

اثر کاربرد پس از برداشت گاما آمینو بوتیریک اسید، متیل جاسمونات و متیل سالیسیلات بر سرمادگی، ویژگی‌های پوست و کیفیت آب میوه پرقال خونی رقم مورو در دوره انبارمانی سرد^۱

Effect of Postharvest Application of γ -Aminobutyric Acid, Methyl Jasmonate, and Methyl Salicylate on Chilling Injury, Peel Attributes and Fruit Juice Quality of 'Moro' Blood Orange During Cold Storage

فریبرز حبیبی، اصغر رمضانیان*، مجید راحمی، سعید عشقی^۲

چکیده

در این پژوهش، اثر تیمارهای پس از برداشت گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA)، متیل جاسمونات (MeJA) و متیل سالیسیلات (MeSA) بر سرمادگی، ویژگی‌های پوست و کیفیت آب میوه پرقال خونی رقم مورو در دمای ۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی٪ ۹۰ به مدت ۱۵۰ روز بررسی شد. تیمار GABA در غلظت ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار با استفاده از خلاء با فشار ۳۰ کیلو پاسکال به مدت ۸ دقیقه و بخار MeJA و MeSA در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار به طور جداگانه به مدت ۱۸ ساعت انجام شد. نمونه‌برداری در روزهای ۱، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ انبارمانی انجام گرفت. تیمارها باعث کاهش سرمادگی و نشت یونی میوه‌ها شد و میوه‌های شاهد در پایان دوره انبارمانی بیشترین شاخص سرمادگی و نشت یونی را داشتند. کمترین میزان رطوبت پوست و آب میوه و بیشترین میزان ماده‌های جامد محلول کل (TSS) و pH در تیمار شاهد به دست آمد. میوه‌های تیمار شده با MeSA کمترین میزان a^* و بیشترین زاویه فام (Hue°) را داشتند. کمترین میزان روشنازی (L^*)، b^* زاویه فام و کرومای در تیمار شاهد به دست آمد. در کل غلظت ۱۰۰ میکرومولار MeSA موثرترین تیمار برای کاهش سرمادگی و حفظ ویژگی‌های پوست و آب میوه پرقال خونی رقم مورو در دوره انبارمانی بود.

واژه‌های کلیدی: رطوبت پوست، زاویه فام، کرومای، ماده‌های جامد محلول کل، نشت یونی.

مقدمه

پرقال‌های خونی (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) از مهم‌ترین رقم‌های مرکبات بوده و دارای ارزش غذایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیب‌های زیست‌فعال به‌ویژه آنتوکوئینین، اسید آسکوربیک، فلاونوئید و اسید هیدروسینامیک می‌باشند (۶). سرمادگی محدود‌کننده انبارمانی میوه‌های پرقال خونی و سبب افزایش فساد پس از برداشت است. تخریب یاخته‌ای در بافت فلاودو، در اثر قرار گرفتن در دمای پایین انبار (بسته به نوع گونه مرکبات) اتفاق می‌افتد. این نابسامانی فیزیولوژیکی به عنوان آسیب سرمادگی شناخته شده است (۱۰).

سیستم‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانی، لیپیدهای غشا و نفوذپذیری غشا در تحمل به سرمادگی درگیر هستند. وقوع خسارت سرمادگی به نوع میوه، دمای نگهداری و دوره انبارمانی بستگی دارد. اولین مرحله ایجاد آسیب سرمایی تخریب غشای یاخته‌ای است که سبب گسترش نشانه‌های سرمادگی می‌شود (۲۲). بسیاری از نشانه‌های سرمادگی مانند پوست‌مردگی سطحی، آب‌گز شدن، کاهش وزن بیشتر و افزایش نشت یون بیانگر عدم توانایی غشا در حفظ ساختار یاخته‌ای است. افزایش تراوایی غشا و افزایش نشت یونی از نشانه‌های بافت‌های حساس به سرما است که به طور معمول قبل از ظهرور نشانه‌های

۱- تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۱۵

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادان بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ramezanian@shirazu.ac.ir

سرمازدگی صورت می‌پذيرد. نشانه‌های سرمازدگی در مرکبات شامل لکه‌های قهقهه‌ای فرو رفته، نکروز و فروپاشی فلاودو است که بازارپسندی میوه را بسيار کاهش می‌دهد (۲).

امروزه افزایش ماندگاری محصول‌های باگی توسيط تيمارهای ارگانيک توجه زيادي را در دنيا به خود جلب كرده است. استفاده از تركيب‌های طبیعی و سازگار با گیاه، طبیعت و انسان در نگهداری اين محصول‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گاما آمينو بوتیریک اسید^۱ (GABA) يك تركيب آمينواسیدی چهار کربنه غيرپروثئینی با يك گروه آمينی روی كربن ۷ می‌باشد و بهطور گستره‌های در باكتری‌ها، گیاهان و جانوران وجود دارد (۲۰). تنش‌های غیرزیستی مانند سرما، گرما، خشکی، پرتو فرابنفش و اکسیژن کم باعث انباست GABA در گیاهان می‌شود (۳). گاما آمينو بوتیریک اسید در کاهش سرمازدگی پس از برداشت محصول‌های باگبانی نقش دارد و تيمار بروزن زاد آن تحمل به سرمازدگی پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها را افزایش می‌دهد (۲۱). به عنوان مثال تيمار پس از برداشت GABA باعث کاهش سرمازدگی در میوه‌های هلlo (۱۸)، موز (۲۰) و گردید.

متيل ساليسيلات^۲ (MeSA) يك تركيب فرار گیاهی است که از ساليسيليك اسید ساخته می‌شود و در سيسitem دفاعی گیاه نقش دارد. كاربرد ساليسيليك اسید، گیاهان را در مقابل عوامل بيماری‌زا محافظت می‌کند و مقاومت اكتسای، ساخت متابوليک‌ها و آنزيم‌های آنتی‌اکسیدانی را در گونه‌های مختلف گیاهی فعال می‌نماید (۷). در دمای پایین تيمار ساليسيلات‌ها آسيب‌های سرمازدگی را به سيله جلوگیری از تولید گونه‌های فعال اکسیژن^۳ (ROS) در تعادل با سطح‌های آنتی‌اکسیدان‌ها و سيسitem آنزيمی جاروب‌کنندگی گونه‌های فعال اکسیژن کاهش می‌دهد. جاسمونيك اسید و متيل استر آن (متيل جاسمونات^۴) که در حالت کلی به جاسمونات‌ها معروف هستند به عنوان تنظيم کننده رشد گیاهی طبیعی جنبه‌های مختلف، واکنش گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی را زیر تاثير قرار می‌دهند (۱۹). جاسمونات‌ها با دخالت در بيان ژن‌های مختلف، گیاهان را در مقابل تنش‌های مختلف محیطی محافظت نموده و از اين راه نيز می‌توانند عمر نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها را افزایش دهند (۵). تيمار با بخار متيل ساليسيلات و متيل جاسمونات باعث کاهش سرمازدگی در میوه انثار شده است (۱۷).

