

Effect of Gamma-Amino-Butyric Acid (GABA) Foliar Application on Chilling and Postharvest Quality of Tomato (cv. Newton)

Lolav Zarei¹, Mahmoud Koushesh Saba^{2*} and Yavar Vafai³

- 1- M.Sc. Graduate of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (m.saba@uok.ac.ir)
- 3- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 5 December, 2018

Accepted: 20 November, 2019

Abstract

Background and Objectives

Tomatoes are considered the favorite and most widely consumed vegetables in the world since their fruit is rich in minerals, vitamins and antioxidant compounds. Tomato fruit is harvested after physiological maturity at different color stages based on consumption type. Mature unripe tomato fruit could be stored for long time and be ripened according to market demand, but this tropical product is susceptible to low temperature, which imposes serious constraints in postharvest period and supply chains. Several techniques or chemical treatments have been used to decrease low temperature deleterious effects. Gamma-amino butyric acid (GABA), as an efficient tool, could increase plant resistance to chilling injury (CI) during postharvest life. This study was carried out to evaluate the effect of pre-harvest GABA spray on postharvest quality changes and chilling of tomato fruit during cold storage.

Materials and Methods

In this study, the effect of pre-harvest application of GABA at three concentrations (0, 5 and 10 mM) on postharvest quality and chilling of tomato cv. Newton was evaluated. The spray was carried out 2 weeks before harvest. Fruits were harvested after physiological maturity when the fruit color changed from pink to red. During storage period at 4 °C and 90-95% relative humidity, some fruit quality attributes such as weight loss, firmness, chilling injury of tomato fruit, soluble solid content (SSC), titratable acidity (TA) and fruit bioactive constituent were analyzed at days 0, 5, 10, 15 and 20.

Results

Chilling in control fruit was 25% at final assessment, while in 10 mM GABA treatment it was only 8.33% at the same time. GABA treatments decreased the rate of weight loss and retained fruit firmness during storage. Also, vitamin C and titratable acidity in GABA treatments were higher than those of untreated fruit. Fruit lycopene content increased during fruit storage in both treated and untreated fruit, but the value was greater in GABA treatments than the control. SSC increased during fruit storage, but it was greater in control than the treatments. While superoxide dismutase enzyme activity decreased in both treated and untreated fruit, the rate of decline in control fruit was greater than GABA treatments.

Discussion

Pre-harvest foliar application of GABA ameliorated chilling injury induced by cold storage, maintained quality properties of tomato fruit, and increased lycopene content. GABA treatments probably lessened deteriorate effect of low temperature through keeping fruit cell integrity and higher bioactive constituent levels.

Keywords: Bioactive compounds, Enzyme activity, Firmness, Lycopene

تأثیر محلول پاشی برگی گاما-آمینوبوتیریک اسید (GABA) بر سرمازدگی و کیفیت پس از برداشت گوجه فرنگی رقم نیوتون

لولو زارعی^۱، محمود کوشش صبا^{۲*} و یاور وفایی^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
 ۲- *نویسنده مسئول: دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (m.saba@uok.ac.ir)
 ۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴

چکیده

گوجه فرنگی یکی از سبزی‌های مورد علاقه و پرمصرف در جهان است که میوه آن سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات ضد اکسایشی می‌باشد، اما این محصول با خاستگاه گرمسیری به دمای پایین حساس است که محدودیت جدی در عرضه پس از برداشت محصول دارد. در این آزمایش اثر تیمار دو هفته قبل از برداشت اسید گاما-آمینوبوتیریک در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی مولار) بر کیفیت پس از برداشت و سرمازدگی میوه گوجه فرنگی رقم نیوتون در سال ۱۳۹۶ در دانشگاه کردستان مورد بررسی قرار گرفت. برداشت میوه بعد از مرحله بلوغ فیزیولوژیک صورت گرفت. پس از برداشت میوه، طی دوره انبارداری (در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد) در روزهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ برخی خصوصیات فیزیکی، زیست شیمیایی و صدمه سرمازدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان سرمازدگی میوه شاهد در روز آخر ۲۵ درصد مشاهده شد، در حالی که در تیمار اسید گاما-آمینوبوتیریک ۱۰ میلی مولار ۸/۳۳ درصد بود. تیمار برگی اسید گاما-آمینوبوتیریک سبب کاهش از دست دادن وزن، حفظ سفتی و همچنین، حفظ ویتامین ث و اسیدینه قابل تیتراسیون نسبت به تیمار شاهد گردید. تیمار اسید گاما-آمینوبوتیریک سبب بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش رنگیزه لیکوپن در گوجه فرنگی نسبت به میوه‌های شاهد شد و خسارت سرمازدگی را به طور قابل توجهی کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: ترکیبات زیست فعال، سفتی، فعالیت آنزیمی، لیکوپن

مقدمه

کشاورزی، نگهداری آن‌ها در دمای پایین است اما، میوه گوجه فرنگی جزء سبزیجات با منشاء گرمسیری می‌باشد و به سرما حساس است و آسیب پذیری زیادی در برابر خسارت سرمازدگی دارد (Hong and Gross, 2006). دمای مناسب نگهداری گوجه فرنگی بر اساس مرحله بلوغ، ۸ تا ۱۳ درجه سلسیوس است اما در فصل پاییز و زمستان در برخی نقاط کشور دما محیط در زمان عرضه محصول

گوجه فرنگی منبع غنی فیبر، ویتامین A، C و لیکوپن است و مطالعات نشان داده است که مصرف گوجه فرنگی سبب کاهش بیماری‌ها (بیماری‌های قلبی) و سرطان‌ها می‌شود (Sesso et al., 2003). با این حال ماندگاری پس از برداشت این محصول ارزشمند کوتاه می‌باشد. به طور عمومی یکی از راه‌های کاهش ضایعات در محصولات

ترکیباتی از جمله پلی‌آمین‌ها، گلوکاتامات، گابا، آلانین و پرولین در تحمل به تنش نقش دارند و باعث حفاظت از گیاه می‌شوند (Gupta et al., 2013). هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر محلول‌پاشی برگی گابا بر خصوصیات کیفی پس از برداشت و میزان خسارت سرمازدگی گوجه‌فرنگی رقم نیوتون در مدت انبارداری بود.

