

## اثر کاربرد پس از برداشت پلی آمین ها بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، ترکیب های زیست فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیموشیرین<sup>۱</sup>

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

لیلا تقی پور<sup>\*</sup>، پدram عصار<sup>۲</sup>

#### چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد پس از برداشت پلی آمین ها بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، ترکیب های زیست فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیموشیرین بود. میوه ها در محلول پوترسین (۲ و ۴ میلی مولار)، اسپرمیدین (۱ و ۲ میلی مولار)، اسپرمین (۱ و ۲ میلی مولار)، یا آب مقطر (شاهد) به مدت ۱۰ دقیقه غوطه ور شدند. پس از دو و چهار ماه انبارمانی (دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد) ارزیابی ها انجام شد. به طور کلی، تیمارها تاثیری بر میزان اسید کل و پی اچ آب میوه نداشتند. با کاربرد پلی آمین ها از میزان اتلاف وزن یا کاهش میزان ماده های جامد محلول کل عصاره کاسته شد و شاخص طعم میوه های تیمار شده نسبت به شاهد بهتر بود. با گذشت زمان انبارمانی، محتوای اسید آسکوربیک آب میوه ها افزایش یافت، اما میزان فنول کل و فعالیت پاداکسنده کاهش یافت. میوه های تیمار شده با پلی آمین ها محتوای اسید آسکوربیک، فنول کل و فعالیت پاداکسنده عصاره بیش تری نسبت به شاهد داشتند. تیمار با هر دو غلظت اسپرمین نسبت به تیمارهای دیگر بیش ترین کارایی را در حفظ شاخص طعم و محتوای اسید آسکوربیک عصاره داشت. شاخص طعم میوه های تیمار شده با اسپرمین و اسپرمیدین مشابه بود. افزون بر آن، محتوای اسید آسکوربیک میوه های تیمار شده با اسپرمین مشابه با میوه های تیمار شده با ۲ میلی مولار اسپرمیدین و پوترسین بود. در نهایت، غوطه وری در اسپرمین ۱ میلی مولار موثرترین تیمار کاهنده اتلاف وزن و نگهدارنده محتوای فنول کل و فعالیت پاداکسنده عصاره بود و به عنوان تیمار برتر جهت حفظ کیفیت میوه لیموشیرین پیشنهاد می گردد.

**واژه های کلیدی:** اسید آسکوربیک، پوسیدگی، فنول کل، کاهش وزن، لیموشیرین، ماده های جامد محلول کل.

#### مقدمه

تیمارهای پس از برداشت با ترکیب های آلی نگهدارنده کیفیت و بهبودبخش انبارمانی محصول های باغبانی از مهم ترین و محبوب ترین راهبردهای نوین کاهش میزان تلفات محسوب می شوند. پلی آمین ها، آمین های آلیفاتیک با وزن مولکولی کم و متابولیت های آلی پلی کاتیونی هستند که به تقریب در تمام موجودات زنده از جمله گیاهان یافت می شوند (۳۱). پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین سه ترکیب مهم پلی آمین گیاهی هستند (۲۳). بر اساس برخی شواهد علمی، نقش حفاظتی پلی آمین ها در کاهش شدت اثر مخرب انواع تنش در گیاهان اثبات شده است. کاربرد برون زاد پلی آمین ها پیش یا حین تنش سبب افزایش

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۸

۲- استادیاران گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، صندوق پستی: ۷۴۱۳۵-۱۱۱.

\* 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 نافرزگرا شود (۳۲). به عنوان مثال، پیامد تیمار پس از برداشت میوه‌های نافرزگرا 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) به صورت تأخیر 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 پیشینه اثربخشی تیمار)، اما اعتقاد بر این است که غوطه‌وری میوه‌ها در محلول پلی‌آمین‌ها روشی آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر است و به همین دلیل روشی مرسوم و مناسب جهت اعمال تیمار پس از برداشت پلی‌آمین‌ها محسوب می‌شود (۲۱).