دمای پایین به عنوان يكی از مؤثرترین روش‌ها در حفظ کيفيت میوه پرتقال‌های خونی می‌باشد. پرتقال‌های خونی حساسیت بالایی به سرمازدگی دارند و هنگامی که در دمای كمتر از ۵ درجه سلسیوس نگهداری شوند دستخوش تغييرهای متابوليکی مضر و پوسيدگی می‌شوند (۶). از سویي اگر میوه‌ها در سرخانه نگهداری نشوند به سرعت فاسد شده و عمر انبارمانی آن‌ها کاهش می‌يابد. نگهداری میوه در دمای بالا مشکل‌های مانند کاهش وزن، چروکیدگی، خشك شدن پوست و پوسيدگی‌های قارچی را به دنبال دارد که برای جلوگیری از آن‌ها، نگهداری میوه پرتقال خونی در دماهای پایین انبار برای افزایش تركيب‌های زیستفعال پیشنهاد شده است، ولی میوه‌ها در اين دماها دچار آسيب سرمایي می‌شود (۱۶). بنابراین دستیابی به روش‌هایي که بتواند سرمازدگی را در اين گونه محصول‌ها کاهش دهد، می‌تواند باعث افزایش عمر انباری آن‌ها شود. با توجه به اين‌كه انبارمانی يكی از مهم‌ترین مراحل پس از برداشت است و هر ساله بخش زيادي از میوه‌های پرتقال خونی پس از تولید در شرایط نامناسب انبار شده و از بين می‌رود، بررسی راههای مناسب برای جلوگیری از آسيب‌های پس از برداشت در دوره انبارمانی ضروری است. بنابراین هدف از انجام اين پژوهش بررسی تأثير تيمارهای گاما آمينو بوتیریک اسید (GABA)، بخار متيل جاسمونات (MeJA) و متيل ساليسيلات (MeSA) به منظور تعديل سرمازدگی، ويزگی‌های پوست و آب میوه پرتقال خونی رقم مورو در دمای ۳ درجه سلسیوس به مدت ۱۵۰ روز در رطوبت نسبی ۹۰٪ بوده است.

مواد و روش‌ها

در اين پژوهش، میوه‌های پرتقال خونی رقم مورو (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Moro) در مرحله بلوغ تجاري بر اساس شاخص طعم (TSS/TA≤۱۰)، از شهر جهرم استان فارس تهيه و به آزمایشگاه فيزيولوژي پس از برداشت بخش علوم

bagbiani دانشگاه شيراز منتقل شدند. سپس میوه‌ها با هيپوكلريت سدیم ۲ درصد گندزاداي و با آب مقطر شسته شدند.

تيمارهای مورد استفاده در اين پژوهش شامل گاما آمينو بوتیریک اسید (GABA) (۲۰ و ۴۰ ميلیمولار) و بخار متيل جاسمونات (MeJA) (۵۰ و ۱۰۰ ميكرومولار) و متيل ساليسيلات (MeSA) (۵۰ و ۱۰۰ ميكرومولار) و تيمار شاهد (بدون

Methyl jasmonate -۴

Reactive oxygen species -۳

Methyl salicylate -۲

γ-aminobutyric acid -۱

تیمار) بودند. تیمار گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) با استفاده از خلا با فشار ۳۰ کیلو پاسکال به مدت ۸ دقیقه انجام شد. بخاردهی میوه‌ها در ظرف‌های ۲۰ لیتری پلاستیکی با ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات و متیل سالیسیلات به طور جداگانه انجام شد. برای این منظور ابتدا حجم خالی ظرف با توجه به حجم میوه‌ها محاسبه شد و با توجه به میزان حجم فضای خالی ظرف، به مقدار مناسب متیل جاسمونات و متیل سالیسیلات به چند عدد کاغذ صافی برای رسیدن به غلظت مورد نظر در فضای خالی آغشته شده (به دلیل فرار بودن متیل جاسمونات و متیل سالیسیلات) و به مدت ۱۸ ساعت در بین ردیفهای میوه قرار گرفتند. سپس درب ظرف‌ها باز شده و به منظور تبادل هوا دو ساعت در مجاورت هوای آزاد قرار گرفتند. روی میوه‌های شاهد هیچ گونه تیماری انجام نشد. میوه‌ها پس از اعمال تیمار در کیسه‌های پلی اتیلنی با ۱۶ سوراخ به منظور تبادل هوا قرار گرفتند.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار (۵ میوه به عنوان مشاهده) (در مجموع ۶۳۰ میوه پر تقال خونی) به مدت ۱۵۰ روز به منظور بررسی اثر تیمارها بر انبارمانی طولانی مدت در دمای بحرانی ۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد انجام گردید. نمونه برداری در روزهای ۱، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه انجام گرفت. برای شبیه‌سازی شرایط عمر قفسه‌ای قبل از اندازه‌گیری فراسنجه‌ها، میوه‌ها به مدت دو روز در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند. شاخص سرمآزادگی میوه‌ها در هر یک از زمان‌های نمونه برداری مورد بررسی قرار گرفت. میوه‌های دارای لکه‌های پوستی و اختلال‌های ظاهری ناشی از سرمآزادگی شمارش شدند. نمره آسیب سرمآزادگی به صورت صفر (بدون صدمه)، ۱ (ملاجم، با تعداد لکه پوستی کم)، ۲ (متوسط) و ۳ (شديد) گروه‌بندی شد. اندازه‌گیری آسیب سرمآزادگی از تقسیم مجموع کل میوه‌هایی که آسیب سرمآزادگی ظاهری نشان داده‌اند (لکه پوستی) بر کل میوه در هر تیمار به دست آمد و میزان شاخص سرمآزادگی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۱۳).

$$\text{شاخص سرمآزادگی} = \frac{\sum (\text{تعداد میوه‌های هر گروه} \times \text{نمره سرمآزادگی گروه})}{\text{کل میوه‌های بررسی شده}}$$

برای اندازه‌گیری نشت‌یونی از قسمت استوایی پوست میوه ۸ تا ۱۰ دیسک به قطر ۱۰ میلی‌متر (به وزن ۱ گرم) با چوب پنبه سوراخ کن برداشته شد. تکه‌های پوست به مدت ۱ دقیقه در ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه شسته و سپس در داخل ۱۰ میلی‌لیتر مانیتول ۰/۳ مولار قرار گرفتند. پس از ۳ ساعت قرار گرفتن روی شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه، هدایت الکتریکی اولیه (EC₁) محلول توسط دستگاه هدایت‌سنچ اندازه‌گیری شد. سپس محلول حاوی نمونه‌ها در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت. پس از قرار گرفتن در دمای محیط و هم دما شدن با محیط با اندازه‌گیری مجدد هدایت الکتریکی ثانویه (EC₂) میزان درصد نشت‌یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۰).

$$\text{EC (\%)} = \frac{\text{هدایت الکتریکی اولیه (EC}_1\text{)}}{\text{هدایت الکتریکی ثانویه (EC}_2\text{)}} \times 100$$

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت پوست، سه قسمت مساوی از پوست ۳ عدد میوه در هر تکرار جدا و وزن شده و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت خشک شدند. سپس پوست‌های خشک دوباره وزن شده و درصد رطوبت پوست با فرمول زیر محاسبه شد (۲).

$$\text{درصد رطوبت پوست} = \frac{(\text{وزن خشک پوست} - \text{وزن تر پوست})}{\text{وزن تر پوست}} \times 100$$

شاخص رنگ میوه‌ها با دستگاه رنگ‌سنچ (مدل CR400/4P)، ساخت ژاپن) به صورت L^* (درخشندگی یا روشنی)، a^* (قرمزی-سبزی) و b^* (زردی-آبی) اندازه‌گیری شد و زاویه فام (Hue°) و میزان خلوص رنگ (کرومای) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (۵).