مواد و روش‌ها

اعمال تیمارها

در این آزمایش از محلول‌پاشی قبل از برداشت اسید گاما-آمینوبوتیریک در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار به همراه ۰/۵ درصد توپین-۲۰ استفاده شد. غلظت اسید گاما-آمینوبوتیریک با توجه به مطالعات قبلی انجام شده تعیین شد که بهترین نتیجه را به همراه داشتند (Aghdam et al., 2015). برای محلول‌پاشی، غلظت صفر از آب مقطر به همراه ۰/۵ درصد توپین-۲۰ استفاده شد. گیاهان گوجه‌فرنگی در مخلوطی از پرلیت، ورمی‌کولیت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱:۱ کشت شدند. تیمارها دو هفته قبل از برداشت تجاری گوجه‌فرنگی رقم نیوتون و با فاصله یک هفته از هم به صورت محلول‌پاشی برگی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه کردستان طی دو زمان در فروردین ماه ۱۳۹۵ اعمال شدند. محلول‌پاشی با استفاده از محلول‌پاش‌های دستی انجام گرفت، به گونه‌ای که تمام میوه‌ها کامل خیس شدند. به ازای هر تیمار سه تکرار و برای هر تکرار سه گلدان در نظر گرفته شد.

برداشت و انبارداری

میوه‌ها بعد از مرحله بلوغ تجاری، زمانی که رنگ پوسته بیرونی از صورتی روشن به قرمز روشن تغییر رنگ دادند برداشت شدند. نمونه‌برداری در صبح و به‌طور تصادفی از بوته‌های گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی شده با گابا صورت گرفت. میوه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شده و میوه‌های سالم و عاری از علائم آفت و بیماری جدا شده و در سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد به مدت ۲۰ روز

پایین‌تر از این مقدار می‌باشد که منجر به سرمازدگی محصول می‌شود. گوجه‌فرنگی‌های سرمازده علائمی از جمله ظاهر شدن نقاط آبکی در سطح پوست میوه، حفره‌دار شدن سطح، توسعه رشد قارچ‌ها در سطوح آسیب دیده و از دست دادن توانایی برای ایجاد رنگ کامل را نشان می‌دهند که منجر به پایین آمدن محسوس کیفیت آن‌ها می‌شود (Wang, 1993). خسارت سرمایی در محصولات باغی منجر به بروز ویژگی‌های نامطلوب از جمله رسیدن غیرطبیعی و قهوه‌ای شدن، می‌شود، در نتیجه اثرات منفی زیادی بر بازارپسندی محصولات داشته و باعث زیان بزرگ اقتصادی می‌شود. استفاده از برخی تیمارهای قبل و پس از برداشت مانند تیمار گرمایی (Mirdehghan et al., 2007)، اسید سالیسیلیک (Sayyari et al., 2009)، پلی‌آمین‌ها (Koushesh Saba et al., 2012)، سدیم نیتروپروساید (Martinez-Garcia et al., 2013) و متیل جاسمونات (Ding et al., 2002) سبب حفظ کیفیت محصولات باغبانی و کاهش خسارت سرمازدگی در آن‌ها در مدت انبارداری در دمای پایین شده است.

اسید گاما-آمینوبوتیریک (Gamma-aminobutyric acid (GABA)) یک آمینواسید چهار کربنه غیر پروتئینی است که در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها وجود دارد. در گیاهان، چند نقش پیام‌رسانی از جمله دخالت در تنظیم pH ذخیره‌سازی نیتروژن، رشد گیاه و دفاع در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، تنش اکسایشی، شوری و تنش سرمایی به اسید گاما-آمینوبوتیریک (گابا) نسبت داده شده است (Shelp et al., 2012). در مدت انبارداری میوه موز در ۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ روز، تیمار برون‌زاد گابا با افزایش میزان مالون دی‌آلدهید و کاهش نش‌یونی در پوست میوه موز، سبب کاهش علائم خسارت سرمازدگی و تغییر رنگ شد (Wang et al., 2014). تیمار خارجی گابا آسیب سرمایی در میوه هلو (*Prunus persica*) را توسط القای تجمع پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی کاهش داد (Shang et al., 2011; Yang et al., 2011).

خسارت سرمازدگی = (صفر × تعداد میوه بدون عارضه) + (۱ × تعداد میوه با عارضه کم) + (۲ × تعداد میوه با عارضه متوسط) + (۳ × تعداد میوه با عارضه شدید) + (۴ × تعداد میوه با عارضه خیلی شدید) / (۵ × تعداد کل میوه)

اندازه‌گیری رنگیزه لیکوپن

محتوای لیکوپن با استفاده از روش Davies (1965) اندازه‌گیری شد. مقدار ۰/۵ گرم از بافت میوه با اضافه کردن ۴ میلی لیتر هگزان از پیش سردشده ساییده شد. محلول به دست آمده در ۶۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ (Hermle Z206A, Germany) شد. مقدار جذب در طول موج ۴۷۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر جذب در طول موج ۴۷۳ (Analytik JENA, Germany) قرائت شد و غلظت لیکوپن ($\mu\text{g.g}^{-1}$ وزن بافت) با استفاده از ضریب مخصوص (ϵ)^(۱) ۳۴۵۰ محاسبه شد.

محتوی لیکوپن = $(M \times 100^{\epsilon}) / (A_{473} \times V \times 10^6)$
در فرمول بالا V حجم کل محلول (۴ میلی لیتر)، M وزن نمونه (۰/۵ گرم) و A_{473} مقدار جذب در طول موج ۴۷۳ است.

