 10 min. Evaluations were conducted after 2 and 4 months of storage at 10 °C and 85% relative humidity. In general, treatments had no effect on the total acid and pH of the fruit juice. Using polyamines led to lower rates of weight loss or decreases in juice total soluble solids, and treated fruits had a better taste index when compared to the control. The content of ascorbic acid in fruit juice increased with storage time, but total phenol content and antioxidant activity decreased. When compared to the control, polyamine-treated fruits had higher levels of ascorbic acid, total phenol, and antioxidant activity in the juice. The treatment with both concentrations of spermine had the greatest efficacy in maintaining the juice taste index and ascorbic acid content than the other treatments. Fruits treated with spermine and spermidine had the same taste index. Moreover, spermine-treated fruits had the same amount of ascorbic acid as fruits treated with 2 mM spermidine and putrescine. Finally, dipping in 1 mM spermine was found to be the most effective treatment for reducing weight loss and preserving juice total phenol content and antioxidant activity, and is recommended as the best treatment for preserving sweet lime fruit quality.

Keywords: Ascorbic acid, Decay, Total phenol, Weight loss, Sweet lime, Total soluble solids.

1. Assistant Professors of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Jahrom University, PO Box: 74135-111, Jahrom, Iran.
* Corresponding author, Email: (1. L_taghipoor@yahoo.com, 2. Leilataghipour@jahromu.ac.ir).