سال‌ها پیش، کاربرد تجاری پلی‌آمین‌ها به هدف بهبود قابلیت ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌ها در ایالات متحده ثبت شده است. همچنین، استفاده از پلی‌آمین‌ها در اروپا تابع قانون و محدودیت خاصی نیست (۳۲). به بیان دیگر، با توجه به اینکه پلی‌آمین‌ها مولکول‌هایی آلی هستند، تیمار پس از برداشت محصول‌های باغبانی با پلی‌آمین‌ها به عنوان 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 به عنوان قطب تولید لیمو شیرین 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 برآورد شده 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 فیزیوشیمیایی، ترکیب‌های زیست‌فعال و فعالیت پاداکسنده میوه لیمو شیرین در دوره انبارمانی طراحی و اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی

پس از برداشت میوه‌های لیمو شیرین 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

پلی آمین های مورد استفاده از برند تجاری سیگما تهیه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح به طور کامل تصادفی با ۱۴ تیمار و چهار تکرار (۱۰ میوه در هر تکرار) انجام شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از: غوطه وری میوه ها در هفت سطح شامل پوترسین (غلظت های ۲ و ۴ میلی مولار)، اسپرمیدین (غلظت های ۱ و ۲ میلی مولار)، اسپرمین (غلظت های ۱ و ۲ میلی مولار) و آب مقطر به عنوان شاهد؛ زمان نمونه گیری در دو سطح (پس از ۲ و ۴ ماه انبارمانی). پس از غوطه وری میوه ها به مدت ۱۰ دقیقه و خشک شدن آب سطحی میوه ها در دمای آزمایشگاه، میوه ها به صورت تک به تک در پلاستیک پلی اتیلنی بسته بندی 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، ویژگی های فیزیکی شیمیایی، ترکیب های زیست فعال و فعالیت پاداکسنده میوه های لیموشیرین ارزیابی شد.

## ویژگی های مورد ارزیابی

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

$$\text{وزن ثانویه - وزن اولیه} \times 100 = \frac{\text{کاهش وزن میوه}}{\text{وزن اولیه}} (\%)$$

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

$$\text{تعداد میوه پوسیده} \times 100 = \frac{\text{درصد پوسیدگی}}{\text{تعداد کل میوه}}$$

درصد ماده های 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، شاخص طعم میوه با تقسیم TSS بر TA و پی اچ (pH) آب میوه نیز با استفاده از دستگاه پی اچ سنج (PHAC، پارت آریا صنعت) اندازه گیری شد.

اسید آسکوربیک آب میوه با استفاده از روش عیارسنجی با ۲ و ۶-دی کلروفنول ایندوفنول اندازه گیری و به صورت میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر 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 نمونه ها در دمای اتاق، میزان جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید در غلظت های 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 ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) انجام شد (۳). برای این منظور، پس از رقیق سازی نمونه ها 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 به جز عصاره میوه بود. درصد فعالیت پاداکسنده با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$[1 - \frac{\text{جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر}}{\text{جذب کنترل در طول موج ۵۱۷ نانومتر}}] \times 100 = (\%) \text{ فعالیت پاداکسنده}$$

## واکاوی آماری

واکاوی آماری داده ها با نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام و میانگین ها توسط آزمون کمینه تفاوت معنی دار (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 پلی‌گالاکتورونیک 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 بیماری‌زها 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 تیمار شده با

غلظت های متفاوت پوترسین بود. مقدار عددی شاخص طعم آب میوه های زیر تیمار غلظت های مختلف اسپرمیدین مشابه هم و حد واسط دو گروه دارای بیشینه و کمینه شاخص طعم بود و تفاوت معنی داری با هیچ کدام نداشت (جدول ۲).

چنین بیان شده است که سازوکار احتمالی افزایش مداوم سطح قند در آب میوه مرکبات در دوره پس از برداشت، زیست ساخت 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 میوه ها و توسعه فرایند پیری و شدت تنفس، اسیدهای آلی آب میوه مرکبات به عنوان منبعی برای تولید انرژی و نیز تامین اسکلت کربنی پیش نیاز زیست ساخت ترکیب های فنولی کاهش می یابد (۹، ۱۰). به صورت مشابه، گزارش شده است که با افزایش تنفس میوه های توت فرنگی 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 می شود (۱۱).