اندازه‌گیری مواد جامد قابل حل

برای اندازه‌گیری مقدار مواد جامد قابل حل کل، یک یا دو قطره از آب میوه صاف شده روی دستگاه رفرکتومتر مدل (Atago ATC, Japan) قرار داده شد و مقدار آن قرائت و به صورت درجه بریکس بیان گردید.

اسیدیته قابل تیتراسیون

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون ابتدا ۳ میلی لیتر از آب میوه با ۲۷ میلی لیتر آب مقطر رقیق گردید و با سود ۰/۱ نرمال عمل تیتراسیون تا رسیدن به $\text{pH} = 8/2$ انجام شد و حجم سود مصرفی یادداشت گردید و نتایج به صورت درصد اسید سیتریک بیان گردید (Koushesh Saba and Moradi, 2016).

اسیدیته قابل تیتراسیون = $(0/1 \times \text{سود مصرفی} \times \text{میلی لیتری})$
والان اسید غالب) / حجم آب میوه مصرفی $\times 100$

نگهداری شدند. نمونه برداری در زمان برداشت و نیز طی نگهداری در سردخانه با فاصله ۵ روز یک بار صورت گرفته و پس از ۲۴ ساعت خروج از سردخانه و قرار گرفتن در دمای ۲۴ درجه سلسیوس برخی صفات به شرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای هر تیمار ۳ تکرار و هر تکرار ۵ میوه در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری کاهش وزن

برای اندازه‌گیری کاهش وزن میوه‌ها بلافاصله بعد از برداشت وزن آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. تغییرات وزن این میوه‌ها با فاصله زمانی ۵ روز یک بار در مدت دوره نگهداری در سردخانه اندازه‌گیری و در نهایت درصد کاهش وزن میوه‌ها با فرمول زیر محاسبه شد (Koushesh Saba and Moradi, 2016).

درصد کاهش وزن = (وزن اولیه - وزن ثانویه) / وزن اولیه $\times 100$

سفتی بافت میوه

جهت اندازه‌گیری سفتی گوشت میوه از دستگاه بافت سنج سنتم ساخت ایران (STM-1) با پروب ۸ میلی متر و سرعت ۲۰ متر بر ثانیه استفاده شد. به این منظور پوست میوه در دو قسمت مقابل هم جدا شده و سفتی میوه اندازه‌گیری و میانگین دو قرائت به صورت نیوتن بیان گردید.

اندازه‌گیری میزان خسارت سرمازدگی

برای اندازه‌گیری خسارت سرمازدگی گوجه‌فرنگی علایم خسارت (فرورفتگی، نقاط آب‌گرفته، پوسیدگی و ظهور کلونی‌های قارچی) به صورت چشمی مورد ارزیابی قرار گرفت. خسارت سرمازدگی در ۵ سطح جداگانه به صورت زیر ثبت شد: صفر - فاقد علائم سرمازدگی، ۱ - خسارت کم (مقدار کمی فرورفتگی)، ۲ - خسارت متوسط (فرورفتگی تا ۵ درصد سطح میوه)، ۳ - خسارت شدید (فرورفتگی ۲۵-۵ درصد سطح میوه و ۴ - خسارت خیلی شدید (فرورفتگی بیش از ۲۵ درصد سطح میوه) بودند. جهت ارزیابی از فرمول زیر استفاده شد:

اندازه‌گیری ویتامین ث

برای اندازه‌گیری ویتامین ث از روش تیتراسیون استفاده شد. به این صورت که ۲ میلی‌لیتر از آب میوه صاف‌شده را با ۲ میلی‌لیتر از محلول پایدارکننده تری‌کلرواستیک اسید (۵ درصد) مخلوط کرده و سپس به وسیله معرف ۲ و ۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل (2,6-dichlorophenolindophenol) و با استفاده از همزن مغناطیسی عمل تیتراسیون، تا زمان تغییر رنگ پایدار به بنفش ادامه یافت و بر اساس حجم ایندوفنل مصرفی، میزان ویتامین ث اندازه‌گیری شد و نتایج به صورت میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر بیان گردید (AOAC, 2000).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز

سنجش آنزیم پراکسیداز با روش Zarei et al. (2018) صورت گرفت. منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت‌شده و در نهایت فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب میکرومول پراکسیدهیدروژن تجزیه‌شده در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از روش Zarei et al. (2018) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش یک نمونه شاهد مورد استفاده قرار گرفت که بدون عصاره آنزیمی بود. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برحسب واحد در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد.

به منظور سنجش غلظت پروتئین محلول کل از روش Bradford (1976) استفاده شد. مبنای این روش بر اساس اتصال رنگ کوماکسی بریانت بلو G250 موجود در معرف اسیدی به مولکول پروتئین است.

واکاوی داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو عامل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل ۵ میوه در هر ظرف صورت گرفت که عامل اول تیمار گابا در سه سطح

(صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) و عامل دوم زمان نگهداری در سردخانه (شامل: صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز) بود. واکاوی داده‌ها با نرم‌افزار MSTAT-C، مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵/۱۰ و ۱ درصد (LSD) صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Sigma Plot استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد کاهش وزن

کاهش وزن در مدت زمان انبارداری در هر دو تیمار شاهد و گابا افزایش یافت اما این افزایش به صورت معنی‌داری در نمونه‌های شاهد بیش‌تر بود. تیمار گابا در هر دو غلظت میزان کاهش وزن کمتری نشان داد و کم‌ترین درصد کاهش وزن (۱/۳۸ درصد) مربوط به تیمار ۱۰ میلی‌مولار گابا بود (شکل ۱A). از دست دادن رطوبت کیفیت ظاهری میوه را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش بازار پسندی محصول می‌شود (Chien et al., 2005). کاهش وزن نمونه‌ها در مدت انبارداری به دلیل اختلاف فشار بخار آب، میان نمونه‌ها با محیط در برگیرنده آن‌ها صورت می‌گیرد که موجب خروج آب میان‌بافتی به فضای اطراف نمونه می‌گردد. از طرف دیگر در اثر فرآیند تنفس مواد ذخیره‌ای درون بافت میوه‌های انبارشده مورد سوخت و ساز قرار می‌گیرد تا بتواند انرژی موردنیاز خود را تأمین نماید. در نتیجه کاهش وزن نمونه به دلیل آب از دست‌دهی و کاهش مواد ذخیره‌ای طی فرآیند تنفس می‌باشد (Wills and Ku, 2002). گزارش شده است که مدت انبارداری، دمای انبار و تیمار، اثرات چشم‌گیری بر کاهش وزن دارند (Kumar et al., 1999). کاهش وزن در گوجه‌فرنگی نگهداری‌شده در دماهای زیر ۱۰ درجه سلسیوس به مدت حدود یک ماه قبلاً نیز گزارش شده است (Pinheiro et al., 2013). تیمار گابا احتمالاً با کاهش تنفس و تعرق سبب حفظ وزن بافت میوه نسبت به شاهد شده است.

