The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

The Effect of Postharvest Methyl Jasmonate Treatment on the Expression of Some Genes of Ethylene Biosynthetic Pathway and Qualitative Properties of Strawberry Fruit

Saveh Vaezi [1], Mohammadreza Asghari [2]✉, Alireza Farrokhzad[3], Nasser Mahna[4], Morteza Soleimani Aghdam[5]

1. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: s.vaeziheris@urmia.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: m.asghari@urmia.ac.ir
3. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: a.farokhzad@urmia.ac.ir
4. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: n.mahna@gmail.com
5. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: soleimaniaghdam@eng.ikiu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 22 June 2022

Received in revised form: 27 August 2023

Accepted: 10 September 2023

Published online: 22 December 2023

Keywords:

ACO,

ACS,

Anthocyanins,

Firmness,

Phenolics.

ABSTRACT

In this study, the methyl jasmonate (MeJA) was applied at 0, 10 and 100 µM concentrations for 16 h at 20 °C to delay senescence and maintain quality in strawberry fruits during storage at 3 ± 0.5 °C for 12 days. Methyl jasmonate-treated fruits showed higher levels of total acids and vitamin C. The firmness of strawberry fruits treated with methyl jasmonate was higher compared to the control after 12 days of storage. The highest levels of total phenolics and total anthocyanins of strawberry fruits treated with 100 µM methyl jasmonate were observed after 8 days of storage. Methyl jasmonate treatment had a significant decrease in pH, decay and soluble solids ($p<0.01$) compared to the control. The expression of genes of ethylene biosynthesis pathway, which included ACO and ACS, showed a slight increase on the 8th day of storage in fruits treated with 10 and 100 µM methyl jasmonate, and then decreased. The highest level of gene expression on the 8th day of storage was related to the 10 µM treatment. The results of the present study showed that methyl jasmonate can preserve the quality and postharvest life of strawberry fruit (Strawberry 'Sabrosa') during storage, by stimulating the ethylene biosynthetic pathway only to the extent that it can activate the defense system and the mechanisms involved in the enhancement of tolerance to the biotic and abiotic stresses, as well as by accumulating antioxidant compounds.

Cite this article: Vaezi, S., Asghari, M. R., Farrokhzad, A. R., Mahna, N. & Soleimani Aghdam, M. (2023). The Effect of Postharvest Methyl Jasmonate Treatment on the Expression of Some Genes of Ethylene Biosynthetic Pathway and Qualitative Properties of Strawberry Fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (4), 685-702. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.343066.2028

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.343066.2028

Extended Abstract

Introduction

Strawberries are one of the most perishable fruits due to their metabolic activity and sensitivity to fungal rots, especially gray mold rot caused by *Botrytis*, and are prone to water loss and mechanical damage due to their soft texture and lack of a protective layer. Jasmonates are an important group of non-classical hormones that are naturally produced in a wide range of higher plants and act as signaling agents in many physiological and biochemical processes including ethylene production, defense responses against biotic and abiotic stresses, synthesis of anthocyanins and other phytochemical compounds and product performance. The aim of this

research was to investigate the effect of methyl jasmonate on the content of some biochemical compounds and the expression level of some genes involved in the ethylene biosynthetic pathway, as well as its role in reducing fruit decay and increasing the nutritional quality of strawberry, during storage at 3±0.5°C for 10 days.

Materials and methods

Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* cv. Sabrosa) fruits, were harvested at commercial ripeness time (>75% of the surface red color), from a commercial production greenhouse and transported to the postharvest laboratory of Urmia University. Fruits were selected for uniformity in size and ripening, and lack of defects then treated with different concentration of MeJA (0, 10, and 100 µmol/l), and packed in polyethylene boxes to store for 12 days at 3 ± 0.5 ◦C and 85–95% RH. Fruit quality parameters and ethylene biosynthetic pathway genes expression rates were measured just after harvest (control) and every 4 days until day 12. In order to treat with MeJA vapor, the fruits were transferred 100 × 100 × 4 cm^3 boxes containing filter papers impregnated with MeJA (Sigma Aldrich) at room temperature (25 ± 1 ◦C) for 16 h.