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad Hue^\circ = \text{Arctan} \frac{b^*}{a^*}$$

برای اندازه‌گیری ماده‌های جامد محلول کل (TSS) میوه از دستگاه رفرکتومتر دستی^۱ (TI-RBX0032A, Singapore) استفاده شد و بر حسب درصد بیان شد. پیاج و هدایت الکترونیکی (EC) عصاره میوه پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه پیاج‌سنچ و دستگاه EC سنج اندازه‌گیری شدند (۶). برای اندازه‌گیری درصد عصاره ابتدا میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی وزن شدند. عصاره‌گیری با آب‌میوه‌گیری دستی از میوه‌های پوست گرفته شده انجام شد. درصد عصاره بعد از اندازه‌گیری وزن عصاره با فرمول زیر محاسبه شد (۱۱).

$$\frac{\text{وزن عصاره (میلی گرم)}}{\text{وزن میوه (میلی گرم)}} \times 100 = \text{درصد عصاره}$$

واکاوی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد شاخص سرمازدگی در دوره انبارمانی افزایش یافت و میوه‌های شاهد به‌طور معنی‌داری نشانه‌های سرمازدگی بیشتری نسبت به میوه‌های تیمار شده نشان دادند (شکل ۱). تفاوت معنی‌داری در شاخص سرمازدگی بین میوه‌های تیمارشده و شاهد در روزهای ۳۰ تا ۱۵۰ انبارمانی مشاهده شد. اولین نشانه‌های سرمازدگی در میوه‌های پر تقال خونی پس از ۳۰ روز نگهداری در دمای ۳ درجه سلسیوس ظاهر شد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، شاخص سرمازدگی میوه‌های شاهد در مرحله آخر انبارمانی به شدت افزایش یافت. تیمارهای ۱۰۰ میکرومولار متیل‌سالیسیلات و ۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به طور معنی‌داری سرمازدگی را کاهش دادند. در پایان دوره انبارمانی، تیمار ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار GABA، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات و متیل‌سالیسیلات به‌طور معنی‌داری شاخص سرمازدگی را نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب به میزان ۳۰/۲۲٪، ۳۷/۲٪، ۴۸/۸۳٪، ۴۶/۵۱٪، ۴۴/۱۸٪ و ۵۵/۸۱٪ کاهش دادند. به طور کلی، تأثیر متیل‌سالیسیلات ۱۰۰ میکرومولار بر کاهش نشانه‌های سرمازدگی بیشتر از دیگر تیمارها بود (شکل ۱).

غشاء یاخته‌ای به عنوان محل اصلی بروز آسیب سرمازدگی در پوست میوه محسوب می‌شود (۸). در این پژوهش، تیمار بخار MeSA و اثر بیشتری نسبت به تیمار GABA با خلاصه بر افزایش تحمل به سرمازدگی میوه‌های پر تقال خونی داشت. این تفاوت می‌تواند ناشی از عملکردهای مختلف این ترکیب‌ها در بافت‌های گیاهی باشد. در واقع MeSA و MeJA تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند و طبیعت شیمیایی آن‌ها با GABA که یک اسید آمینه غیر پروتئینی است، متفاوت می‌باشد. متیل‌جاسمونات و متیل‌سالیسیلات نقش کلیدی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی برای افزایش تحمل میوه‌ها به دمای پایین بازی می‌کنند (۱۷، ۲۰). در این پژوهش اثر تیمار متیل‌سالیسیلات بر کاهش نشانه‌های سرمازدگی بیشتر از دیگر تیمارها بود. در این رابطه گزارش شده است، تیمار متیل‌سالیسیلات با حفظ سلامت غشای یاخته‌ای، کاهش نشت‌یونی و افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز^۲ (PAL) و با بالابردن فعالیت چرخه آسکوربات-گلوتاتیون سبب کاهش آسیب سرمایی می‌شود (۱۷). همچنین، متیل‌سالیسیلات پروتئین‌های شوک حرارتی را تولید می‌کند و در نتیجه سبب مقاومت به آسیب سرمازدگی می‌شود (۴). به عنوان مثال، تیمار بخار متیل‌جاسمونات و متیل‌سالیسیلات با غلظت‌های ۰/۱ و ۱/۰ میلی‌مولار سرمازدگی، نشت یونی و قهوه‌ای شدن درونی میوه انار را در دوره انبارمانی کاهش داد (۱۷). افزون بر این، دمای پایین با تحریک مسیر فنیل‌پروپانوئید فعالیت آنزیم PAL را افزایش می‌دهد. آنزیم PAL کلیدی در متابولیسم فنیل‌پروپانوئید بوده و تشکیل اسید ترانس‌سینامیک را از طریق دی‌آمینه کردن اسید‌آمینه معطر فنیل‌آلانین کاتالیز می‌کند. با افزایش فعالیت این آنزیم ساخت و انباست ترکیب‌های فنولی افزایش یافته و در نهایت ترکیب‌های فنولی با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، مقاومت بافت به تنش‌های زیوا و غیرزیوا را افزایش می‌دهند. افزایش فعالیت این آنزیم به عنوان یکی از سازوکارهای مقاومت به سرمه در میوه‌ها شناخته شده است. آنزیم PAL با تولید ترکیب‌های فنولی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا نقش مهمی در سازوکار حفاظتی گیاه در برابر آسیب سرمازدگی دارد (۱۲). یکی از سازوکارهای پیشنهادی که GABA خارجی میزان سرمازدگی را کاهش می‌دهد ممکن است از طریق حفظ وضعیت انرژی با تأمین ATP، NADH، و با انباست

GABA درونی در دوره انبارمانی باشد (۲۰). به عنوان مثال در پژوهشی تیمار پس از برداشت GABA با غلظت ۵ میلی مولار باعث کاهش سرمазدگی و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در میوه‌های هلو گردید (۲۱). تیمار پس از برداشت میوه‌های هلو با غلظت‌های مختلف GABA باعث افزایش GABA درونی، پرولین و کاهش سرمازدگی میوه‌ها گردید (۱۸). تیمار پس از برداشت میوه موز با GABA باعث کاهش سرمازدگی، نشت یونی، میزان مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و افزایش میزان پرولین و فنول‌ها در پوست میوه و باعث حفظ کیفیت موز در دمای بحرانی ۷ درجه سلسیوس گردید (۲۰).

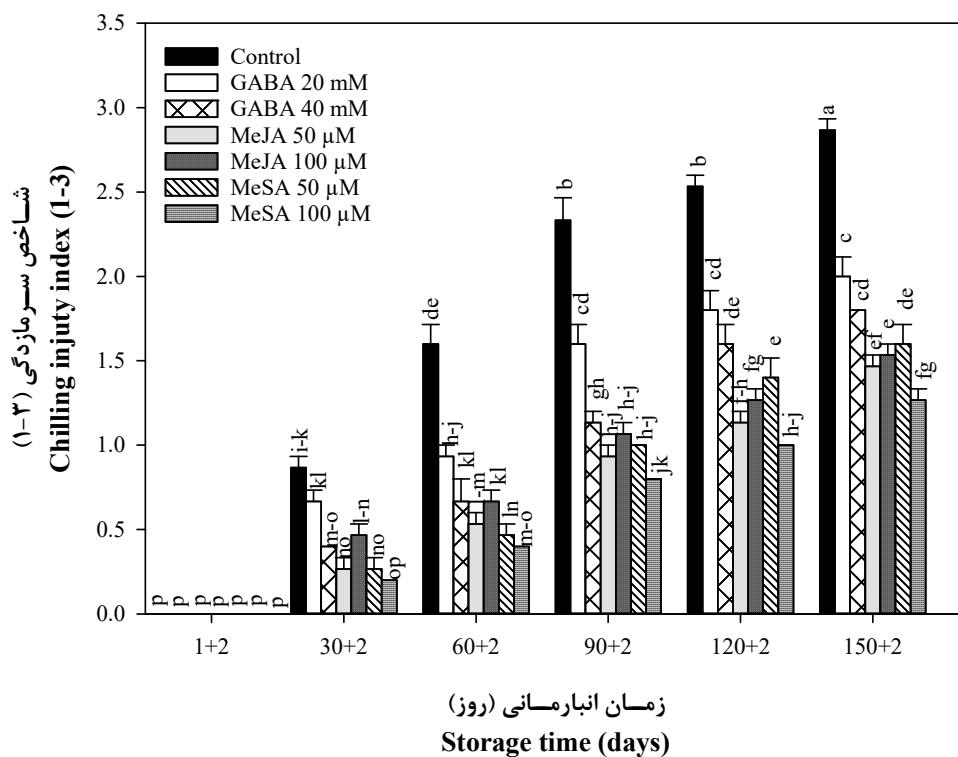


Fig. 1. Chilling injury (CI) index of 'Moro' blood orange fruit treated with GABA, MeJA and MeSA during cold storage. Vertical bars on columns represent standard errors (SE) of means. Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

