



مقاله علمی-پژوهشی

اثر تیمارهای پس از برداشت فنیل آلانین و سولفید هیدروژن بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه بادنجان (*Solanum melongena* L.)

رضا نجفی^۱ - طاهر برزگر^{۲*} - فرهنگ رضوی^۳ - زهرا قهرمانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

چکیده

به منظور بررسی اثر تیمارهای فنیل آلانین و سولفید هیدروژن بر عمر انبارمانی و کیفیت میوه بادنجان آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمارهای فنیل آلانین در سه غلظت (۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی مولار)، سولفید هیدروژن در سه غلظت (۱، ۲ و ۳ میلی مولار) و شاهد (تیمار آب مقطر) و فاکتور دوم طول دوره انبارمانی (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بود. میوه‌ها پس از تیمار به مدت ۷، ۱۴ و ۲۱ روز در دمای هفت درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند. نتایج نشان داد که در میوه‌های شاهد بعد از ۲۱ روز انبارمانی، محتوای کلروفیل کل کاسبرگ (۴۵/۸ درصد)، ویتامین ث (۳۴/۱ درصد)، اسیدیتیه قابل تیتراسیون (۴۴/۸ درصد)، آنتوسیانین (۶۶/۲ درصد) و سفتی بافت میوه (۲۴/۲ درصد) کاهش، و کاهش وزن میوه (۷/۵ درصد)، مواد جامد محلول کل (۸/۳ درصد) و شاخص سرمازدگی (۴/۳ درصد) افزایش یافت. نتایج نشان داد که کاربرد پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل آلانین تاثیر معنی داری بر حفظ کیفیت و عمر انبارمانی میوه داشتند. در پایان دوره انبارمانی بیشترین سفتی بافت میوه (۱/۳۷ و ۱/۳۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع)، آنتوسیانین (۵/۰۲ و ۴/۲ میلی گرم در لیتر) و اسید قابل تیتراسیون (۱۵/۶۶ و ۱۸/۶۷ درصد) و کمترین درصد کاهش وزن میوه (۳/۶۷ و ۳/۷) و شاخص سرمازدگی (۱/۶ و ۱/۳ درصد) به ترتیب در میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن ۳ میلی مولار و فنیل آلانین ۷/۵ میلی مولار بدست آمد. با توجه به نتایج، تیمار پس از برداشت فنیل آلانین و سولفید هیدروژن می‌تواند جهت بهبود خواص کیفی و عمر ماندگاری میوه بادنجان، در طول دوره انبارمانی پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، سفتی بافت، سرمازدگی، کاهش وزن، ویتامین ث

مقدمه

است (۲۹)، بنابراین انبار سرد عموماً برای حفظ کیفیت پس از برداشت میوه‌ها استفاده می‌شود، با این وجود میوه ارقام مختلف بادنجان در دماهای زیر ۱۰ درجه سانتی گراد نسبت به آسیب سرمازدگی حساس می‌باشند. آسیب سرمازدگی با علایم اصلی شامل پیری سریع، پژمردگی پوست، تغییر رنگ کاسبرگ‌ها، قهوه‌ای شدن بذرها و گوشت میوه آشکار می‌شود (۱۱). تغییر رنگ کاسبرگ‌ها و پوست میوه در طی انبارمانی، کاهش سفتی، قهوه‌ای شدن ناشی از اکسیداسیون ترکیبات فنلی باعث کاهش بازارپسندی این محصول در انبار می‌شود (۹).

همانگونه که اشاره شد محصولات باغبانی برداشت شده قابلیت فساد پذیری بالایی دارند، بنابراین به کارگیری فنون و روش‌های مناسب جهت افزایش قابلیت ماندگاری و عرضه در تمام فصول سال و صادرات ضروری است. در حال حاضر به دلیل نگرانی‌های زیاد مصرف کنندگان در مورد اثرات مواد شیمیایی باقیمانده در محصولات باغبانی، این محصولات اغلب در دماهای پایین نگهداری می‌شوند، با این حال انبارداری دمای پایین منجر به ناهنجاری فیزیولوژیکی می‌شود که به عنوان خسارت سرمازدگی به انواع محصولات گرمسیری

بادنجان با نام علمی (*Solanum melongena* L.) از خانواده سولاناسه یکی از سبزی‌های مهم اقتصادی در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان است (۳۲). میزان تولید بادنجان در ایران و کل جهان به ترتیب بالغ بر ۶۶۶۸۳۸ و ۵۴۰۷۷۲۱۰ تن است، که بر این اساس ایران پنجمین کشور تولید کننده بادنجان در سال ۲۰۱۸ شناخته شده است (۱۴). میوه بادنجان منبع مهم و غنی از ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند آنتوسیانین و اسید فنولیک است که تأثیرات مثبتی بر سلامتی انسان دارد (۱۵). از جمله مشکلات پس از برداشت بادنجان در طول دوره انبارمانی، کاهش کیفیت ظاهری، کاهش طعم و ارزش غذایی، نرم شدن و قهوه‌ای شدن بافت میوه

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیاران گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

(Email: tbarzegar@znu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.87237

شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز کاهش داد (۳). کاربرد فنیل‌آلانین در توت‌فرنگی، تولید ترکیبات معطر و آنتوسیانین را افزایش داد (۱۳). با این حال در مورد تاثیر تیمارهای پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر عمر پس از برداشت میوه بادنجان پژوهشی صورت نگرفته است، بنابراین در پژوهش حاضر، اثرات تیمارهای پی از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر حفظ کیفیت و عمر انبارمانی میوه بادنجان گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سردخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمارهای فنیل‌آلانین در سه غلظت (۲/۵، ۵ و ۷ میلی‌مولار)، سولفید هیدروژن در سه غلظت (۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و شاهد (تیمار آب مقطر) و فاکتور دوم طول دوره انبارمانی شامل (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بود. هر واحد آزمایشی شامل نه میوه بود. میوه‌های بنفش بالغ و هم اندازه بادنجان گلخانه‌ای رقم هادرین (*Solanum melongena* cv. Hadrian) در زمستان ۱۳۹۷ از گلخانه تجاری واقع در شهرستان هشتگرد از توابع استان البرز برداشت گردید. ابتدا میوه‌ها با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و پس از خشک‌شدن در غلظت‌های مختلف فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن (ساخت شرکت مرک آلمان) به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای اتاق و با استفاده از توتین ۲۰ درصد غوطه‌ور گردیدند. سپس میوه‌ها در سردخانه به مدت ۲۱ روز در دمای هفت درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند و در فاصله زمانی ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس از شروع انبارمانی، میوه‌ها برداشت گردید و صفات کمی و کیفی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت (۳).

جهت اندازه‌گیری مواد جامد محلول ابتدا عصاره میوه‌ها تهیه شد و سپس مقدار مواد جامد محلول با استفاده از رفاکتومتر دستی مدل (ATAGO Brixo-%32) بر حسب درصد بریکس قرائت شد (۲۴). برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه، از سفتی‌سنج (OSK 1618- ساخت کشور ایتالیا) با پروب هشت میلی‌متری استفاده شد و میزان سفتی بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرائت گردید (۲۴).