سفتی بافت میوه

سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی در مدت زمان انبارداری

گابا در کاهش سرمازدگی کاملاً مشخص نیست، اما تجمع پرولین در شرایط تنش از جمله تنش دمای پایین مشاهده شده است (Verbruggen and Hermans, 2008). در هلو تیمار شده با گابا، کاهش خسارت سرمازدگی با افزایش تجمع پرولین گزارش شده است (Shang et al., 2011). گابا در محصولات باغبانی به عنوان یک کنترل کننده سرمازدگی عمل کرده است و کاربرد برون زاد آن باعث افزایش مقاومت به سرمازدگی پس از برداشت در موز (Wang et al., 2014)، هلو (Shang et al., 2011) و گل بریده آنتوریوم (Yang et al., 2011) شده است. تیمار میوه هلو با ۵ میلی مولار گابا به مدت ۱۰ دقیقه سرمازدگی را کاهش داد که همراه با فعالیت بالای آنزیم های ضد اکسایشی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتینون پراکسیداز و مونودی هیدروآسکوربات ردوکتاز بوده است (Yang et al., 2011). گزارش شده است که تیمار گابا سبب کاهش خسارت سرمازدگی میوه خیار در ۱ درجه سلسیوس همراه با افزایش محتوای پرولین، گابای درونی و بهبود فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز شده است (Malekzade et al., 2017). بنابراین حفظ پایداری غشاء و کاهش خسارت سرمازدگی در گوجه فرنگی های تیمار شده با گابا قبل از برداشت در مدت نگهداری در دمای پایین می تواند به دلیل بهبود سیستم ضد اکسایشی و افزایش فعالیت آنزیم های ضد اکسایشی باشد.

میزان رنگیزه لیکوپن

میزان رنگیزه لیکوپن میوه گوجه فرنگی در مدت زمان انبارداری در هر دو تیمار شاهد و گابا افزایش یافت اما این افزایش در نمونه های تیمار شده با گابا بیش تر بود طوری که بیشترین افزایش لیکوپن طی روز ۵ تا ۱۰ نگهداری تحت تیمار ۵ میلی مولار گابا اتفاق افتاد (افزایش از ۳۱/۰۵ تا ۳۸/۲۷ میکروگرم بر گرم وزن تر). در هر دو غلظت تیمار گابا میزان لیکوپن نسبت به نمونه های شاهد بیش تر افزایش یافت و بین تیمارهای گابا تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲B).

در هر دو تیمار شاهد و گابا کاهش یافت اما این کاهش به صورت معنی داری در نمونه های شاهد بیش تر بود. پس از ۲۰ روز نگهداری سفتی بافت میوه های گوجه فرنگی شاهد ۳/۰۲ نیوتن و سفتی بافت میوه های گوجه فرنگی تیمار شده با ۱۰ میلی مولار گابا به طور میانگین ۳/۸۰ نیوتن بود (شکل ۲B). طبق گزارش های قبلی سفتی گوشت میوه بستگی به ترکیبات پکتین میوه، میزان تعرق، تنفس و فشار تورژسانس دارد (Billy et al., 2008). سفتی بافت میوه یکی از شاخص های مهم کیفیت و انبارداری میوه گوجه فرنگی است. هر مقدار که سفتی بافت میوه بیش تر باشد، میوه از قدرت نگهداری بهتر و ضایعات کم تری برخوردار خواهد بود. بخش خوراکی اغلب میوه ها بیش تر شامل پارانشیم و دیواره سلول است. دیواره سلول از ترکیبات مختلفی تشکیل یافته که مهم ترین آن ها سلولز، همی سلولز، لیگنین و ترکیبات پکتیکی است. رسیدن میوه که در واقع آغاز مرحله پیری است، باعث تجزیه دیواره سلول شده و آن را نرم می سازد. در این آزمایش تیمار گابا سبب حفظ سفتی میوه گوجه فرنگی نسبت به شاهد شده است که دلیل آن احتمالاً می تواند کاهش پوسیدگی میوه، کنترل وزن و خروج رطوبت و در نتیجه کاهش تنش وارد شده به میوه و کاهش آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی باشد.

میزان خسارت سرمازدگی

علائم سرمازدگی در گوجه فرنگی بعد از ۵ روز نگهداری در سردخانه ظاهر شدند. میزان خسارت سرمازدگی میوه گوجه فرنگی در مدت زمان انبارداری در هر دو تیمار شاهد و گابا افزایش یافت اما این افزایش به طور معنی داری در نمونه های شاهد (حدود ۲۵ درصد خسارت سرمازدگی) بیش تر بود. در هر دو غلظت تیمار گابا میزان افزایش سرمازدگی نسبت به نمونه های شاهد پایین بود و بین تیمارهای گابا تیمار ۱۰ میلی مولار با حدود ۸/۳۳ درصد، منجر به کم ترین میزان خسارت سرمازدگی شد (شکل ۲A). تیمار برون زاد گابا در موز نیز باعث کاهش خسارت سرمازدگی نسبت به شاهد گردیده است (Wang et al., 2014). مکانیسم کاربرد تیمار برون زاد