شکل ۱- شاخص سرمازدگی میوه پرنتال خونی رقم مورو تیمارشده با GABA، MeJA و MeSA در دوره انبارمانی. خطهای عمودی در هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (SE) میانگین است. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف‌های مشابه هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

نشت یونی در دوره انبارمانی افزایش یافت و میوه‌های شاهد به‌طور معنی‌داری نشت یونی بیشتری نسبت به میوه‌های تیمار شده داشتند (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، نشت یونی میوه‌های شاهد در مرحله آخر انبارمانی به شدت افزایش یافت. تیمارهای ۱۰۰ میکرومولار متیل‌سالیسیلات و ۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به‌طور معنی‌داری نشت یونی را کاهش دادند. تیمار ۲۰ و ۴۰ میلی مولار GABA، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات و متیل‌سالیسیلات نشت یونی را نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب به میزان ۱۲/۰۶٪، ۱۳/۶۵٪، ۱۶/۰۷٪، ۱۶/۴۸٪، ۱۴/۷٪ و ۲۵/۹۳٪ به‌طور معنی‌داری در پایان دوره انبارمانی، کاهش دادند (شکل ۲). نشت یونی یک شاخص اصلی برای ارزیابی نفوذپذیری و یکپارچگی غشای یاخته‌ای است و به‌طور کلی، به عنوان نشانگر مهم برای میزان سرمازدگی میوه اشاره شده در دمای پایین استفاده می‌شود (۲۰). افزون بر این، تنش سرما می‌تواند پراکسیداسیون لیپید را افزایش دهد و ساختار غشا را تغییر دهد. بنابراین میزان افزایش نفوذپذیری غشا و افزایش نشت یونی از نشانه‌های بافت‌های حساس به آسیب سرمایی است که به‌طور معمول پیش از پیدایش

نشانه‌های سرمазدگی صورت می‌پذیرد (۸). در این پژوهش، میوه‌های تیمارشده سرمازدگی و به همراه آن نشت یونی کمتری داشتند (شکل ۱ و ۲).

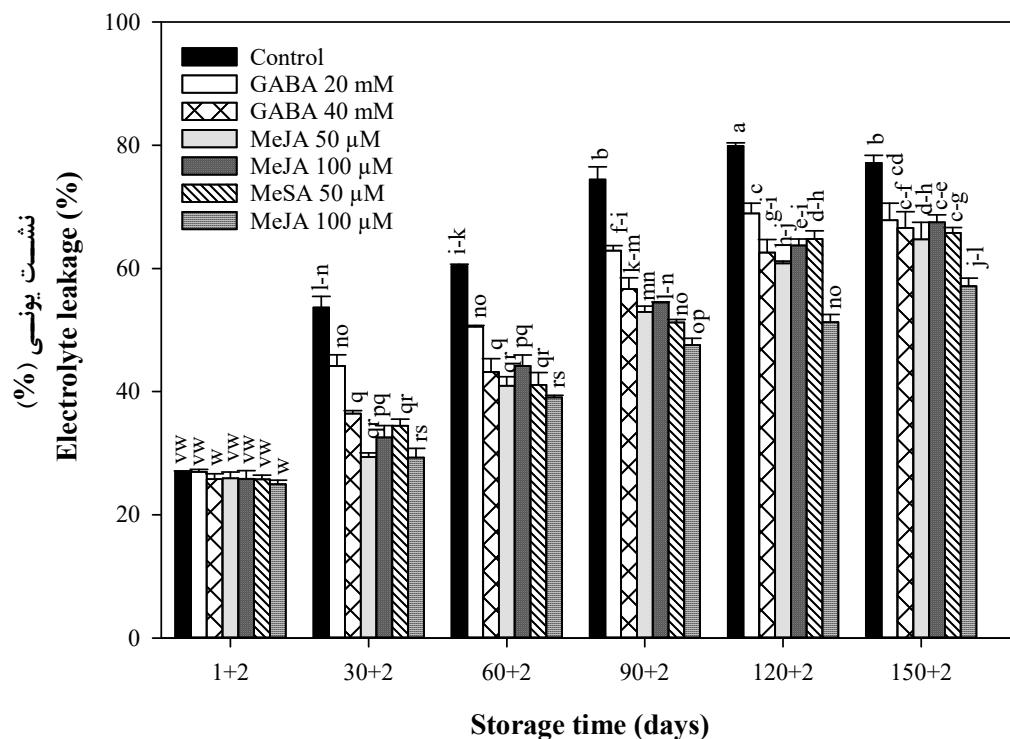


Fig. 2. Electrolyte leakage of 'Moro' blood orange fruit treated with GABA, MeJA and MeSA during cold storage. Vertical bars on columns represent standard errors (SE) of means. Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

شکل ۲- نشت یونی میوه پر تقال خونی رقم مورو تیمارشده با GABA، MeJA و MeSA در دوره انبارمانی. خطاهای عمودی در هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (SE) میانگین است. در هر ستون میانگینهایی که دارای حرفهای هم‌اشابه هستند، در سطح احتمال ۵٪/آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

بر اساس نتیجه‌های به دست آمده، تیمارها بر درصد رطوبت پوست میوه پر تقال خونی رقم مورو اثر معنی‌داری داشتند (شکل ۳). با افزایش زمان انبارمانی میزان رطوبت پوست در تمامی تیمارها کاهش یافت. هر چند تفاوت معنی‌داری در روز ۳۰ انبارمانی بین تیمارها مشاهده نشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در پایان مرحله انبارمانی، کمترین میزان رطوبت پوست در میوه‌های شاهده شد. در حالی که میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل‌سالیسیلات و غلظت ۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به طور معنی‌داری رطوبت پوست بیشتری داشتند.

آب جز اصلی تشکیل دهنده پوست میوه است و کاهش یا کنترل سرعت از دست‌دهی رطوبت در حفظ میزان آن در مدت انبارمانی موثر است. از دست‌دهی رطوبت به طور عمده با تنفس و تبخیر رطوبت از راه پوست همراه است و تیمارها می‌توانند با محدود کردن انتقال آب و حفاظت از پوست میوه در برابر آسیب‌های سرمازدگی مانع خروج رطوبت شوند. آسیب سرمازدگی به دلیل از هم پاشیدگی بافت فلامودو و تماس بین پوست و اتمسفر بیرونی سبب خروج بخار آب می‌شود. استفاده از برخی تیمار سرمازدگی را کاهش می‌هد و با حفظ ساختار روپوست مانع خروج بخار آب از بافت می‌شود (۱۷). در این پژوهش تیمار متیل‌سالیسیلات به طور موثری سبب کاهش از دست‌دهی رطوبت پوست شد که می‌تواند به دلیل کاهش سرمازدگی میوه‌ها باشد. افزون بر این گزارش شده است که تیمار متیل‌سالیسیلات از دست‌دهی آب را با بستن روزنه‌های پوست میوه در نارنگی رقم پونکن کاهش می‌دهد (۲۳).