شاخص سرمازدگی میوه بر اساس میزان پوسیدگی و قهوه‌ای شدن سطح میوه که مهمترین علامت سرمازدگی در میوه بادنجان است ارزیابی شد. اگر روی میوه پوسیدگی و علائم قهوه‌ای شدن مشاهده نشد صفر، در صورت مشاهده علائم سطحی کمتر از ۲۵ درصد در سطح میوه نمره ۱، پوسیدگی و قهوه‌ای شدن سطحی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد در سطح میوه نمره ۲، پوسیدگی و قهوه‌ای شدن بین ۵۰ تا ۷۵ درصد در سطح میوه نمره ۳ و بیش از ۷۵ درصد پوسیدگی و

و نیمه گرمسیری معروف است که باعث کاهش چشمگیر کیفیت میوه و سبزی‌ها می‌شود (۱). گزارش شده است که سولفید هیدروژن با تنظیم جنبه‌های مرتبط با رسیدن میوه از جمله تغییر رنگ، آسیب سرما، تنفس، نرم‌شدن و پوسیدگی پس از برداشت، نقش مهمی در فیزیولوژی پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها دارد (۳۵). سولفید هیدروژن (H_2S) به‌عنوان سومین سیگنال دهنده عمده گازی بعد از اسید نیتریک و مونواکسیدکربن در نظر گرفته می‌شود (۱۰). تیمار ۱/۵ میلی‌مول بر لیتر سولفید هیدروژن سدیم بطور معنی‌داری آسیب سرمازدگی را در میوه‌های زالزالک نگهداری شده به مدت ۲۰ روز در دمای یک درجه سانتی‌گراد را کاهش داد (۲). بررسی تاثیر سولفید هیدروژن بر عمر انبارمانی میوه کیوی نشان داد که تیمار سولفید هیدروژن در غلظت‌های ۴۵ و ۹۰ میکرو مولار بر لیتر اثر قابل ملاحظه‌ای در افزایش قند محلول، ویتامین ث، میزان کلروفیل و استحکام بافت میوه داشت و همچنین تولید اتیلن را محدود کرد (۱۶). میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با سولفید هیدروژن دارای سفتی بافت میوه بیشتر، شاخص پوسیدگی و شدت تنفسی پائین‌تری نسبت به میوه‌های شاهد بودند (۲۱).

رنگ پوست میوه بادنجان یک شاخص مهم در کیفیت ظاهری میوه است که تا حدود زیادی تصمیم خرید مصرف‌کنندگان را تعیین می‌کند و تخریب رنگ مشخص میوه و سبزی‌ها یک محدودیت عمده در انبارمانی پس از برداشت محصولات است. گزارش شده است که سولفید هیدروژن توانایی زیادی در حفظ کیفیت ظاهری برخی از محصولات باغبانی دارد (۲۲).

فنیل‌آلانین با نام شیمیایی 2-Amino-3-phenylpropanoic acid یکی از ۲۰ اسید آمینه اصلی به‌شمار می‌آید که یک آلفا آمینو اسید با فرمول شیمیایی $C_9H_{11}NO_2$ می‌باشد (۳۱). اسید آمینه معطر فنیل‌آلانین در گیاهان نه تنها از اجزای ضروری برای سنتز پروتئین است، بلکه به عنوان پیش‌ساز بیوسنتزی برای تولید طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه گیاهان می‌باشد (۳۷). در سال‌های اخیر، کاربرد خارجی فنیل‌آلانین به عنوان یک روش مفید برای افزایش کیفیت مواد مغذی در میوه‌ها و سبزی‌ها با تحریک تجمع فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها با ظرفیت بالای جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن از طریق تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانوئید مورد توجه قرار گرفته است (۳۱). در طول دوره پس از برداشت محصول، تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانوئید با استفاده از فنیل‌آلانین برونزا ممکن است برای بهبود تنش سرما زدگی و پوسیدگی قارچی، به تاخیر انداختن پیری و حفظ کیفیت حسی و تغذیه‌ای میوه و سبزی‌ها بسیار مهم باشد (۲). کاربرد همزمان فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن در میوه انار رقم ملس ساوه منجر به کاهش آسیب سرمازدگی نسبت به میوه‌های شاهد شد (۲۵). کاربرد فنیل‌آلانین در غلظت پنج میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری آسیب سرمازدگی را در میوه‌های گوجه‌فرنگی نگهداری

که کمترین میزان در بازه زمانی ۲۱ روز مربوط به تیمار شاهد (یک کیلوگرم بر سانتی متر مربع) بود. در طول دوره انبارمانی تیمارهای سولفید هیدروژن و فنیل آلانین در غلظت بالاتر (به ترتیب سه و ۷/۵ میلی مولار) باعث حفظ سفتی بافت میوه بادنجان شدند (شکل ۱).

سفتی میوه بادنجان به مدت زمان نگهداری، رطوبت و دمای انبار بستگی دارد. گزارش شده است که سفتی بافت میوه بادنجان با بلوغ میوه افزایش یافت و پس از برداشت در طول دوره انبارمانی روند کاهشی پیدا کرد (۱۵). حفظ سفتی بافت و تاخیر در نرم شدن میوه ممکن است به دلیل ممانعت از هیدرولیز پکتین در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی و همچنین ممانعت از تولید اتیلن به دلیل کاهش فعالیت آنزیم سنتز اتیلن باشد (۲۷). نتایج تحقیقات نشان داد که تیمار میوه گوجه فرنگی با فنیل آلانین سفتی بافت میوه را نسبت به شاهد در پایان دوره انبارمانی حفظ کرد که ممکن است تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانویید با استفاده از فنیل آلانین خارجی و افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدان در به تاخیر انداختن پیری موثر باشد (۳). سولفید هیدروژن با کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با نرم شدن میوه مانند پلی گالاکتوروناز، پکتین می‌کند (۲۱). در پژوهشی دیگر مشخص شد میوه‌های موز تیمار شده با ۰/۵ میلی مولار سولفید هیدروژن بیشترین سفتی را نشان دادند که به علت کاهش تولید اتیلن در طی انبارمانی می‌باشد (۲۸).

درصد کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل آلانین، مدت زمان انبارمانی و همچنین اثر برهمکنش بین تیمار و مدت زمان انبارمانی بر درصد کاهش وزن میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج بیشترین درصد کاهش وزن میوه (۶ درصد) در هفت روز اول دوره انبارمانی اتفاق افتاد و با گذشت زمان انبارمانی درصد کاهش وزن میوه در تمامی تیمارها کاهش یافت در پایان دوره انبارمانی بیشترین کاهش وزن میوه در تیمار شاهد با ۷/۵ درصد مشاهده شد (شکل ۱). به‌طور کلی تیمار فنیل آلانین و سولفید هیدروژن تأثیر مثبتی بر کاهش وزن میوه بادنجان داشتند و کاهش وزن میوه را به تاخیر انداختند.

وزن میوه یکی از معیارهای مهم کیفیت میوه است که به مرور زمان با توجه به شرایط نگهداری کاهش می‌یابد. در دوره پس از برداشت دو عامل مهم باعث از دست دادن آب و کاهش وزن محصول می‌شود: اول قطع شدن رابط آبی میوه با گیاه مادری و دوم افزایش تعرق از سطح میوه که یک فرآیند فیزیولوژیکی است و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌شود (۳۶).