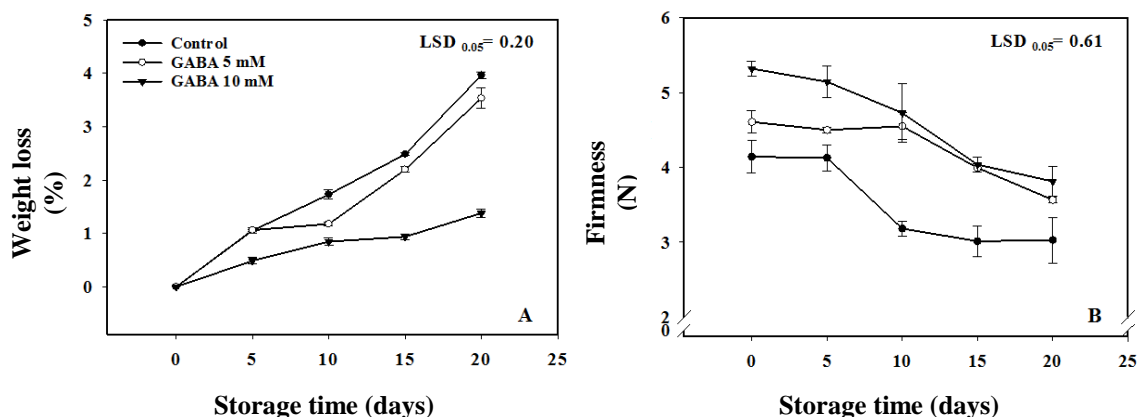


Figure 1. Change in weight loss (A) and firmness (B) in tomato fruit treated with 0, 5 or 10 mM gamma -Aminobutyric acid (GABA) and stored at 4 °C. Vertical bars represent the standard errors of the means

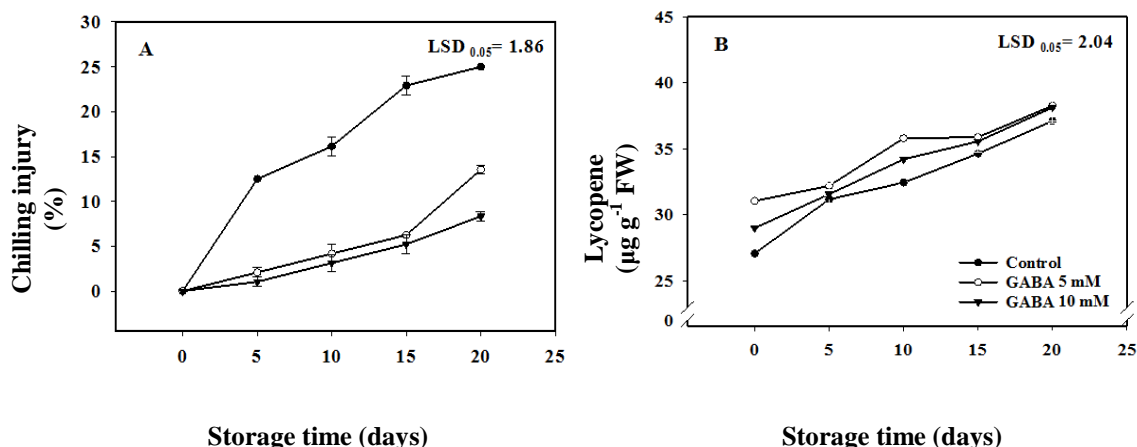


Figure 2. Change in chilling injury (A) and lycopene (B) in tomato fruit treated with 0, 5 or 10 mM GABA and stored at 4 °C. Vertical bars represent the standard errors of the means

شده است (Fagundes et al., 2015). در آزمایش حاضر، در تیمار گابا میزان لیکوپن نسبت به تیمار شاهد بیش تر بود، به نظر می‌رسد گابا سبب افزایش رنگیزه بتا-کاروتن و کاروتنوئیدها و در نتیجه سنتز لیکوپن شده است.

محتوای مواد جامد قابل حل

مواد جامد قابل حل میوه گوجه‌فرنگی در مدت زمان انبارداری در هر دو تیمار شاهد و گابا بیشتر بود، اما این افزایش به صورت معنی‌داری در نمونه‌های شاهد بیش تر بود. در هر دو غلظت تیمار گابا میزان افزایش مواد جامد قابل حل نسبت به نمونه‌های شاهد پایین بود و کم‌ترین میزان مواد جامد قابل حل (۳/۴ بریکس) در تیمار ۱۰ میلی‌مولار

رنگیزه‌های گوجه‌فرنگی به‌طور عمده شامل رنگیزه‌های سبز کلروفیل a و b، رنگیزه زرد بتا-کاروتن و رنگیزه قرمز لیکوپن می‌باشند که در طول رسیدگی گوجه‌فرنگی تولید می‌شوند (Friedman and Levin, 1998). لیکوپن در طول نمو میوه به وسیله آنزیم سسکویی سیکلاز به بتا-کاروتن تبدیل می‌شود، با رسیدن میوه گوجه‌فرنگی سطوح سسکویی سیکلاز کاهش می‌یابد که منجر به تجمع لیکوپن می‌شود و رنگ میوه قرمز می‌شود (Srivastava and Handa, 2005). در همین راستا، افزایش محتوای لیکوپن در مدت زمان انبارداری در ۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۵ روز در گوجه‌فرنگی مشاهده

شدن اسیدهای آلی به قند، از میزان آن‌ها در عصاره میوه کاسته می‌شود (Meng et al., 2008). میزان اسیدهای آلی به دلیل عدم مصرف و یا عدم تبدیل به قندهای ساده در میوه گوجه‌فرنگی تیمارشده با گابا حفظ شده و سیر نزولی آن نسبت به شاهد کم‌تر بود. به نظر می‌رسد گابا از طریق کند کردن فرآیند مرتبط با رسیدن میوه باعث کاهش مناسب سرعت کم شدن اسیدهای آلی شده است.