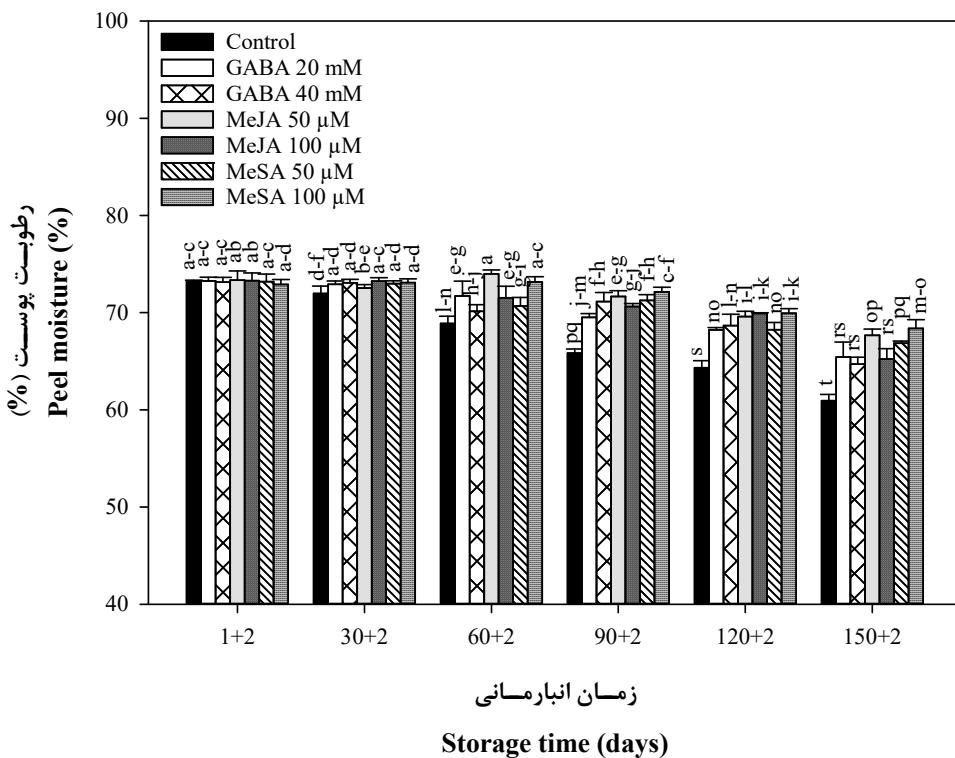


Fig. 3. Peel moisture of 'Moro' blood orange fruit treated with GABA, MeJA and MeSA during cold storage. Vertical bars on columns represent standard errors (SE) of means. Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

شکل ۳- رطوبت پوست میوه پرتقال خونی رقم مورو تیمارشده با GABA و MeJA در دوره انبارمانی، خطاهای عمودی در هر ستون نشان دهنده خطاهای استاندارد (SE) میانگین است. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرفهای مشابه هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

رنگ یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ارزیابی عمر پس از برداشت و کیفیت میوه‌ها است. شاخص L^* به عنوان شاخص روشنایی، a^* به عنوان شاخص تمایل رنگ بین سبز و قرمز و b^* به عنوان شاخص تمایل رنگ بین آبی و زرد هستند و به عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی تفاوت رنگ کل میوه محاسبه می‌گردد. شاخص کرومما به عنوان مقدار اشباع شدگی و شدت رنگ و مقدار زاویه فام (Hue°) به عنوان شاخصهای از رنگ محاسبه می‌گردد که مقدارهای آن از زاویه صفر یا 360° درجه نشان‌دهنده رنگ قرمز و زاویه‌های 90° , 180° و 270° به ترتیب بیانگر رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد (۵). نتیجه‌های به دست آمده نشان دادند، تیمارها بر رنگ پوست میوه پرتقال خونی رقم مورو اثر معنی داری داشتند (جدول ۱). در این پژوهش، شاخص روشنایی (L^*), b^* , زاویه فام و کرومما با افزایش دوره انبارمانی کاهش یافت. میوه‌های تیمار شده با بخار متیل‌سالیسیلات و متیل جاسمونات شاخص L^* بالاتری داشتند. در دوره انبارمانی شاخص a^* افزایش یافت. افزایش مقدار a^* نشان‌دهنده قرمزی بیشتر می‌باشد. تیمار متیل‌سالیسیلات (۵۰ و ۱۰۰ میکرومولاو)، کمترین میزان a^* و بیشترین زاویه فام را داشتند. در حالی که کمترین میزان L^* , b^* , زاویه فام و کرومما در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۱). دلیل کاهش L^* , b^* زاویه فام، کرومما و افزایش a^* در میوه‌های شاهد می‌تواند به دلیل سرمآذگی باشد که از روشنایی میوه‌ها کاسته و با تیره‌تر شدن رنگ پوست زاویه فام و کرومما کاهش و a^* افزایش یافت (۵). اگرچه میوه‌های مرکبات نافرازگرا هستند و در دوره رسیدن و بلوغ سرعت تنفس و سطح تولید اتیلن کمی دارد، اما پوست میوه از این فرایند پیروی نمی‌کند و تغییرهای رسیدن پس از برداشت همچنان در پوست میوه رخ می‌دهد (۱۴). در مرکبات پوست با گذشت زمان سبزینه خود را از دست می‌دهد و رنگ‌های کاروتنوئیدی که زیر پوست قرار دارند ظاهر می‌شوند (۱۴). در این پژوهش کاربرد تیمارها به ویژه تیمار متیل‌سالیسیلات با کاهش میزان سرمآذگی، کاهش تغییرهای مرتبط با رسیدن پس از برداشت و جلوگیری از پیری باعث حفظ ویژگی‌های رنگ

پوست میوه در دوره انبارمانی شد. تیمار پیش از برداشت سالسیلیکا سید باعث حفظ ویژگی‌های رنگ پوست میوه پرقال رقم واشنگتن ناول در دوره انبارمانی در دمای ۵ درجه سلسیوس شد (۱۴). افزون بر این، تیمار پس از برداشت متیل‌سالسیلات باعث حفظ زاویه فام در میوه گیلاس در دوره انبارمانی گردید (۱۵).

جدول ۱- اثر تیمارهای GABA، MeJA و MeSA بر رنگ پوست میوه پرقال خونی رقم مورو در دوره انبارمانی.

Table 1. Effect of GABA, MeJA and MeSA treatments on peel color of 'Moro' blood orange fruit during cold storage.