قهوه‌ای شدن در سطح میوه نمره ۴ داده شد (۱۲). برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون، از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد. ابتدا عصاره میوه تهیه شد و سپس با آب مقطر غلظت ۱۰ درصد آن تهیه شد. مقدار ۱۰ سی‌سی از آب میوه و ۲۰ سی‌سی آب مقطر در ارلن مایر به آن اضافه گردید و ۲ تا ۳ قطره معرف فنل فتالین به آن اضافه گردید و با استفاده از سود تیترا شد (۳۰). برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از روش یدومتريك استفاده شد (۲۴). برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل کاسبرگ میوه از روش آرنون استفاده شد (۷).

برای ارزیابی مقدار آنتوسیانین پوست میوه، پنج میلی‌لیتر آب پوست میوه به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول رویی با پنج میلی‌لیتر محلول KCl-HCl (۵۰ میلی‌لیتر از محلول ۰/۲ مولار از کلرید پتاسیم + ۹۷ میلی‌لیتر از محلول ۰/۲ مولار اسید کلریدریک به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) رقیق شد. یک میلی‌لیتر دیگر از محلول رویی با ۵ میلی‌لیتر بافر استات ۰/۲ مولار (۳۰/۵ میلی‌لیتر استیک اسید ۰/۲ مولار + ۱۹/۵ میلی‌لیتر از استات سدیم ۰/۲ مولار به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) رقیق شد و سپس جذب هر دو محلول در طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. غلظت آنتوسیانین کل، با استفاده از رابطه (۱) بر حسب میلی‌گرم سیانیدین ۳- گلوکوزید در لیتر بیان شد (۱۸).

$$(mg/L) = \left(\frac{A}{26900} \times 1000 \right) \times (445.2) \times 5 \quad \text{رابطه (1)}$$

$$A = (A520 pH1 - A700 pH1) - (A520 pH4.5 - A700 pH4.5)$$

۱۰۲ = عامل تبدیل، ۲۶۹۰۰ = ضریب مولی سیانیدین ۳- گلوکوزید، ۴۴۵/۲ = وزن مولکولی سیانیدین ۳ گلوکوزید تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

سفتی بافت میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل آلانین و برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری بر سفتی بافت میوه بادنجان داشتند (جدول ۲). در زمان شروع انبارداری میزان سفتی میوه ۲/۶۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود (جدول ۱) و با افزایش دوره انبارمانی میزان سفتی بافت میوه بادنجان کاهش یافت

جدول ۱- مقدار صفات کیفی میوه بادنجان در زمان برداشت

Table 1- Qualitative traits of eggplant fruit at harvest time

آنتوسیانین Anthocyanin (mg L ⁻¹)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	ویتامین ث Vitamin C (mg 100g ⁻¹ FW)	اسید قابل تیتراسیون TA (%)	مواد جامد محلول کل TSS (°B)	سفتی بافت میوه Firmness (kg cm ⁻²)
7.1	1.63	0.41	26.4	2.28	2.64

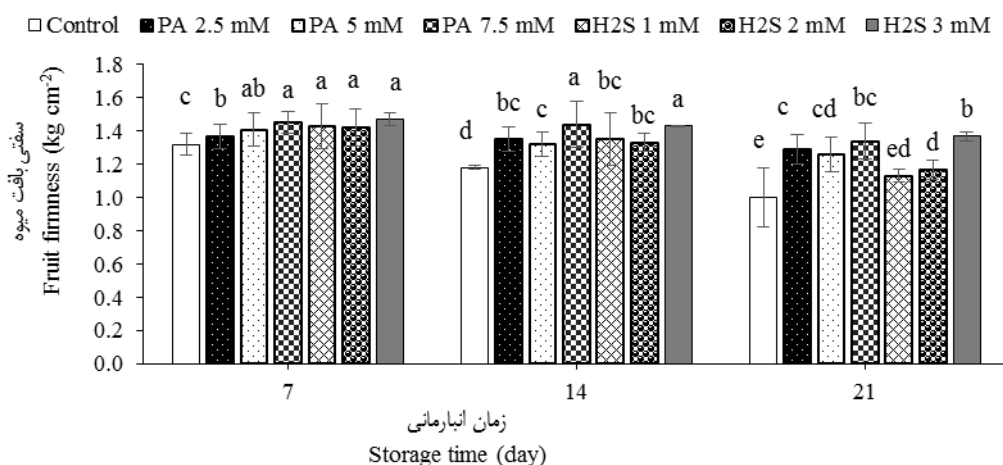
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای فنیل آلانین و سولفید هیدروژن بر صفات کیفی و عمر ماندگاری میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Table 2- ANOVA for the effect of hydrogen sulfide (H₂S) and phenylalanine (PA) treatments on quality and shelf life of eggplant fruit during storage time

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares							
		ویتامین ث Vitamin C	آنتوسیانین Anthocyanin	اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity	کلروفیل کل Total chlorophyll	مواد جامد محلول کل TSS	شاخص سرمازدگی Chilling index	سفتی بافت میوه Fruit Firmness	کاهش وزن Weight loss
تیمار Treatment	7	0.003**	1.48 ^{ns}	301.16**	2.28**	0.37*	0.01**	0.41**	5.49**
زمان انبارمانی Storage time	3	0.001**	21.18**	113.74**	0.05**	0.24*	0.09**	0.09*	19.36**
تیمار × زمان انبارمانی Treatment × storage time	21	0.003**	5.19**	29.69**	0.31**	0.23**	1.03**	0.1**	0.22**
خطا Error	42	0.01	0.69	2.91	0.008	0.09	0.01	0.03	0.09
ضریب تغییرات C.V (%)		15.8	16.6	8.7	4.07	11.1	11.19	14.4	6.8

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی داری، و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

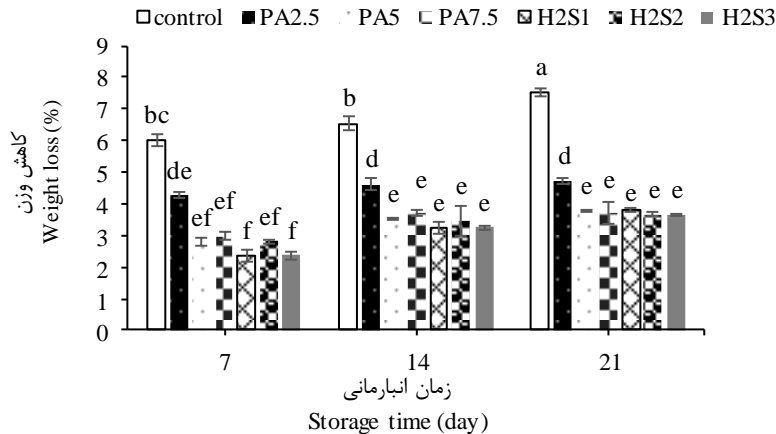


شکل ۱- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر میزان سفتی بافت میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 1- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on fruit firmness of eggplant fruit during storage (DMRT, $p \leq 0.05$)

در پس از برداشت سبزیجات به دلیل از دست رفتن آب بافت گیاه است که بزرگ و همکاران (۸) گزارش کردند میزان کاهش وزن میوه فلفل دلمه‌ای با کاهش مقدار ویتامین ث و سفتی بافت رابطه مثبتی دارد.