Results and Discussion

The results showed that there was no significant difference in the pH of fruit juice during the storage period among treatments. Fruit TSS content was increased during storage, but the increase rate was lower in treated fruits. MeJA significantly maintained fruit TA content. The strawberries treated with MeJA exhibited a significantly higher TA content at the end of the experiment. After 12 days, the ascorbic acid content of strawberries treated with methyl jasmonate 10 and 100 µmol/l was significantly higher than that of the control ($P < 0.01$). Decay extension symptoms were seen in control fruits on day 8 and reached 2.66% until day 12 during storage. Compared to control, 10 and 100 µmol/l MeJA treatments significantly maintained fruit firmness after 8 and 12 days of storage ($P < 0.01$). Total phenolic content in control and MeJA-treated fruits increased during the first 8 days of storage and then declined continuously during the remaining days. The anthocyanin content was increased in fruits treated with MeJA during the first 8 days of storage and then began to decrease. while the control fruits exhibited significantly lower anthocyanin content at the end of storage. Compared with the control, the transcription levels of all evaluated genes including *FaACO*, and *FaACS* were significantly higher in fruit received 10 and 100 µmol/l MeJA.

Jasmonates are the main triggers of plant defense systems against biotic and abiotic stresses. Based on the obtained results, methyl jasmonate maintained the pH level and prevented its increase during the storage period. The use of methyl jasmonate in strawberries reduced the increase in the amount of soluble solids compared to control fruits. Methyl jasmonate prevents the reduction of organic acids by delaying the production of ethylene and increasing the activity of antioxidant enzymes after the product ripens. Also, methyl jasmonate treatment, compared to the control, maintained the amount of vitamin C during the storage. The use of methyl jasmonate has reduced the decay rate and increased the marketability of the fruit. The fruits kept their firmness at the end of the storage. The high firmness of fruits treated with methyl-jasmonate may be due to the effect of methyl jasmonate on the enzymes that soften the flesh of the fruit. In this study, methyl jasonate treatment increased total phenol and total anthocyanin in strawberry fruits. Methyl jasmonate causes ethylene synthesis as a growth inhibitory hormone and activates some systems of resistance to biotic and abiotic stresses.

Conclusion

Our results show that the fruits treated with methyl jasmonate have the highest amount of organic acids, vitamin C, total phenol, total anthocyanin, fruit firmness and marketability and the lowest amount of pH, soluble solids and decay compared to the control fruits. Methyl jasmonate facilitates defense processes against biotic and abiotic stresses through the expression of ethylene biosynthetic pathway genes. Therefore, methyl jasmonate can play an effective role in increasing shelf life and maintaining the quality of strawberry fruit.

انتشارات دانشگاه تهران

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۴، شماره ۴

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

اثر تیمار پس از برداشت متیل‌جاسمونات بر بیان برخی ژن‌های مسیر بیوسنتزی اتیلن و خواص کیفی میوه توت‌فرنگی

ساوه واعظی[۱] | محمدرضا اصغری[۲]✉ | علیرضا فرخزاد[۳] | ناصر مهنا[۴] | مرتضی سلیمانی مقدم[۵]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: s.vaeziheris@urmia.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: m.asghari@urmia.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: a.farokhzad@urmia.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: n.mahna@gmail.com

۵. گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران. رایانامه: soleimaniaghdam@eng.ikiu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

۱-آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلیک اکسیداز (ACO)

۱- کربوکسیلیک سینتاز (ACS)

آنتوسیانین، سفتی، فنل کل.