میزان ویتامین ث

میزان ویتامین ث میوه گوجه‌فرنگی در مدت زمان انبارداری در هر دو تیمار شاهد و گابا کاهش یافت اما این کاهش به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های شاهد بیش‌تر بود. پس از ۲۰ روز نگهداری میوه‌ها در انبار میزان ویتامین ث در میوه‌های تیمارشده با ۱۰ میلی‌مولار گابا ۱۷/۶۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه و در میوه‌های شاهد ۱۷/۱۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بود (شکل ۴). کاهش ویتامین ث باعث کاهش کیفیت خوراکی و افزایش حساسیت به نابسامانی‌های فیزیولوژیکی مختلف در مدت نگهداری در انبار می‌شود (Jung and Watkins, 2008). گوجه‌فرنگی منبع مهم ویتامین ث است که مقدار آن بین ۱۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم متفاوت می‌باشد، این ویتامین در مدت نگهداری یا رسیدگی میوه بر اثر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و آسکوربات اکسیداز تجزیه‌شده و میزان آن کاهش می‌یابد (Mazaheri Tehrani, et al., 2007). محصولات حساس به سرمازدگی طی دوره انبارداری، کاهش بیش‌تری در مقدار ویتامین ث در دماهای پایین نشان می‌دهند و کاهش در مقدار ویتامین ث می‌تواند قبل از بروز هر گونه علائم ظاهری رخ دهد (Seung and Kader, 2000). به نظر می‌رسد گابا از طریق کاهش تنفس همچنین، کاهش میزان اکسیژن از خود اکسایشی ویتامین ث جلوگیری کرده و میزان تخریب آن را کاهش داده است، لذا میزان ویتامین ث در تیمار گابا در سطح مطلوب‌تری نسبت به شاهد حفظ شده است.

گابا طی روز اول انبارداری ثبت شد (شکل ۳A). کیفیت داخلی میوه توسط بافت و محتوای قند، اسیدهای آلی و ویتامین ث که به‌طور قابل توجهی تعیین‌کننده طعم و ارزش غذایی میوه است مشخص می‌شود. گزارش شده است که مواد جامد قابل حل در مدت انبارداری افزایش می‌یابد که این افزایش مواد جامد قابل حل می‌تواند به دلیل تبدیل نشاسته به قند و یا هیدرولیز پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی نسبت داده شود (Koushesh Saba and Moradi, 2016). تغییر طعم در میوه رسیده به دلیل افزایش قند است که از کربوهیدرات ذخیره‌شده (نشاسته) ساخته می‌شود. هنگام رسیدن میوه تقریباً تمام نشاسته تبدیل به قند می‌شود. تجزیه نشاسته توسط آنزیم‌های فسفوریلاز و یا آمیلاز انجام می‌گیرد (Javanmardi and Kubota, 2006). در تیمار گابا میزان افزایش مواد جامد قابل حل نسبت به شاهد کم‌تر بود. احتمالاً گاما-آمینوبوتیریک از طریق کند کردن فرآیند تنفس و کاهش تبدیل نشاسته به قندهای ساده از افزایش بیش‌تر مواد جامد قابل حل نسبت به شاهد جلوگیری کرده است.

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون

میزان اسیدیته میوه گوجه‌فرنگی در مدت زمان انبارداری در هر دو تیمار شاهد و گابا کاهش یافت اما این کاهش به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های شاهد بیش‌تر بود. کمترین درصد کاهش اسیدیته مربوط به میوه‌های تیمارشده با گابا ۱۰ میلی‌مولار و بیشترین کاهش وزن مربوط به تیمار شاهد که به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۵۳ درصد پس از ۲۰ روز نگهداری بودند. در هر دو غلظت تیمار گابا میزان کاهش اسیدیته نسبت به نمونه‌های شاهد پایین بود و بین تیمارهای گابا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳B). مطابق نظر (Sadler (1998 and Murphy and Murphy غلظت اسیدهای آلی در دوره پس از برداشت به دلیل استفاده آن‌ها به‌عنوان پیش‌ماده در تنفس یا تبدیل آن‌ها به قندها کاهش می‌یابد. در هنگام بلوغ و رسیدن در اثر افزایش شدت تنفس و یا تبدیل

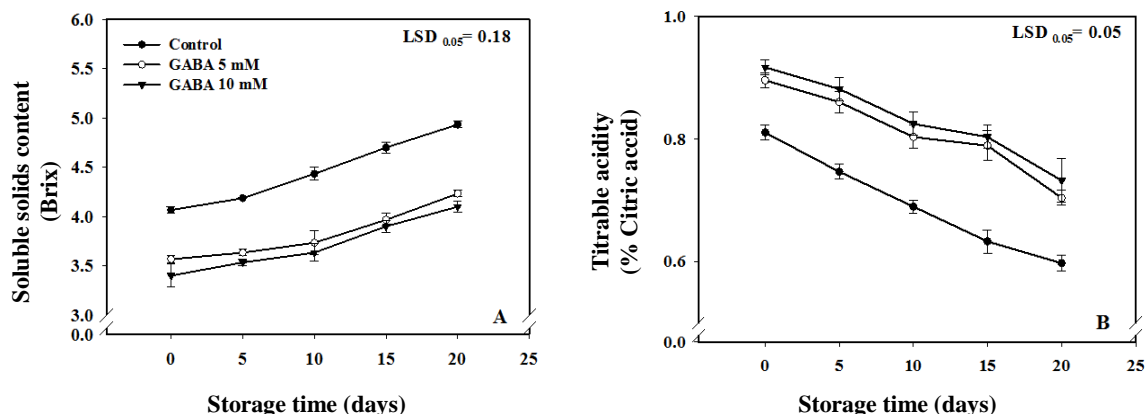


Figure 3. Change in soluble solids content (A) and titrable acidity (B) in tomato fruit treated with 0, 5 or 10 mM GABA and stored at 4 °C. Vertical bars represent the standard errors of the means