گزارش شد در میوه بادنجان در طی دوره انبارمانی وزن میوه کاهش یافت (۲۹). تیمار پس از برداشت میوه انار رقم ملس ساوه با فنیل آلانین و سولفید هیدروژن در طی مدت انبارمانی بر میزان کاهش وزن میوه تأثیر مثبتی داشت (۲۵). با کاربرد سولفید هیدروژن میزان کاهش وزن در کلم سفید چینی کاهش یافت (۵). کاهش وزن



شکل ۲- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر کاهش وزن میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی
 Figure 2- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on weight loss of eggplant fruit during storage time (DMRT, $p \leq 0.05$)

سولفید هیدروژن سدیم در کلم بروکلی، مقدار مواد جامد محلول بیشتری را پس از ۵ روز نگهداری در مقایسه با شاهد نشان داد (۲۶).

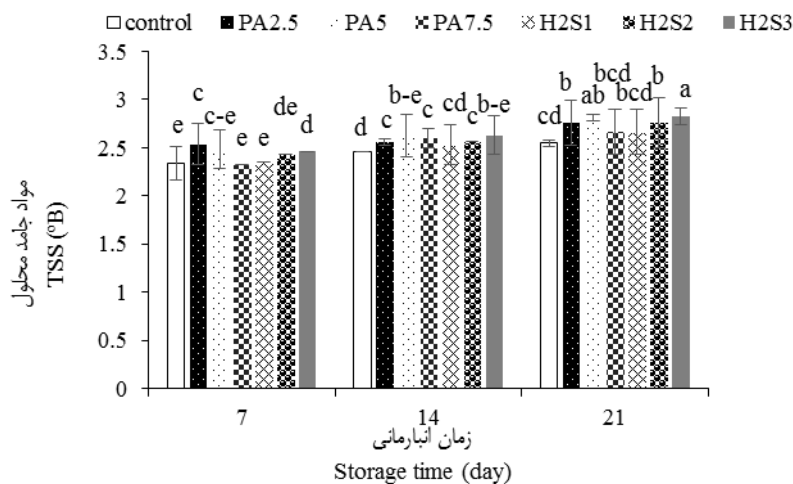
اسیدیتة قابل تیتراسیون میوه

مقدار اسیدیتة قابل تیتراسیون میوه در شروع انبارداری ۴۶/۴۱ درصد بود (جدول ۱). با توجه به نتایج میزان اسیدیتة قابل تیتراسیون در طی مدت انبارمانی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و کاربرد فنیل آلانین و سولفید هیدروژن تأثیر معنی‌داری در حفظ اسیدیتة قابل تیتراسیون میوه بخصوص در ۷ روز اول داشتند و کاهش اسیدیتة قابل تیتراسیون میوه را به تاخیر انداختند. در پایان دوره انبارمانی (روز ۲۱) بیشترین میزان اسیدیتة قابل تیتراسیون (۱۸/۶۷ درصد) در میوه‌های تیمار شده با ۷/۵ میلی‌مولار فنیل آلانین و کمترین مقدار در میوه‌های شاهد (۱۰/۲۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۳).

اسیدهای آلی به هنگام رسیدن میوه در نتیجه تنفس و نیز تبدیل شدن به قندها کاهش می‌یابند و این کاهش رابطه مستقیم با فعالیت‌های متابولیکی دارد. در واقع اسیدهای آلی به عنوان یک منبع ذخیره برای میوه عمل می‌کنند و هنگام رسیدن آن، با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند (۱۷). کاهش اسید قابل تیتراسیون در طول دوره انبارمانی در میوه فلفل دلمه‌ای گزارش شد (۸). گزارش شد که کاربرد همزمان سولفید هیدروژن و فنیل آلانین بر روی میوه انار رقم ملس ساوه باعث حفظ اسیدیتة قابل تیتراسیون میوه شد (۲۵).

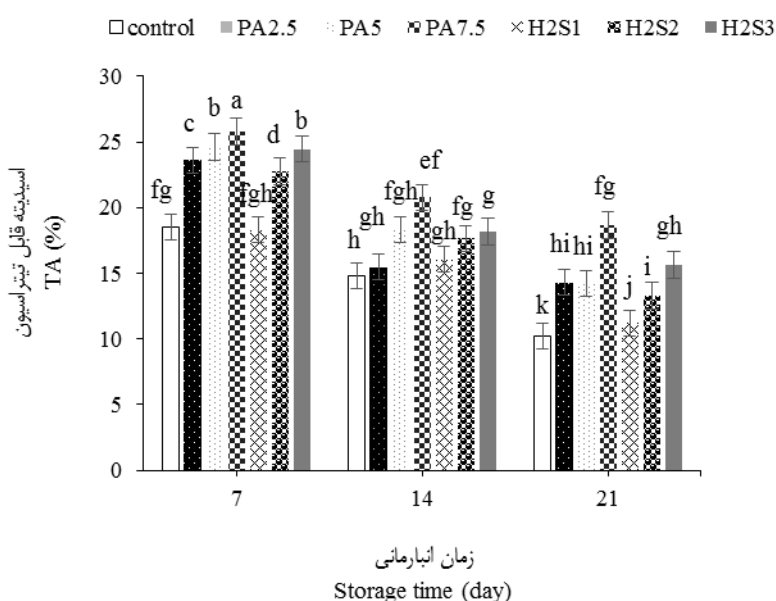
مواد جامد محلول

مقدار مواد جامد محلول میوه در زمان شروع انبارداری ۲/۲۸ درصد بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش طول دوره انبارمانی میزان مواد جامد محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و این افزایش در میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد بیشتر بود به‌طوری که در پایان دوره انبارمانی حداکثر میزان مواد جامد محلول (۲/۸۳ و ۲/۸۱ درصد) به ترتیب در تیمار ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن و ۵ میلی‌مولار فنیل آلانین مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۲). گزارش شده است که با افزایش دوره انبارمانی مقدار مواد جامد محلول در میوه فلفل دلمه‌ای افزایش یافت و افزایش غلظت مواد جامد محلول میوه با کاهش وزن تر میوه طی انبارداری مرتبط است (۸). تغییر میزان قندها در طی مدت نگهداری با هیدرولیز پلی- ساکاریدها و تغلیظ شدن عصاره میوه و همچنین کاهش آب میوه مرتبط می‌باشد (۱۹). در پژوهشی مشاهده شد که تیمار میوه‌های گوجه فرنگی با فنیل آلانین موجب حفظ مواد جامد محلول میوه در طول دوره انبارمانی شد و میزان مواد جامد محلول در طول دوره انبارمانی افزایش یافت (۸). مطالعات انجام شده نشان داد که در طول مدت زمان انبارمانی در میوه انار رقم ملس ساوه، مواد جامد محلول میوه افزایش یافت و تیمار فنیل آلانین و سولفید هیدروژن باعث حفظ مواد جامد محلول میوه شد (۲۵). کاربرد خارجی ۲/۴ میلی‌مولار



شکل ۳- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر میزان مواد جامد محلول میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 3- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on total soluble solid (TSS) of eggplant fruit during storage time (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۴- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