بر اساس یافته های پژوهش های پیشین، کاربرد تیمارهای پس از برداشت پلی آمین ها می تواند تاثیر کمی بر روند تغییر و میزان ماده های جامد محلول کل آب میوه ها در دوره انبارمانی داشته باشد، اما در مقابل، تاثیر آن ها بر حفظ و جلوگیری از کاهش میزان اسید کل آب میوه ها چشمگیر است (۳۲). به عبارت دیگر، کاربرد پلی آمین ها با کاهش شدت تنفس میوه ها سبب تاخیر در مصرف قندها و اسیدهای آلی می شود (۱۹) و بدین گونه می تواند بر حفظ بهتر شاخص طعم آب میوه موثر باشد. به عنوان مثال، پس از چند روز نگهداری میوه های چهار رقم آلو در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، میزان TA در میوه های شاهد کاهش یافت؛ در حالی که مقدار این شاخص در میوه های تیمار شده با پلی آمین ها تغییری نکرد یا در سطح بالاتری نسبت به میوه های شاهد حفظ شد (۲۷). نتایج پژوهش حاضر نیز موید تاثیر گذاری معنی دار تیمار پس از برداشت غوطه وری در هر دو غلظت اسپرمین بر حفظ بهتر میزان ماده های جامد محلول و شاخص طعم آب میوه های لیموشیرین بود؛ در حالی که کاربرد سایر پلی آمین ها 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 غوطه وری بر میزان اسید آسکوربیک آب میوه ها معنی دار بود. با گذشت زمان انبارمانی، به صورت معنی داری بر میزان اسید آسکوربیک آب میوه ها افزوده شد. بیشترین میزان این شاخص مربوط به میوه های زیر تیمار غلظت های مختلف اسپرمین و غلظت ۲ میلی مولار اسپرمیدین و پوترسین بود و در رتبه بعد، میوه های تیمار شده با غلظت های ۱ میلی مولار اسپرمیدین و ۴ میلی مولار پوترسین قرار داشتند که به صورت معنی دار اسید آسکوربیک بیشتری نسبت به میوه های شاهد داشتند، اما تفاوتی بین خود آن ها وجود نداشت (جدول ۳).

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتورهای آزمایشی زمان، غوطه وری و برهمکنش آن ها بر میزان فنول کل آب میوه ها معنی دار بود. به طور کلی، با گذشت زمان انبارمانی به صورت معنی داری از میزان فنول کل آب میوه ها کاسته شد. در هر دو زمان ارزیابی ها، کمترین و بیشترین میزان فنول کل به ترتیب مربوط به میوه های شاهد و غوطه وری شده در محلول ۱ میلی مولار اسپرمین بود. در هر دو زمان، سطح فنول کل آب میوه های تمام غلظت های غوطه وری در پلی آمین ها به صورت معنی دار بیش تر از مقادیر متناظر در آب میوه های شاهد بود (جدول ۳).