تیمار Treatment	زمان انبارمانی Storage time	روشنایی <i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	زاویه فام Hue angle (°)	کرومای Chroma
Control	1+2	57.07±0.05 ab	21.5±0.84 k-n	60.04±0.37 b	70.3±0.82 ab	63.78±0.07 b
GABA 20 mM		59.46±1.46 a	24.1±1.53 e-j	64.08±0.69 a	69.4±1.00 a-c	68.48±1.19 a
GABA 40 mM		57±4.56 a-c	21.11±0.14 k-m	63.69±2.67 a	71.64±0.83 a	67.11±2.49 a
MeJA 50 µM		55.83±1.74 a-c	23.21±2.68 f-k	54.9±0.71 c	67.09±2.64 c-f	59.65±0.39 c
MeJA 100 µM		55.55±0.06 a-c	21.24±1.3 k-n	56.03±2.23 c	69.25±0.41 b-d	59.93±2.55 c
MeSA 50 µM		55.14±4.12 a-e	22.03±0.45 j-l	55.73±1.505 c	68.42±0.93 b-f	59.94±1.23 c
MeSA 100 µM		56.61±2.13 a-c	22.36±0.21 i-l	55.66±0.66 c	68.11±0.05 b-f	59.98±0.69 c
Control	30+2	41.32±1.41 o-t	21.59±0.24 k-m	40.99±0.35 hi	62.22±0.06 g-i	46.34±0.43 ij
GABA 20 mM		52.03±0.74 b-g	20.375±0.28 l-o	50.69±0.56 ef	68.1±0.5 b-f	54.64±0.42 d
GABA 40 mM		46.41±2.49 i-n	18.015±0.81 pq	46.08±1.95 g	68.65±0.05 b-e	49.48±2.12 gh
MeJA 50 µM		48.01±3.41 i-m	19.45±1.14 n-p	45.82±0.26 g	67.01±1.09 d-f	49.78±0.68 fg
MeJA 100 µM		48.13±0.88 f-l	19.56±1.03 m-p	44.9±0.33 g	66.46±1.26 ef	48.99±0.10 gh
MeSA 50 µM		46.08±3.5 i-o	18.15±0.18 pq	45.08±0.1 g	68.06±0.2 b-f	48.60±0.07 g-i
MeSA 100 µM		53.12±0.04 b-f	18.74±1.34 o-q	52.005±1.05 de	70.19±0.94 ab	55.29±1.45 d
Control	60+2	45.09±1.33 j-p	21.73±0.09 kl	41.67±1.25 h	62.45±0.61 gh	47.00±1.15 hi
GABA 20 mM		43.34±3.16 l-r	21.11±0.89 k-m	32.15±0.24 l	56.72±1.3 kl	38.47±0.29 n-p
GABA 40 mM		50.18±1.27 e-i	21.67±2.84 k-m	49.06±1.02 g	66.23±2.34 f	53.66±2.08 de
MeJA 50 µM		55.05±1 a-c	20.4±0.1 l-o	54.31±1.75 cd	69.4±0.61 a-c	58.02±1.64 c
MeJA 100 µM		56.27±2.45 a-d	26.53±1.47 a-c	52.58±0.92 de	63.24±0.88 g	58.90±1.49 c
MeSA 50 µM		46.8±1.74 i-n	17.5±0.35 pq	40.71±2.32 hi	66.71±0.77 ef	44.32±2.28 jk
MeSA 100 µM		51.98±3.05 c-g	24.16±0.83 e-i	46.11±0.08 g	62.35±0.85 g-i	52.06±0.32 ef
Control	90+2	34.7±3.3 u	25.2±1.99 c-f	23.17±2.22 qr	42.57±0.49 q-s	34.24±2.97 qr
GABA 20 mM		38.97±4.1 q-u	22.7±0.52 h-k	25.96±0.4 o	48.84±0.21 n	34.49±0.64 qr
GABA 40 mM		42.85±0.49 n-s	23.18±0.87 f-k	34.96±2.62 jk	56.37±2.97 l	41.98±1.7 k-m
MeJA 50 µM		42.18±0.81 n-s	25.58±0.8 b-e	34.62±1.71 jk	53.51±2.21 m	43.07±0.9 kl
MeJA 100 µM		38.6±1.29 r-u	21.47±0.08 k-n	22.12±1.95 r	45.78±2.42 op	30.84±1.45 s
MeSA 50 µM		40.99±4.08 p-t	22.01±1.2 j-l	36.62±2.85 j	58.97±0.6 jk	42.73±3.07 k-m
MeSA 100 µM		34.57±4.99 u	15.24±0.39 r	26.58±0.46 no	60.17±1.06 h-j	30.64±0.21 s
Control	120+2	43.06±2.66 l-r	22.08±2.92 i-l	28.46±0.81 mn	52.32±2.89 m	36.05±2.43 pq
GABA 20 mM		42.95±2.55 m-r	25.19±0.24 c-f	29.29±1.91 m	49.25±2.12 n	38.65±1.29 no
GABA 40 mM		34.71±2.05 u	27.92±1.15 a	23.47±0.6 p-r	40.07±0.44 t	36.48±1.27 o-q
MeJA 50 µM		40.3±0.59 p-t	21.18±1.27 k-n	27.48±1.6 m-o	52.38±0.05 m	34.70±2.04 qr
MeJA 100 µM		41.78±0.51 n-t	27.12±1.82 ab	22.95±0.7 r	40.27±1.04 st	35.54±1.85 q
MeSA 50 µM		43.96±1.48 k-q	22.92±1.82 g-k	21.67±0.77 r	43.45±1.25 p-r	31.55±1.85 s
MeSA 100 µM		34.88±0.42 u	24.76±0.92 e-h	21.63±1.22 r	41.12±0.55 st	32.89±1.50 rs
Control	150+2	37.78±1.46 s-u	21.32±0.71 k-n	23.03±0.77 qr	47.2±0.00 no	31.39±1.05 s
GABA 20 mM		36.835±2.55 tu	23.01±0.7 g-k	25.3±2.57 o-q	47.62±2.04 no	34.22±2.38 qr
GABA 40 mM		51.365±6.99 e-h	25.01±1.06 c-g	33.27±1.73 kl	53.06±0.27 m	41.63±2.02 lm
MeJA 50 µM		37.805±1.42 s-u	26.22±2.43 a-d	25.57±1.06 op	44.35±3.84 pq	36.68±1.00 o-q
MeJA 100 µM		49.845±0.73 e-i	24.02±2.77 e-j	41.67±0.75 h	60.11±2.42 ij	48.13±2.03 g-i
MeSA 50 µM		49.005±6.29 f-k	20.47±0.02 l-o	34.74±0.005 jk	59.49±0.03 j	40.33±0.01 mn
MeSA 100 µM		43.61±1.28 l-r	16.64±0.43 qr	39.14±1.73 i	66.96±0.38 d-f	42.54±1.76 k-m

Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using LSD test. The results are represented by standard deviation (SD) of means.

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف‌های مشابه هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD نفاوت معنی‌داری ندارند. نتایج با انحراف معيار (SD) میانگین نشان داده شده‌اند.

میزان آب میوه در دوره انبارمانی روند کاهشی داشت (شکل ۴-الف). بیشترین میزان آب میوه در مرحله اول نمونه برداری بود. در مرحله چهارم، پنجم و ششم نمونه برداری تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. در مرحله آخر نمونه برداری

بیشترین میزان آب میوه در تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل سالیسیلات اندازه‌گیری شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای متیل جاسمونات نداشت. کمترین میزان آب میوه در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (شکل ۴-الف). آب عنصر اصلی در وزن میوه است. افزایش اختلاف فشار بخار بین بافت و هوای اطراف سبب افزایش تعرق و آب ازدست‌دهی میوه در اثر کاهش رطوبت می‌شود. در این پژوهش، روند کاهش میزان آب میوه در تیمار متیل سالیسیلات کندتر بود که به احتمال به دلیل خنثی نمودن رادیکال‌های آزاد و حفظ سلامت غشای یاخته‌ای، از آسیب به غشا با کاهش آسیب سرمایی مانع از خشک شدن کسیه‌های آب می‌شود (۱۷).