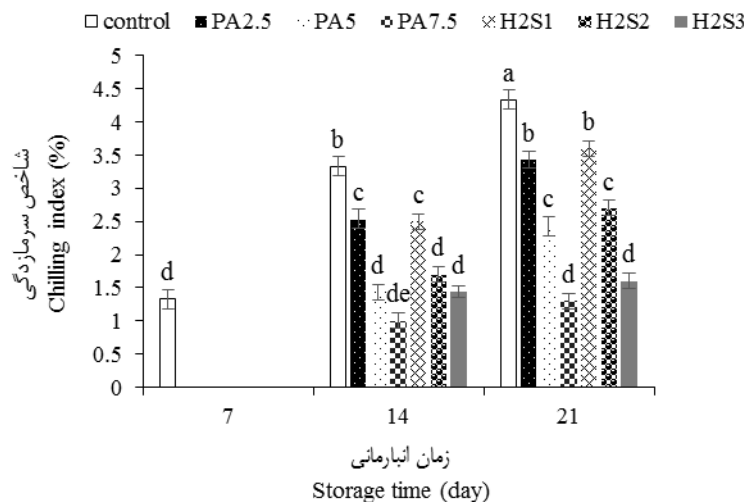
Figure 4- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on titratable acidity (TA) of eggplant fruit during storage time (DMRT, $p \leq 0.05$)

شاخص سرمزدگی (جدول ۲). نتایج نشان داد که میوه‌های شاهد دارای درصد سرمزدگی بالاتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده بودند. در روز هفتم انبارمانی هیچ علائمی از سرمزدگی در میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن و فنیل آلانین مشاهده نشد اما بعد از گذشت ۱۴ روز

شاخص سرمزدگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p \leq$ تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل آلانین، مدت زمان انبارمانی و همچنین برهمکنش بین تیمار و مدت زمان انبارمانی بر شاخص سرمزدگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p \leq$

با کاهش نفوذ پذیری غشاء و پراکسیداسیون لیپیدها، منجر به کاهش خسارت سرمازدگی میوه موز در شرایط انبار سرد شد (۶). کاربرد خارجی فنیل آلانین بطور معنی‌داری آسیب سرمازدگی را در میوه‌های گوجه‌فرنگی نگهداری شده در دمای ۴ درجه‌ساتی‌گراد به مدت ۲۸ روز کاهش داد. گزارش شد که تحمل به سرمازدگی در میوه‌های گوجه‌فرنگی با کاربرد فنیل آلانین با کاهش نشت یونی و تجمع مالین دی‌آلدئید و حفظ غشای سلولی همراه بود که به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز می‌باشد (۳).

انبارمانی، میزان سرمازدگی همه تیمارها به طور معنی‌داری افزایش یافت. در پایان دوره انبارمانی بیشترین درصد سرمازدگی در بافت میوه‌های شاهد (۴/۳۳ درصد) مشاهده شد. بررسی علائم ظاهری خسارت سرما نشان داد افزایش غلظت سولفید هیدروژن و فنیل آلانین بر تحمل به سرمای میوه‌ها تأثیر مثبتی داشت به طوری که کمترین علامت سرمازدگی در غلظت ۷/۵ میلی‌مولار فنیل آلانین (۱/۳ درصد) و ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن (۱/۶ درصد) مشاهده شد (شکل ۵). محصولات گرمسیری و نیمه گرمسیری مانند بادنجان نسبت به سرما حساس می‌باشند و نگهداری آنها در دمای پائین اغلب منجر به آسیب سرمازدگی می‌شود (۶). گزارش شده است که سولفید هیدروژن



شکل ۵- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر درصد شاخص سرمازدگی میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 5- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on chilling index of eggplant fruit during storage time (DMRT, $p \leq 0.05$)

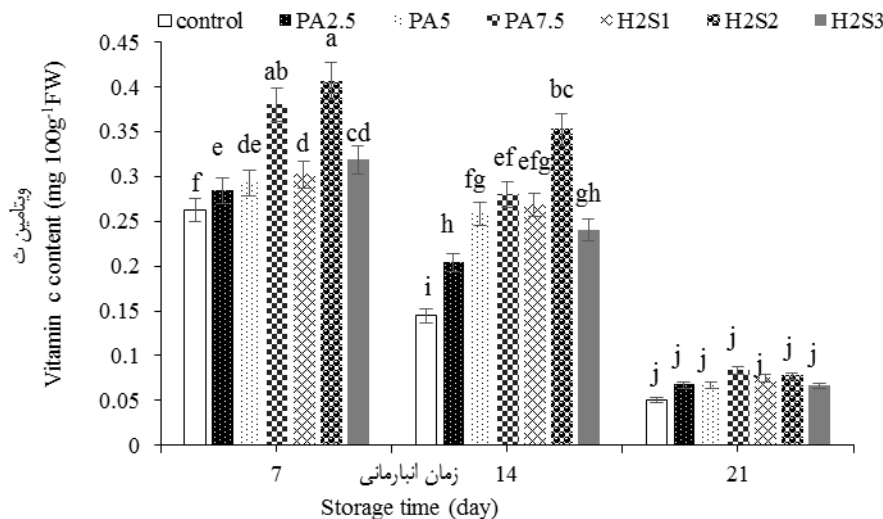
(۶). برزگر و همکاران (۸) گزارش کردند که مقدار ویتامین ث در میوه فلفل دلمه‌ای طی دوره انبارمانی بطور معنی‌داری کاهش یافت. اسید آسکوربیک یک ویتامین محلول در آب است که به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی، می‌تواند سبب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن شود و در سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن به‌ویژه پراکسید هیدروژن نقش دارد و به طور مستقیم در خنثی‌کردن رادیکال‌های سوپراکسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان ثانویه در تولید آلفا توکوفرول (ویتامین E) و سایر آنتی‌اکسیدان‌های چربی نقش ایفا کند (۳۴). محققین علت این کاهش را به اکسیدشدن اسید آسکوربیک به عنوان دهنده‌ی الکترون به اکسیدان‌ها برای خنثی کردن رادیکال‌های آزاد نسبت دادند و اسید آسکوربیک را به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مهم طبیعی در میوه‌ها معرفی کردند (۱۶). گزارش شده است که میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های سیب برش یافته در مدت سه روز انبارمانی کاهش یافت ولی در میوه‌های تیمار شده با ۰/۴

ویتامین ث

تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل آلانین تأثیر معنی‌داری، در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) بر میزان ویتامین ث در طی مدت زمان انبارمانی داشت (جدول ۲). مقدار ویتامین ث میوه بادنجان در زمان شروع انبارمانی ۰/۴۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر بود و به‌طور کلی در طول دوره انبارمانی کاهش یافت (جدول ۱ و شکل ۶). کاربرد سولفید هیدروژن و فنیل آلانین، کاهش میزان ویتامین ث را تا روز چهاردهم انبارداری به‌طور معنی‌داری به تأخیر انداختند به‌طوری که در روز چهاردهم مقدار ویتامین ث در میوه‌های شاهد ۶۵/۸ درصد کاهش یافت در صورتی که این کاهش در تیمار ۲ میلی‌مولار سولفید هیدروژن ۱۴/۶ درصد و در تیمار ۷/۵ میلی‌مولار فنیل آلانین ۳۴/۱ درصد بود. بعد از ۲۱ روز انبارمانی محتوای ویتامین ث به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافت و بین میوه‌های شاهد و تیمار شده اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل

بروکلی تیمار شده با سولفید هیدروژن پس از پنج روز نگهداری مقدار ویتامین ث بالایی را در مقایسه با شاهد نشان دادند (۲۶).