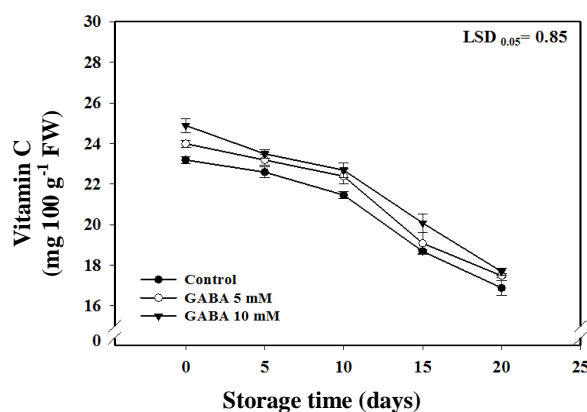


Figure 4. Change in vitamin C content in tomato fruit treated with 0, 5 or 10 mM GABA and stored at 4 °C. Vertical bars represent the standard errors of the means

تا جایی که بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز (۱/۱۰) واحد به ازای میلی گرم پروتئین) در انتهای دوره انبارداری میوه‌های تیمار شده با ۱۰ میلی مولار گابا مشاهده شد (شکل ۵B).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین سد دفاعی سلول در مقابل رادیکال‌های آزاد است و فعالیت بیش‌تر آن در میوه تا حد معینی موجب مقاومت بالاتر نسبت به تنش و در نتیجه افزایش عمر تجاری محصول می‌شود (Mondal et al., 2004). فعالیت بالای سوپراکسید دیسموتاز با تحمل به تنش در گیاهان مرتبط است، زیرا باعث خنثی شدن واکنش‌پذیری رادیکال‌های سوپراکسید تحت شرایط تنش می‌شود (Bowler et al., 1992). افزایش فعالیت پراکسیداز و کاهش فعالیت

میزان فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی

میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز میوه گوجه‌فرنگی در مدت زمان انبارداری روند کاهشی داشت، که این کاهش به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های شاهد نسبت به تیمار گابا بیش‌تر بود و در بین تیمارهای گابا کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ۱۰ میلی مولار گابا کم‌تر بود به گونه‌ای که طی ۲۰ روز انبارداری تنها ۰/۹۶ واحد به ازای میلی گرم پروتئین از فعالیت آنزیم کاسته شد (شکل ۵A).

میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول انبارداری روند افزایشی داشت، اما این افزایش در تیمارهای گابا نسبت به شاهد بیش‌تر بود. در بین غلظت‌های گابا فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار ۱۰ میلی مولار گابا بیش‌تر بود

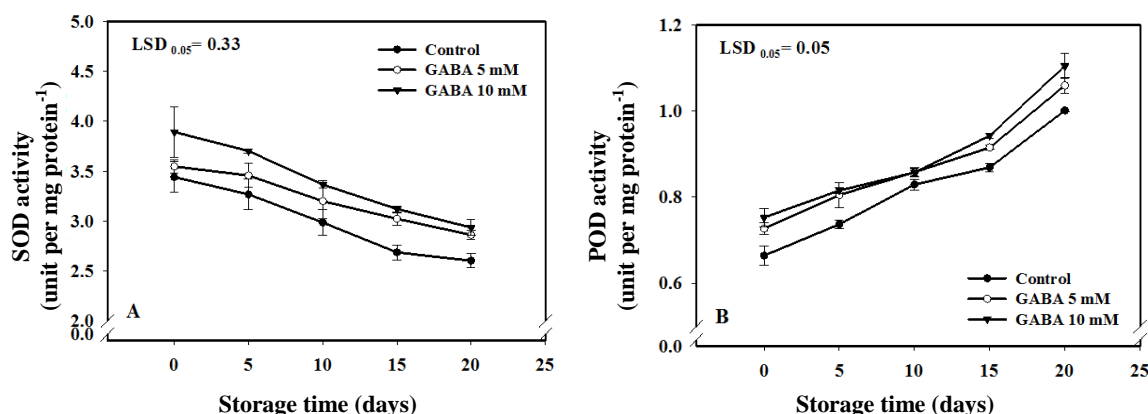


Figure 5. Change in SOD (A) and POD activity (B) in tomato fruit treated with 0, 5 or 10 mM GABA and stored at 4 °C. Vertical bars represent the standard errors of the means

آنزیم‌های ضد اکسایشی شده است و خسارت ناشی از سرمازدگی را کاهش داده است.

نتیجه گیری

تیمار گابا سبب کاهش افت وزن و حفظ سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد شد. تیمار گابا، میزان اسیدهای آلی و ویتامین ث میوه‌های گوجه‌فرنگی را در مدت زمان انبارداری در سطح مطلوب تری نسبت به شاهد حفظ نمود و همچنین سبب فعالیت بالاتر آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نسبت به شاهد شد. میزان خسارت سرمازدگی در تیمار گابا به طور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت. محتوای لیکوپن در میوه گوجه‌فرنگی تحت تیمار گابا در مدت انبارداری افزایش و نسبت به شاهد از مقادیر بالاتری برخوردار بود. در بین غلظت‌های گابا، غلظت ۱۰ میلی مولار تفاوت معنی داری با تیمارهای دیگر داشت و سبب حفظ کیفیت پس از برداشت محصول و کاهش سرمازدگی در مدت انبارداری شد.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از دانشگاه کردستان به دلیل حمایت از انجام پژوهش قدردانی می‌شود.