بر مبنای نتایج تجزیه واریانس (نشان داده نشده است)، اثر فاکتورهای آزمایشی زمان و غوطه وری بر میزان فعالیت پاداکسنده آب میوه ها معنی دار بود. میزان این شاخص با گذشت زمان انبارمانی به صورت معنی داری کاهش یافت. تیمار پلی آمین ها در تمامی موارد سبب حفظ سطح فعالیت پاداکسنده آب میوه ها در سطحی بالاتر نسبت به شاهد شد. بیشینه این شاخص مربوط به میوه های زیر تیمار ۱ میلی مولار 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<br>نمونه‌برداری<br>Sampling time | غوطه‌وری در پلی‌آمین<br>Dipping in polyamine |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         | میانگین<br>Mean |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|
|                                       | شاهد<br>Control                              | پوترسین ۲ میلی‌مولار<br>Putrescine (2 mM) | پوترسین ۴ میلی‌مولار<br>Putrescine (4 mM) | اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار<br>Spermidine (1 mM) | اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار<br>Spermidine (2 mM) | اسپرمین ۱ میلی‌مولار<br>Spermine (1 mM) | اسپرمین ۲ میلی‌مولار<br>Spermine (2 mM) |                 |
|                                       | کاهش وزن میوه<br>Fruit weight loss (%)       |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months        | 1.60f                                        | 1.35fg                                    | 1.53f                                     | 1.49fg                                      | 1.37fg                                      | 1.20g                                   | 1.47fg                                  | 1.43B           |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months      | 4.44a                                        | 4.12bcd                                   | 3.85de                                    | 4.36ab                                      | 4.01cde                                     | 3.75e                                   | 4.17abc                                 | 4.10A           |
| میانگین<br>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<br>نمونه‌برداری<br>Sampling time | غوطه‌وری در پلی‌آمین<br>Dipping in polyamine                   |                                           |                                           |                                              |                                              |                                         |                                         | میانگین<br>Mean |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|
|                                       | شاهد<br>Control                                                | پوترسین ۲ میلی‌مولار<br>Putrescine (2 mM) | پوترسین ۴ میلی‌مولار<br>Putrescine (4 mM) | اسپرمدیدین ۱ میلی‌مولار<br>Spermidine (1 mM) | اسپرمدیدین ۲ میلی‌مولار<br>Spermidine (2 mM) | اسپرمین ۱ میلی‌مولار<br>Spermine (1 mM) | اسپرمین ۲ میلی‌مولار<br>Spermine (2 mM) |                 |
|                                       | ماده‌های جامد محلول کل عصاره<br>Juice total soluble solids (%) |                                           |                                           |                                              |                                              |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months        | 6.26f                                                          | 7.08bcd                                   | 6.88cde                                   | 7.15abc                                      | 7.55ab                                       | 7.73a                                   | 7.41abc                                 | 7.15A           |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months      | 5.45g                                                          | 6.35ef                                    | 6.31ef                                    | 6.54def                                      | 7.05bcd                                      | 7.12bcd                                 | 6.95cd                                  | 6.54B           |
| میانگین<br>Mean                       | 5.85c                                                          | 6.71c                                     | 6.60c                                     | 6.85bc                                       | 7.30a                                        | 7.43a                                   | 7.18ab                                  |                 |
| اسید کل عصاره<br>Juice total acid (%) |                                                                |                                           |                                           |                                              |                                              |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months        | 0.096bcd                                                       | 0.115a                                    | 0.110ab                                   | 0.096bcd                                     | 0.106ab                                      | 0.098abc                                | 0.094bcd                                | 0.102A          |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months      | 0.073e                                                         | 0.081cde                                  | 0.085cde                                  | 0.080cde                                     | 0.083cde                                     | 0.080de                                 | 0.080de                                 | 0.080B          |
| میانگین<br>Mean                       | 0.085b                                                         | 0.098a                                    | 0.097ab                                   | 0.088ab                                      | 0.094ab                                      | 0.089ab                                 | 0.087ab                                 |                 |
| شاخص طعم عصاره<br>Juice TSS/TA        |                                                                |                                           |                                           |                                              |                                              |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months        | 63.07bc                                                        | 61.80c                                    | 62.92bc                                   | 75.55abc                                     | 75.37abc                                     | 81.10a                                  | 79.79ab                                 | 71.37B          |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months      | 75.04abc                                                       | 78.17abc                                  | 75.10abc                                  | 82.03a                                       | 85.29a                                       | 85.43a                                  | 88.37a                                  | 81.35A          |
| میانگین<br>Mean                       | 69.06B                                                         | 69.99BC                                   | 69.01B                                    | 78.79AB                                      | 80.33AB                                      | 83.27A                                  | 84.08A                                  |                 |
| To be continued                       |                                                                |                                           |                                           |                                              |                                              |                                         |                                         | ادامه دارد      |

Table 2. Continued.