میلی مولار سولفید هیدروژن سدیم کاهش اسید آسکوربیک به تاخیر افتاد (۳۵). تیمار فنیل آلانین و سولفید هیدروژن در طی دوره انبارمانی بر روی میوه انار باعث حفظ ویتامین ث نسبت به شاهد شد (۲۵). کلم



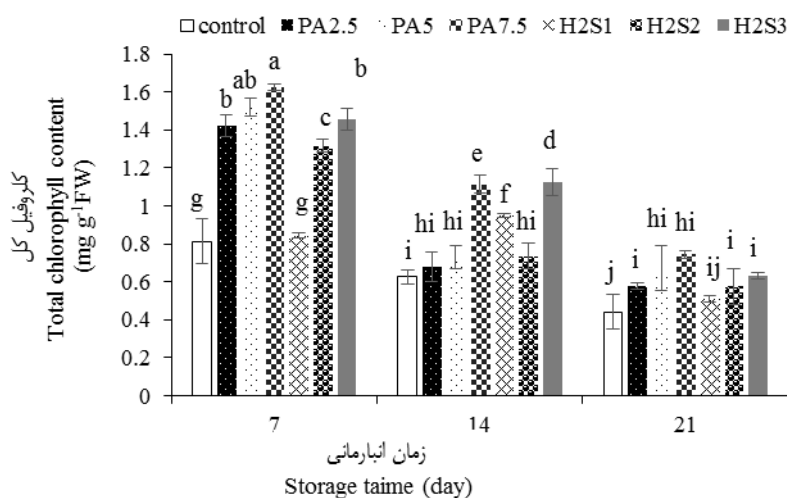
شکل ۶- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر محتوای ویتامین ث میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی
Figure 6- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on vitamin c content of eggplant fruit during storage time (DMRT, p ≤ 0.05)

کلروفیل کل کاسبرگ میوه

در طول دوره انبارمانی محتوای کلروفیل کاسبرگ میوه به طور معنی داری کاهش یافت. تیمار سولفید هیدروژن و فنیل آلانین محتوای کلروفیل کاسبرگ را تا روز هفتم بطور قابل توجهی حفظ نمودند ولی در روزهای آخر انبارداری محتوای کلروفیل به شدت در همه تیمارها کاهش یافت (شکل ۷). تغییر رنگ کاسبرگها در میوه بادنجان بخشی از فرآیند طبیعی پیری میوه است (۳۳). در طی دوره انبارداری رنگ کاسبرگهای بادنجان از سبز روشن به زرد قهوه‌ای تغییر یافت (۲۹). تأثیر تیمار سولفید هیدروژن بر عمر انبارمانی گیاه اسفناج نشان داد که سولفید هیدروژن با ممانعت از فعالیت آنزیم کلروفیلاز کاهش محتوای کلروفیل را به تأخیر انداخت و رنگ سبز برگها را برای هشت روز حفظ نمود (۲۲). گزارش شد که مقدار محتوای کلروفیل کلم بروکلی در گیاهان شاهد به تدریج در دوره انبارمانی کاهش یافت در حالی که تیمار سولفید هیدروژن مقدار محتوای کلروفیل را حفظ کرد، و سطح بالاتری از محتوای کلروفیل در اواخر دوره انبارمانی نسبت به شاهد مشاهده شد (۲۶). تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در زمان انبارمانی منجر به تخریب کلروفیل و پیری سبزی می‌شود که سولفید هیدروژن با افزایش فعالیت آنزیم‌های جاروب کننده گونه‌های فعال اکسیژن شامل کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز مانع تخریب کلروفیل می‌شود (۲۲).

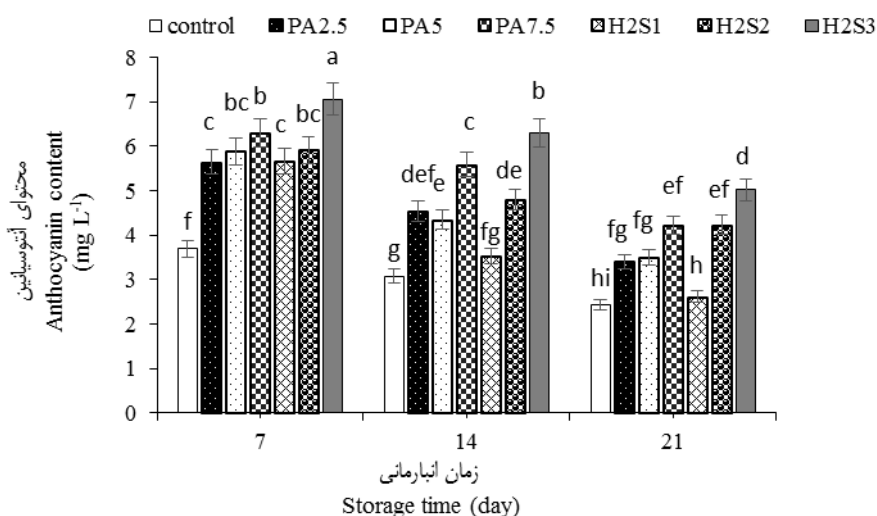
آنتوسیانین

نتایج حاصل از اندازه‌گیری آنتوسیانین پوست میوه بادنجان نشان داد که در زمان شروع انبارمانی مقدار آنتوسیانین ۷/۱ میلی گرم در لیتر بود (جدول ۱) که با افزایش طول دوره انبارمانی میزان آنتوسیانین در میوه‌های شاهد و تیمار شده کاهش یافت (شکل ۴). تیمارهای فنیل آلانین و سولفید هیدروژن مقدار آنتوسیانین پوست میوه را بخصوص در هفت روز اول انبارمانی حفظ نمود و کاهش آن را به تأخیر انداخت. در پایان دوره انبارمانی بیشترین مقدار آنتوسیانین (۵/۰۲ میلی گرم در لیتر) در تیمار سه میلی مولار سولفید هیدروژن و کمترین مقدار (۲/۴ میلی گرم در لیتر) در تیمار شاهد مشاهده شد. آنتوسیانین‌ها ترکیباتی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بسیار بالا هستند و عمدتاً در میوه‌ها و سبزی‌های قرمز یافت می‌شوند که مسئول رنگ‌های قرمز، ارغوانی، و آبی در بسیاری از گل‌ها، میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشند و در سطح بالا در پوست میوه بادنجان وجود دارد (۲۰).



شکل ۷- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر محتوای کلروفیل کل کالیکس میوه بادنجان در طول مدت زمان انبارمانی

Figure 7- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on total chlorophyll content of eggplant fruit during storage time (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۸- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H₂S) × فنیل آلانین (PA) بر محتوای آنتوسیانین پوست میوه بادنجان در طول مدت زمان انبارمانی

Figure 8- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H₂S) × phenylalanine (PA) on anthocyanin content of eggplant fruit skin during storage time (DMRT, $p \leq 0.05$)

بخصوص آنتوسیانین بسیار مهم باشد (۲). هیو و همکاران^۱ (۲۳) گزارش کردند که کاربرد سولفید هیدروژن سدیم در میوه شاه‌توت با افزایش فعالیت ال-سیستئین در سولفیداز و د-سیستئین دی سولفیداز، محتوای سولفید هیدروژن درونی را افزایش داد و در نتیجه با توقف تخریب آنتوسیانین باعث حفظ رنگ قرمز میوه به مدت شش روز شد.