سوپراکسید دیسموتاز طی انبارداری در زردآلو گزارش شده است (Koushesh Saba et al., 2012). همچنین میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در خیار تیمار شده با گابا در مقایسه با شاهد تحت تنش سرمایی افزایش یافته است (Malekzadeh et al., 2017). افزون بر این، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در واکنش به تیمار گابا در موز در مدت نگهداری در سردخانه توسط Wang et al. (2014) گزارش شده است. شرایط سرمایی ممکن است سبب افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نتیجه شروع خسارت اکسایشی سیستم غشایی گیاهان شو. آنزیم‌های اکسایشی ترکیبات مهمی در حفاظت تنش‌های اکسایشی در گیاهان هستند و فعالیت یک یا بیش تر این آنزیم‌ها در گیاهان در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Zarei et al., 2018). در این مطالعه سطوح بالای آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با گابا در مقایسه با شاهد در مدت نگهداری در سردخانه مشاهده شد که نشان می‌دهد گابا سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی می‌شود. به نظر می‌رسد که گابا در شرایط انبارداری در پاسخ به دمای پایین سبب افزایش فعالیت

References

Aghdam, M. S., Naderi, R., Sarcheshmeh, M. A. A. and Babalar, M. (2015). Amelioration of postharvest

- chilling injury in anthurium cut flowers by γ -aminobutyric acid (GABA) treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 70-76.
- AOAC. (2000) *Official methods of analysis* (17th ed.) Retrieved from <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/z423645>.
- Billy, L., Mehinagic, E., Royer, G., Renard, C. M. G. C., Arvisenet, G., Prost, C. and Jourjon, F. (2008). Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 315-324.
- Bowler, C., Montagu, M. V. and Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 43, 83-116.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Journal of Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Chien, P. J., Sheu, F. and Yang, F. H. (2005). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 225-229.
- Davies, B. H. (1965). Analysis of carotenoid pigments. In: T. W. Goodwin (Ed.), *Chemistry and biochemistry of plant pigments*. New York: Academic Press.
- 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.
- Fagundes, C., Moraes, K., Perez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M. and Monteiro, A. R. (2015). Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 109(), 73-81.
- Friedman, M. and Levin, C. E. (1998). Dehydrotomatine content in tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4571-4576.
- Gupta, K., Dey, A. and Gupta, B. (2013). Plant polyamines in abiotic stress responses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(7), 2015-2036.
- Hong, J. H. and Gross, K. C. (2006). Maintaining quality of fresh-cut tomato slices through modified atmosphere packaging and low temperature storage. *Journal Food Science*, 66(7), 960-965.
- Javanmardi, J. and Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 151-155.
- Jung, S. K. and Watkins, C. B. S. (2008). Scald control after delayed treatment of apple fruit with diphenylamine (DPA) and 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 45-52.
- Koushesh Saba, M. and Moradi, S. (2016). Biochemical and physical changes in some west part of iran pear cultivars during storage. *Plant Productions*, 31(4), 81-92. [In Farsi]
- Koushesh Saba, M., Arzani, K. and Barzegar, M. (2012). Postharvest polyamine application alleviates chilling injury and affects apricot storage ability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(36), 8947-8953.
- Kumar, A., Ghuman, B. S. and Gupta, A. K. (1999). Non-refrigerated storage of tomatoes: Effect of HDPE film wrapping. *Journal of Food Science and Technology*, 36(5), 438-440.
- Malekzadeh, P., Farshian, S. H. and Ordubadi, B. (2012). Interaction of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices* and *Glomus etunicatum*) with tomato plants grown under copper toxicity. *African Journal of Biotechnology*, 11(46), 10555-10567.

- Malekzadeh, P., Khosravi-Nejad, F., Hatamnia, A. A. and Sheikhabari Mehr, R. (2017). Impact of postharvest exogenous c-aminobutyric acid treatment on cucumber fruit in response to chilling tolerance. *Physiology Molecular Biology Plants*, 23(4), 827-836.
- Martinez-Garcia, P. J., Fresnedo-Ramirez, J., Parfitt, D. E., Gradziel, T. M. and Crisosto, C. H. (2013). Effect prediction of identified SNPs linked to fruit quality and chilling injury in peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Plant Molecular and Biology*, 81(1-2), 161-174.
- Mazaheri Tehrani, M., Ghandi, A., Mortazrvi, A. and Zialhagh, H. (2007). *Qualitative characterstics in tomato processing*. Tehran: Marze Danesh Publications. [In Farsi]
- Meng, X., Li, B., Liu, J. and Tian, S. (2008). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 106(2), 501-508.
- Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J. and Valero, D. (2007). Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 19-25.
- Mondal, K., Sharma, N. S., Malhotra, S. P., Dhawan, K. and Singh, R. (2004). Antioxidant systems in ripening tomato fruits. *Biologia Plantarum*, 48(1), 49-53.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M. and Silva, C. L. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum*, cv. 'Zinac') during storage. *Journal of Food Engineering*, 114(3), 338-345.
- Sadler, G. D. and Murphy, P. A. (1998). pH and titratable acidity. In: S. Nielsen (Ed.), *Food analysis* (PP. 101-116). Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M. and Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 152-154.
- Sesso, H. D., Liu, S., Gaziano, J. M. and Buring, J. E. (2003). Dietary lycopene, tomato-based food products and cardiovascular disease in women. *The Journal of Nutrition*, 133(7), 2336-2341.
- Seung K. and Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticulture crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 282-288.
- Shang, H., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y. and Zheng, Y. (2011). Effect of exogenous γ -aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(4), 1264-1268.
- Shelp, B. J., Bozzo, G. G., Trobacher, C. P., Chiu, G. and Bajwa, V. S. (2012). Strategies and tools for studying the metabolism and function of γ -aminobutyrate in plants. *I Pathway Structure. Botany*, 90(8), 651-668.
- Srivastava, A. and Handa, A. K. (2005). Hormonal regulation of tomato fruit development: A molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(2), 67-82.
- Verbruggen, N. and Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: A Review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759.
- Wang, C. Y. (1993). Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Horticultural Reviews*, 15, 63-95.
- Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S. and Du, R. (2014). Effect of exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae*, 168, 132-137.

Wills, R. B. H. and Ku, V. V. V. (2002). Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26(1), 85-90.

Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y. and Zheng, Y. (2011). γ -Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit. *Food Chemistry*, 129(4), 1619-1622.

Zarei, L., Koushesh Saba, M., Vafae, Y. and Javadi, T. (2018). Effect of gamma-amino-butyric acid foliar application on physiological characters of tomato (cv. namib) under salinity stress. *Plant Productions*, 41(1), 15-28. [In Farsi]



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)