ماده‌های جامد محلول کل (TSS) در تمام تیمارها از روز ۱ تا ۹۰ انبارمانی افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۴-ب). بیشترین میزان TSS در میوه شاهد مشاهده شد. در پایان مرحله انبارمانی، تفاوت معنی‌داری بین میوه‌های تیمار شده با MeJA و GABA وجود نداشت (شکل ۴-ب). بیش از ۸۵٪ مقدار TSS در میوه‌های مرکبات قدمها هستند. بنابراین TSS یک شاخص عالی برای سنجش مقدار قند میوه مرکبات است. شکسته شدن کربوهیدرات‌های پلیمری به خصوص قندهای موجود در دیواره یاخته‌ای موجب افزایش میزان TSS میوه می‌شود. در میوه‌های فرازگرا افزایش TSS بیشتر به دلیل تبدیل نشاسته به قندهای محلول رخ می‌دهد. تجزیه نشاسته پیش از بلوغ میوه، منبع عمدۀ قندهای میوه (ساکارز، گلوکز، فروکتوز) می‌باشد که سبب شیرین شدن میوه می‌شود. میوه مرکبات فرازگرا نیست و افزایش TSS در مرکبات نمی‌تواند به دلیل تبدیل نشاسته باشد (۱). در این پژوهش، TSS در دوره انبارمانی افزایش یافت که این افزایش به احتمال به دلیل افزایش غلظت ماده خشک ناشی از کاهش در مقدار آب میوه در دوره انبارمانی باشد. همچنین افزایش TSS در دوره نگهداری در انبار می‌تواند در نتیجه کاهش آب میوه به واسطه فرآیند تعرق و تجزیه قندهای مرکب به قندهای ساده و تغليظ آب میوه به خاطر از دست دادن رطوبت باشد. افزایش TSS در میوه ممکن است به علت فعالیت آنزیم‌هایی مثل اینورتاز که ساکارز را تجزیه می‌کند، باشد (۶). در این پژوهش، TSS کمی بعد از ۹۰ روز روند کاهشی داشت که به احتمال به دلیل مصرف قندها در واکنش‌های تنفسی همراه با آسیدهای آلی برای تولید ATP در دوره انبارمانی طولانی مدت باشد (۷).

در این پژوهش pH آب میوه تا روز ۹۰ انبارمانی افزایش یافت و سپس تا مرحله پایان انبارمانی کاهش یافت (شکل ۴-ج). میوه‌های شاهد میزان pH بالاتری نسبت به میوه‌های تیمار شده داشتند. افزایش pH به علت فعالیت‌های زیست‌شیمیایی داخل میوه است که سبب می‌شود آسید آلی موجود در میوه به فرآوردهای قندی تبدیل شوند (۱). آسید سیتریک در بین آسیدهای آلی ماده اصلی تنفس و آسید غالب مرکبات است که به همراه قندها بهویژه گلوکز با مصرف تدریجی در فرایند تنفسی از میزان آن کاسته شده و سبب افزایش pH عصاره میوه می‌شود (۱۵). بنابراین بالا رفتن pH میوه می‌تواند بیانگر مصرف آسیدهای آلی در دوره انبارمانی باشد. گزارش شده است که فعالیت آنزیم V-ATPase و V-PPase^۲ یا^۳ H⁺-PPase در پروتون از واکوئل در مدت رسیدگی و پیری میوه می‌شود و یک ارتباط نزدیک بین بالا بودن میزان فعالیت این آنزیم و افزایش pH وجود دارد. بنابراین، سرمادگی بیان ژن‌های V-ATPase و H⁺-PPase یا TA کمی افزایش می‌هد که می‌تواند با میزان pH در ارتباط باشد که با طولانی شدن دوره انبارمانی در دمای پایین با افزایش میزان سرمادگی، pH افزایش یابد (۹). افزایش pH در دوره انبارمانی نشان دهنده آسید سرمادگی است. در این پژوهش سرمادگی در میوه‌های شاهد بیشتر از میوه‌های تیمار شده بود که می‌تواند دلیل بالاتر بودن pH باشد. افزون بر این، کاهش TA بیانگر مصرف آسیدهای آلی در اثر افزایش شدت تنفس در اثر آسید سرمایی است بنابراین، کاهش TA با افزایش pH همراه است (۲۲). در این پژوهش میوه‌های تیمار شده با متیل سالیسیلات دارای pH پایین‌تری نسبت به تیمار شاهد بود که می‌تواند به دلیل کاهش آسید سرمادگی و کاهش تنفس یاخته‌ای و در نتیجه کاهش مصرف آسیدهای آلی باشد (۱۷).

هدايت الکتریکی (EC) آب میوه زیر تاثیر تیمارها قرار نگرفت و هیچ تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (شکل ۴-د). میزان EC آب میوه زیر تاثیر زمان انبارمانی قرار گرفت و تا روز ۹۰ انبارمانی افزایش و تا پایان مرحله انبارمانی کاهش یافت. به احتمال افزایش EC عصاره میوه در دوره انبارمانی نشان دهنده نشت کاتیون‌ها از غشای سیتوپلاسمی سلول‌های بافت میوه به دلیل فرایند پیری باشد (۲).

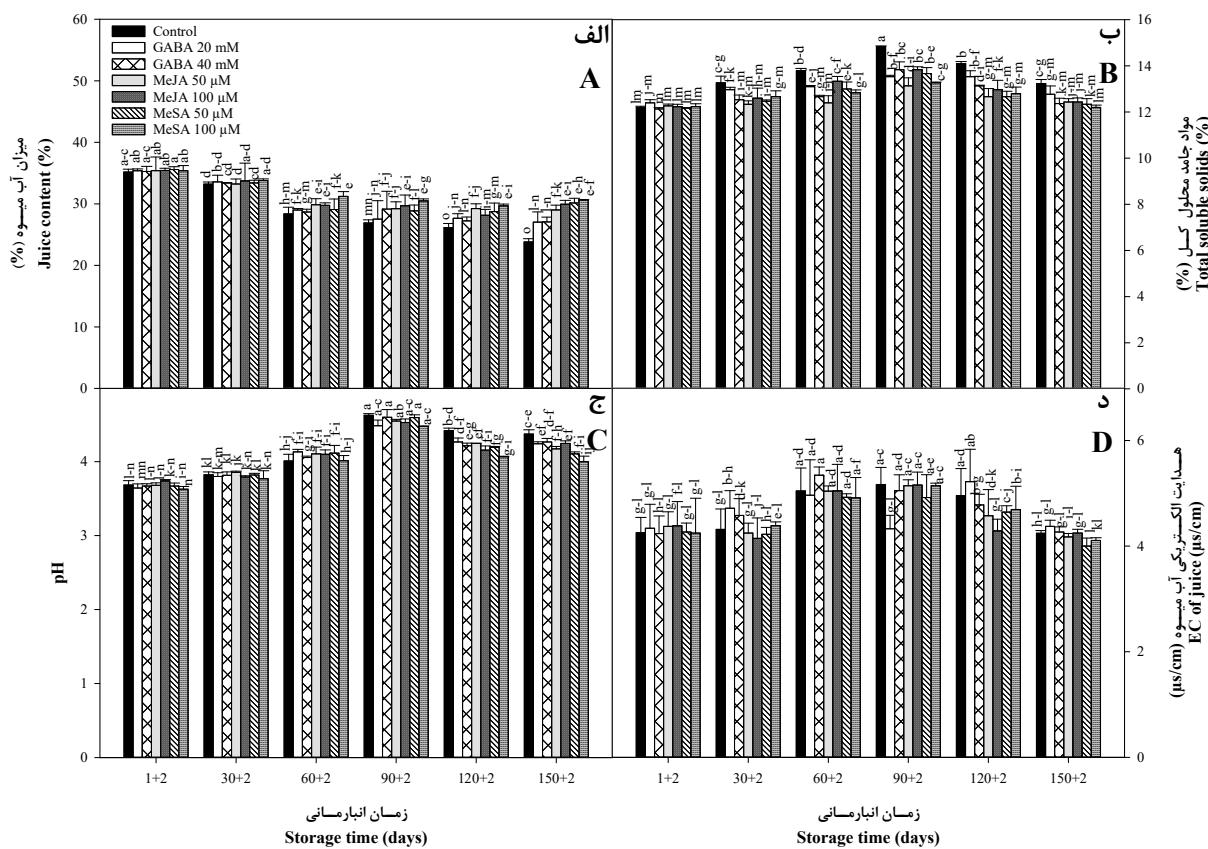


Fig. 4. Effect of treatments on juice content (A), TSS (B), pH (C) and EC (D) of 'Moro' blood orange fruit during cold storage. Vertical bars on columns represent standard errors (SE) of means. Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