| زمان<br>نمونه برداری<br>Sampling time | غوطه‌وری در پلی‌آمین<br>Dipping in polyamine |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         | میانگین<br>Mean |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|
|                                       | شاهد<br>Control                              | پوترسین ۲ میلی‌مولار<br>Putrescine (2 mM) | پوترسین ۴ میلی‌مولار<br>Putrescine (4 mM) | اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار<br>Spermidine (1 mM) | اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار<br>Spermidine (2 mM) | اسپرمین ۱ میلی‌مولار<br>Spermine (1 mM) | اسپرمین ۲ میلی‌مولار<br>Spermine (2 mM) |                 |
|                                       |                                              |                                           |                                           | پی‌اچ عصاره<br>Juice pH                     |                                             |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months        | 5.79b                                        | 5.79b                                     | 5.75b                                     | 5.78b                                       | 5.80b                                       | 5.74b                                   | 5.73b                                   | 5.77B           |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months      | 6.32a                                        | 6.21a                                     | 6.16a                                     | 6.27a                                       | 6.26a                                       | 6.26a                                   | 6.25a                                   | 6.25A           |
| میانگین<br>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 غوطه وری در محلول پلی آمین، زمان نمونه برداری، و اثر متقابل آن ها بر ترکیب های زیست فعال 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<br>نمونه برداری<br>Sampling time                         | غوطه وری در پلی آمین<br>Dipping in polyamine                          |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         | میانگین<br>Mean |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|
|                                                               | شاهد<br>Control                                                       | پوترسین ۲ میلی مولار<br>Putrescine (2 mM) | پوترسین ۴ میلی مولار<br>Putrescine (4 mM) | اسپرمیدین ۱ میلی مولار<br>Spermidine (1 mM) | اسپرمیدین ۲ میلی مولار<br>Spermidine (2 mM) | اسپرمین ۱ میلی مولار<br>Spermine (1 mM) | اسپرمین ۲ میلی مولار<br>Spermine (2 mM) |                 |
|                                                               | اسید آسکوربیک عصاره<br>Juice ascorbic acid (mg 100 mL <sup>-1</sup> ) |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months                                | 102.08f                                                               | 117.54cd                                  | 109.82e                                   | 112.81de                                    | 118.90bcd                                   | 120.64bc                                | 115.71cde                               | 113.93<br>B     |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months                              | 114.36cde                                                             | 125.28ab                                  | 121.04bc                                  | 121.22bc                                    | 120.64bc                                    | 128.30a                                 | 129.14a                                 | 122.85<br>A     |
| میانگین<br>Mean                                               | 108.22d                                                               | 121.41ab                                  | 115.43c                                   | 117.02bc                                    | 119.77abc                                   | 124.47a                                 | 122.42a                                 |                 |
| فنول کل عصاره<br>Juice total phenol (μmol g <sup>-1</sup> FW) |                                                                       |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months                                | 11.57e                                                                | 15.67bc                                   | 15.11d                                    | 15.28cd                                     | 15.46bcd                                    | 16.72a                                  | 15.92b                                  | 15.10A          |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months                              | 5.62k                                                                 | 7.74gh                                    | 6.74j                                     | 7.16ij                                      | 7.49hi                                      | 8.61f                                   | 8.13fg                                  | 7.36B           |
| میانگین<br>Mean                                               | 8.60f                                                                 | 11.71bc                                   | 10.93e                                    | 11.22de                                     | 11.48cd                                     | 12.67a                                  | 12.03b                                  |                 |
| فعالیت پاداکسنده عصاره<br>Juice antioxidant activity (%)      |                                                                       |                                           |                                           |                                             |                                             |                                         |                                         |                 |
| پس از دو ماه<br>After 2 months                                | 37.19fg                                                               | 46.81b                                    | 40.71d                                    | 44.47c                                      | 46.91b                                      | 48.82a                                  | 46.50b                                  | 44.49A          |
| پس از چهار ماه<br>After 4 months                              | 31.85i                                                                | 38.71ef                                   | 34.72h                                    | 36.22gh                                     | 39.94de                                     | 43.28c                                  | 40.72d                                  | 37.92B          |
| میانگین<br>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 معنی دار، برای اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی یا برهمکنش آن ها بر هر صفت، میانگین های دارای حرف مشترک تفاوت معنی داری 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 آمونیالاز (PAL) و افزایش اکسایش آنزیمی زیر تاثیر فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز 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 اناردانه‌ها در سطحی بیش‌تر نسبت به اناردانه‌های 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.

### References

1. Ahmadi, K., H.R. Ebadzadeh, F. Hatami, R. Hosseinpour and H. Abdeslah. 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.

### منابع

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. Omid (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. Ramezani. 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. Ramezani, F. Guillén, M. Serrano and D. Valero. 2020. Blood oranges maintain bioactive compounds and nutritional quality by postharvest treatments with  $\gamma$ -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. Hosseini-farahi, 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 application 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 approach 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. Ramezani, 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. Ramezani 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.

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

L. Taghipour\* and P. Assar<sup>1</sup>

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).