طبق تحقیقات پیشین، آنتوسیانین پوست میوه بادنجان طی دوره انبارمانی کاهش معنی‌داری یافت (۳۳). در پژوهش انجام شده گزارش شد که تیمار میوه انار با فنیل آلانین و سولفید هیدروژن آنتوسیانین میوه را در طول دوره انبارمانی حفظ کرد (۲۵). در طول دوره پس از برداشت محصول، تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانویید با استفاده از فنیل آلانین خارجی ممکن است برای حفظ کیفیت سبزی‌ها

نتیجه گیری

جامد کل میوه و درصد کاهش وزن و شاخص سرمازدگی افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که تیمارهای فنیل آلانین و سولفید هیدروژن با کاهش درصد کاهش وزن و شاخص سرمازدگی میوهها موجب افزایش عمر انبارمانی میوهها شدند. بر اساس نتایج این آزمایش، کاربرد پس از برداشت ۷/۵ میلی مولار فنیل آلانین و ۳ میلی مولار سولفید هیدروژن جهت حفظ کیفیت میوه و تأخیر کاهش وزن و آسیب سرمازدگی و طولانی نمودن عمر ماندگاری میوه در طول دوره انبارمانی پیشنهاد می گردد.

بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد پس از برداشت فنیل آلانین و سولفید هیدروژن صفات کیفی میوه شامل محتوای ویتامین ث، مواد جامد محلول کل، آنتوسیانین، اسید قابل تیتراسیون و سفتی بافت میوه را حفظ نمود. مطابق نتایج با گذشت مدت زمان انبارمانی، مقدار ویتامین ث، آنتوسیانین، اسید قابل تیتراسیون، کلروفیل کل کاسبرگها و سفتی بافت میوه کاهش یافت و در مقابل محتوای مواد

منابع

- 1- Aghdam M.S., and Bodbodak S. 2013. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruit and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. *Scientia Horticulturae* 156: 73-85.
- 2- Aghdam M.S., Mahmoudi R., Razavi F., Rabiei V., and Soleimani A. 2018. Hydrogen sulfide treatment confers chilling tolerance in hawthorn fruit during cold storage by triggering endogenous H₂S accumulation, enhancing antioxidant enzymes activity and promoting phenols accumulation. *Scientia Horticulturae* 238: 264-271.
- 3- Aghdam M., Moradi M., Razavi F., and Rabiei V. 2019. Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae* 246: 818-825.
- 4- Al Ubeed H.M.S., Wills R.B.H., Bowyer M.C., Vuong Q.V., and Golding J.B. 2017. Interaction of exogenous hydrogen sulfide and ethylene on senescence of green leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 133: 81-87.
- 5- Ali S., Nawaz A., Ejaz S., S. Haider T.A., Alam M.W., and Javed H.U. 2019. Effects of hydrogen sulfide on postharvest physiology of fruits and vegetables: An overview. *Scientia Horticulturae* 243: 290-299.
- 6- Ali, S., Khan A.S., Malik A.U., Shaheen T., and Shahid M. 2018. Pre-storage methionine treatment inhibits postharvest enzymatic browning of cold stored 'Gola' litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology* 140: 100-106.
- 7- Arnon A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23(1): 112-121.
- 8- Barzegar T., Fateh M., and Razavi F. 2018. Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae* 241, 293-303.
- 9- Buyukbay E.O., Uzunoğlu M., and Bal H.S.G. 2011. Post-harvest losses in tomato and fresh bean production in Tokat province of Turkey. *Scientific Research and Essays* 6(7): 1656-1666.
- 10- Christou A., Manganaris G.A., Papadopoulos I., and Fotopoulos V. 2013. Hydrogen sulfide induces systemic tolerance to salinity and non-ionic osmotic stress in strawberry plants through modification of reactive species biosynthesis and transcriptional regulation of multiple defense pathways. *Journal of Experimental Botany* 64(7): 1953-1966.
- 11- Concellón A., Zaroa M.J., Chaves A.R., and Vicente A.R. 2012. Changes in quality and phenolic antioxidants in dark purple American eggplant (*Solanum melongena* L. cv. lucía) as affected by storage at 0 °C and 10 °C. *Postharvest Biology and Technology* 66: 35-41.
- 12- Ding C.K., Wang C., Gross K.C., and Smith D.L. 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.
- 13- Edaheiro J., Nakamura M., Seki M., and Furusaki S. 2005. Enhanced accumulation of anthocyanin in cultured strawberry cells by repetitive feeding of L-phenylalanine into the medium. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 99: 43-47.
- 14- FAO. 2018. FAOSTAT, FAO Statistical Databases <http://faostat.fao.org>.
- 15- Gajewski M., Katarzyna K., and Bajer M. 2009. The influence of postharvest storage on quality characteristics of fruit of eggplant cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 37(2): 200-205.
- 16- Gao S.P., Hu K. D., Hu L.Y., Li Y.H., Han Y., Wang H.L., Ly K., Liu Y.S., and Zhang H. 2013. Hydrogen sulfide delays postharvest senescence and plays an antioxidative role in fresh-cut kiwifruit. *HortScience* 48(11): 1385-1392.
- 17- Getenit H., Seyoum T., and Woldetsdik K. 2008. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 87: 467-498.
- 18- Giusti M. M., and Wrolstad R. E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible

- spectroscopy. *Current Protocols* 1: 1-2.
- 19- Hernandez-Munoz P., Almenar E., Del Valle V., Velez D., and Gavara R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110(2): 428-435.
 - 20- Horbowicz M., Kosson R., Grzesiuk A., and Dębski H. 2008. Anthocyanin's of fruits and vegetables their occurrence, analysis and role in human nutrition. *Vegetable Crops Research Bulletin* 68: 5-22.
 - 21- Hu L.Y., Hu S.L., Wu J., Li Y.H., Zheng J.L., Wei Z.J., Liu J., Wang H. L., Liu Y.S., and Zhang H. 2012. Hydrogen sulfide prolongs postharvest shelf life of strawberry and plays an antioxidative role in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(35): 8684-8693.
 - 22- Hu H., Liu D., Li P., and Shen W. 2015. Hydrogen sulfide delays leaf yellowing of stored water spinach (*Ipomoea aquatica*) during dark-induced senescence by delaying chlorophyll breakdown, maintaining energy status and increasing antioxidative capacity. *Postharvest Biology and Technology* 108: 8-20.
 - 23- Hu H., Shen W., and Li P. 2014. Effects of hydrogen sulphide on quality and antioxidant capacity of mulberry fruit. *International Journal of Food Science Technology* 49(2): 399-409.
 - 24- Jalili Marandi R. 2013. *Postharvest physiology (Handling and storage of fruits, vegetables and ornamental plants)* (2th ed.). Publishers Jihad Urmia University. 624 pp. (In Persian)
 - 25- Keshavarz, F. 2018. Effect of postharvest phenylalanine and hydrogen sulfide treatments on biochemical and antioxidant properties of pomegranate fruit cultivar Malas Saveh during cold storage. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran. (In Persian)
 - 26- Li S.P., Hu K.D., Hu L.Y., Li Y.H., Jiang A.M., Xiao F., Han Y., Liu Y.S., and Zhang H. 2014. Hydrogen sulfide alleviates postharvest senescence of broccoli by modulating antioxidant defense and senescence-related gene expression. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(5): 1119-1129.
 - 27- Luo Z. 2006. Extending shelf-life of persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit by hot air treatment. *European Food Research and Technology* 222(1-2): 149-154.
 - 28- Luo Z.D., Li R.D., and Mou W. 2015. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and proline content. *Scientia Horticulturae* 183: 144-151.
 - 29- Massolo J.F., Concellón A., Chaves A.R., and Vicente A.R. 2011. Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 59(1): 10-15.
 - 30- Mostofi Y., Dehestani Ardekani M., and Razavi H. 2011. The effect of chitosan on postharvest life extension and qualitative characteristics of table grape "Shahroodi". *Journal of Food Science* 8(30), 93-102. (In Persian)
 - 31- Portu J., López-Alfaro I., Gómez-Alonso S., López R., and Garde-Cerdán T. 2015. Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. *Food Chemistry* 180: 171-180.
 - 32- San José R., Plazas M., Sánchez-Mata M.C., Cámara M., and Prohens J. 2016. Diversity in composition of scarlet (*S. aethiopicum*) and gboma (*S. macrocarpon*) eggplants and of interspecific hybrids between *S. aethiopicum* and common eggplant (*S. melongena*). *Journal of Food Composition and Analysis* 45: 130-140.
 - 33- Shi J., Zuo J., Zhou F., Gao L., Wang Q., and Jiang A. 2018. Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 141: 33-38.
 - 34- Suekawa M., Fujikawa Y., Inoue A., Kondo T., Uchida E., Koizumi T., and Esaka, M. 2019. High levels of expression of multiple enzymes in the Smirnoff-Wheeler pathway are important for high accumulation of ascorbic acid in acerola fruits. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 1-4.
 - 35- Sun Y., Zhang W., Zeng T., Nie Q.X., Zhang F. Y., and Zhu L.Q. 2015. Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices by regulating phenolic metabolism. *Food Chemistry* 177: 376-381.
 - 36- Treviño Garza M. Z., García S., Del Socorro Flores González M., and Arévalo Niño K. 2015. Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Sciences* 80(8): 1823-1830.
 - 37- Tzin V., and Galili G. 2010. New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. *Mol. Plant.* 3(6): 956-972.
 - 38- Zheng J.L., Lan-Ying Hu L.Y., and Hu K.D. 2016. Hydrogen sulfide alleviates senescence of fresh-cut apple by regulating antioxidant defense system and senescence-related gene expression. *HortScience* 51(2): 152-158.



Effect of Postharvest Treatments of Phenylalanine and Hydrogen Sulfide on Maintaining Quality and Enhancing Shelf life of Eggplant (*Solanum melongena* L.)

R. Najafi¹- T. Barzegar^{2*}- F. Razavi³- Z. Ghahremani⁴

Received: 12-07-2020

Accepted: 21-09-2020

Introduction: Eggplant (*Solanum melongena* L.) is an important non-climacteric fruit grown in tropical and subtropical regions. The total production in Iran and world for eggplants in 2018 were estimated 54077210 and 666838 tons, respectively, and Iran ranked fifth in the production of this product. The health-promoting attributes of eggplant are derived from the phytochemicals with good source of antioxidants (anthocyanin and phenolic acids), dietary fiber and vitamins. Fruit deterioration during long term storage is associated with appearance quality reduction, calyx discoloration, softening and pulp browning caused by the oxidation of phenolic compounds. Hydrogen Sulfide (H₂S) is a flammable and colorless gas, that similar to carbon monoxide and nitric oxide, is known as third leading signaling molecule. It has been reported that H₂S play an imperative role in the postharvest physiology and chilling injury of various fruits and vegetables. In recent years, exogenous phenylalanine (PA) application has been employed as a beneficial procedure for enhancing quality in fruits and vegetables by promoting higher phenols and flavonoids accumulation arising from higher PAL enzyme activity and proline accumulation exhibiting higher ROS scavenging capacity. Thus, the aim of this study was to investigate the postharvest application of H₂S and PA on quality and postharvest storage of eggplant fruit during storage at 7 °C for 21 days.

Material and Methods: Eggplant fruits (*Solanum melongena* cv. Hadrian) were harvested at commercially maturity stage in Jun 2019 from a greenhouse in Hashtgerd city, Iran. Fruit selected for uniform size, shape, and color, and immediately transported to the laboratory. They were divided into seven parts for the following treatments: control (0), hydrogen Sulfide (H₂S) at 0.1, 0.2 or 0.3 mM and phenylalanine (PA) at 2.5, 5 or 7.5 mM. Each treatment was done in three replicates, consists of 24 fruits from each replicate, and then randomly divided into four groups include six fruits. One group was analyzed 24 hrs. after harvesting and another groups stored at 7 ± 1 °C and 85% RH for 21 days. At 7-day intervals, one group was taken at random and transferred for one day at 20 °C (shelf-life), and subjected to physicochemical analysis. For H₂S fumigation, fruit was placed at the bottom of a sealed 15 L container with different aqueous sodium hydrosulfide (NaHS) solution concentrations for 10 min, and for PA treatments, the fruits were immersed in 10 L of fresh phenylalanine solution for 10 min and in distilled water as a control. The fruits were allowed to completely dry at room temperature before storage.

Results and Discussion: The results showed that fruits treated by PA and H₂S exhibited higher fruit firmness, chlorophyll, anthocyanin, total soluble solids (TSS), vitamin C, pH and titratable acidity (TA) accompanied by lower weight loss and chilling indices during storage at 7 °C for 21 days. In control eggplant fruits, fruit firmness (24.2%), chlorophyll (45.8%), vitamin C (34.1 %), anthocyanin content (66.2 %) and TA (44.8) decreased, and weight loss (7.5 %), TSS (8.2%) and chilling indices (4.5 %) increased during 21 storage time. The maximum fruit firmness (1.37 and 1.34 kg cm⁻²), anthocyanin content (5.02 and 4.2 mg L⁻¹) and TA (18.67 and 1.37 %), and the lowest weight loss (3.67 and 3.7 %) and chilling index (1.6 and 1.3 %) was found in fruits treated with H₂S at 3 mM and PA at 7.5 mM during storage at 7 °C for 21 days, respectively. It has been reported that texture correlates with firmness and higher firmness is a characteristic indicator of good texture during postharvest storage of fresh products. Soluble solid contents, titratable acidity (TA) and sugars have been known as important attributes contributing in overall sensory quality of fruits and vegetables. Development of the chilling injury disorder significantly reduces quality of fruits and vegetables due to diminished consumer's acceptance. So, start of chilling injury symptoms eventually becomes economically critical postharvest constraint that defines the storage life potential of the products. Decline chilling injury in responses to H₂S and PA treatments may resulted from higher ROS scavenging enzymes SOD, CAT, APX and POD activity and

1, 2, 3 and 4- Graduated M.Sc., Associate Professor and Assistant Professors, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: tbarzegar@znu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jhort4.v34i4.87237

proline, phenols and flavonoids accumulation giving rise to conferring chilling tolerance.

Conclusion: According to results, PA at 7.5 mM and H₂S at 3 mM had the highest positive effect on maintain firmness and fruit quality and reducing weight loss and chilling, therefor postharvest treatment of PA and H₂S can be proposed to improve fruit quality and postharvest life during storage period.

Keywords: Anthocyanin, Chilling, Firmness, Vitamin C, Weight loss