شکل ۴- اثر تیمارها بر میزان آب میوه (الف)، ماده‌های جامد محلول کل (TSS) (ب)، pH (ج) و آب میوه (د) میوه پرتقال خونی رقم مورو در دوره انبارمانی. خطاهای عمودی در هر ستون نشان دهنده خطاهای استاندارد (SE) میانگین است. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف‌های مشابه هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که تیمارهای پس از برداشت به کار رفته باعث کاهش نشانه‌های سرمادگی و حفظ ویژگی‌های کیفی پوست و آب میوه شدند. در بین تیمارها، غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل‌سالیسیلات مؤثرترین تیمار در دوره انبارمانی بود. بنابراین تیمار متیل‌سالیسیلات می‌تواند به عنوان راهکاری کاربردی برای کاهش سرمادگی و حفظ ویژگی‌های پوست و آب میوه پرتقال خونی رقم مورو در دوره انبارمانی طولانی مدت مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. حبیبی، ف و ا، رمضانیان. ۱۳۹۶. تغییرهای فیزیکوشیمیایی و ترکیب‌های زیستفعال میوه پرتقال خونی رقم سانگین در دوره رسیدن. مجله علوم و فنون باگبانی ایران. ۱۸ (۴): ۳۷۶-۳۶۵.
2. Alferez, F., M. Agusti and L. Zacarias. 2003. Postharvest rind staining in Navel oranges is aggravated by changes in storage relative humidity: effect on respiration, ethylene production and water potential. Postharvest Biol. Technol. 28 (1):143-152.
3. Deewatthanawong, R., J.F. Nock and C.B. Watkins. 2010. γ -Aminobutyric acid (GABA) accumulation in four strawberry cultivars in response to elevated CO₂ storage. Postharvest Biol. Technol. 57 (2): 92-96.

منابع

4. Ding, C.K., C. Wang, K.C. Gross and D.L. Smith. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta*, 214 (6): 895-901.
5. Giménez, M.J., J.M. Valverde, D. Valero, P.J. Zapata, S. Castillo and M. Serrano. 2016. Postharvest methyl salicylate treatments delay ripening and maintain quality attributes and antioxidant compounds of 'Early Lory' sweet cherry. *Postharvest Biol. Technol.* 117: 102-109.
6. 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.
7. Huang, X., J. Li, H. Shang and X. Meng. 2015. Effect of methyl jasmonate on the anthocyanin content and antioxidant activity of blueberries during cold storage. *J. Sci. Food Agr.* 95 (2): 337-343.
8. Lado, J., M.J. Rodrigo, M. López-Climent, A. Gómez-Cadenas and L. Zacarías. 2016. Implication of the antioxidant system in chilling injury tolerance in the red peel of grapefruit. *Postharvest Biol. Technol.* 111: 214-223.
9. Marsh, K., S. Attanayake, S. Walker, A. Gunson, H. Boldingh and E. MacRae. 2004. Acidity and taste in kiwifruit. *Postharvest Biol. Technol.* 32: 159-168.
10. Molinu, M.G., A. Dore, A. Palma, S. D'Aquino, E. Azara, V. Rodov and G. D'hallewin. 2016. Effect of superatmospheric oxygen storage on the content of phytonutrients in 'Sanguinello Comune' blood orange. *Postharvest Biol. Technol.* 112: 24-30.
11. Moscoso-Ramírez, P.A. and L. Palou. 2014. Effect of ethylene degreening on the development of postharvest *Penicillium* molds and fruit quality of early season citrus fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 91: 1-8.
12. Nguyen, T.B.T., S. Ketsa, and W.G. van Doorn. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biol. Technol.* 30 (2):187-193.
13. Palma, A., S. D'Aquino, S. Vanadia, A. Angioni and M. Schirra. 2013. Cold quarantine responses of 'Tarocco' oranges to short hot water and thiabendazole postharvest dip treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 78: 24-33.
14. Ramezanian, A., R. Dadgar and F. Habibi. 2018. Postharvest attributes of 'Washington Navel' orange as affected by preharvest foliar application of calcium chloride, potassium chloride, and salicylic acid. *Int. J. Fruit Sci.* 18(1): 68-84.
15. Rapisarda, P., M.L. Bianco, P. Pannuzzo and N. Timpanaro. 2008. Effect of cold storage on vitamin C, phenolics and antioxidant activity of five orange genotypes [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. *Postharvest Biol. Technol.* 49 (3): 348-354.
16. Rapisarda, P., S.E. Bellomo and S. Intelisano. 2001. Storage temperature effects on blood orange fruit quality. *J. Agr. Food Chem.* 49 (7): 3230-3235.
17. Sayyari, M., M. Babalar, S. Kalantari, D. Martínez-Romero, F. Guillén, M. Serrano and D. Valero. 2011. Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chem.* 124 (3): 964-970.
18. Shang, H., S. Cao, Z. Yang, Y. Cai and Y. Zheng. 2011. Effect of exogenous γ -aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. *J. Agr. Food Chem.* 59(4): 1264-1268.

19. Wang, S.Y., L. Bowman, and M. Ding. 2008. Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells. *Food Chem.* 107(3): 1261-1269.
20. Wang, Y., Z. Luo, X. Huang, K. Yang, S. Gao and R. Du. 2014. Effect of exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Sci. Hort.* 168: 132-137.
21. Yang, A., S. Cao, Z. Yang, Y. Cai and Y. Zheng. 2011. γ -Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit. *Food Chem.* 129 (4): 1619-1622.
22. Zhang, C. and S. Tian. 2009. Crucial contribution of membrane lipids unsaturation to acquisition of chilling-tolerance in peach fruit stored at 0° C. *Food Chem.* 115 (2): 405-411.
23. Zheng, Y. and Q. Zhang. 2004. Effects of polyamines and salicylic acid postharvest storage of 'Ponkan' mandarin. *Acta Hort.* 632: 317-320.

Effect of Postharvest Application of γ -Aminobutyric Acid, Methyl Jasmonate and Methyl Salicylate on Chilling Injury, Peel Attributes and Fruit Juice Quality of 'Moro' Blood Orange During Cold Storage

F. Habibi, A. Ramezanian*, M. Rahemi, S. Eshghi¹

In this study, the effects of postharvest application of γ -aminobutyric acid (GABA), methyl jasmonate (MeJA) and methyl salicylate (MeSA) on chilling injury, peel attributes and fruit juice quality of 'Moro' blood orange during cold storage at 3 °C and 90% RH for 150 days was investigated. GABA treatment at concentrations of 20 and 40 mM using vacuum at 30 kPa for 8 minutes and MeJA and MeSA vapor treatments at 50 and 100 μ M separately for 18 hours were used. Sampling was carried out on 1, 30, 60, 90, 120 and 150 days of storage. Treatments reduced the chilling injury and electrolyte leakage. Control fruit had the highest index of chilling injury and electrolyte leakage at the end of the storage period. The lowest peel moisture and fruit juice and the highest total soluble solids (TSS) and pH were obtained in control fruit. MeSA treatments had the lowest a^* and the highest Hue° while the lowest lightness (L^*), b^* , Hue° and chroma were obtained in control fruit. Overall, 100 μ M MeSA was the most effective treatment for reducing chilling injury and maintaining the peel and fruit juice attributes of 'Moro' blood orange during cold storage.

Keywords: Chroma, Electrolyte leakage, Hue angle, Peel moisture, Total soluble solids.

1. Ph.D. Student, Associate Professor and Professors of Horticultural Science, Department of Horticulture,
School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
* Corresponding author, Email: (ramezanian@shirazu.ac.ir).