چکیده

در این مطالعه از کاربرد متیل‌جاسمونات در ۰، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومول در لیتر به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس جهت به تاخیر انداختن پیری و حفظ کیفیت در میوه‌های توت‌فرنگی رقم سابروسا در طول دوره نگهداری در دمای ۰/۵ ± ۳ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ روز استفاده گردید. میوه‌های تیمار شده با متیل‌جاسمونات سطح بالایی از اسیدیته کل و ویتامین ث را نشان دادند. همچنین سفتی این میوه‌ها بعد از ۱۲ روز نگهداری در مقایسه با شاهد بیشتر بود. بیشترین میزان فنل کل و آنتوسیانین کل در میوه های توت‌فرنگی تیمار شده با ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات و بعد از ۸ روز نگهداری مشاهده شد. تیمار متیل‌جاسمونات در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری در افزایش پی اچ، پوسیدگی و مواد جامد محلول ($p<0/01$) داشت. میزان بیان ژن‌های ۱-آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلیک اکسیداز (ACO) و ۱- آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلیک سینتاز (ACS) در مسیر بیوسنتزی اتیلن در روز ۸ نگهداری در میوه‌های تیمار شده با ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات کمی افزایش نشان داد، اما پس از آن کاهش یافت. بیشترین میزان بیان ژن‌ها در روز ۸ نگهداری مربوط به تیمار ۱۰ میکرومولار بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که متیل‌جاسمونات می‌تواند با تحریک مسیر بیوسنتزی اتیلن در حدی که فقط سیستم دفاعی و مکانیسم‌های درگیر در افزایش تحمل تنش های زنده و غیر زنده را فعال کند و نیز با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، موجب حفظ کیفیت و عمر پس از برداشت میوه توت‌فرنگی رقم سابروسا در طول دوره نگهداری شود.

استناد: واعظی، ساوه؛ اصغری، محمدرضا؛ فرخزاد، علیرضا؛ مهنا، ناصر و سلیمانی، مرتضی (۱۴۰۲). اثر تیمار پس از برداشت متیل‌جاسمونات بر بیان برخی ژن‌های مسیر بیوسنتزی اتیلن و خواص کیفی میوه توت‌فرنگی. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۴)، ۷۰۲-۶۸۵. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.343066.2028

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.343066.2028

مقدمه

در دهه‌های اخیر علاقه به مصرف توت‌فرنگی افزایش یافته است و این تا حدودی به افزایش اثرات مصرف میوه‌ها بر سلامت انسان مرتبط است (Devore *et al*., 2012). میوه توت‌فرنگی سرشار از آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین‌های مختلف است که برای سلامتی انسان بسیار مفید هستند (Moreno, 2002). توت‌فرنگی به دلیل فعالیت متابولیکی و حساسیت به پوسیدگی‌های قارچی خصوصا پوسیدگی کپک خاکستری حاصل از قارچ بوتریتیس، یکی از میوه‌های بسیار فسادپذیر بوده و به خاطر بافت نرم و فقدان یک لایه محافظتی، مستعد کاهش آب و آسیب‌های مکانیکی است (Hernandez-Munez *et al*., 2006). از طرف دیگر به دلیل اثرات سوء مواد شیمیایی بر سلامت غذایی و محیط زیست استفاده از مواد شیمیایی به منظور کنترل بیماری‌ها و حفظ کیفیت محصول در دوره پس از برداشت، با محدودیت‌های جدی مواجه می‌باشد. بنابراین توسعه روش‌های جدید و سالم برای افزایش میزان ماندگاری و همچنین کاهش پوسیدگی‌های قارچی در توت‌فرنگی ضروری می‌باشد (Asghari & Hasanlooe, 2016).

جاسمونات‌ها گروه مهمی از هورمون‌های غیر کلاسیک هستند که به طور طبیعی در محدوده وسیعی از گیاهان عالی تولید می‌شوند و به عنوان عامل سیگنالی در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژی و بیوشیمیایی شامل تولید اتیلن، پاسخ‌های دفاعی در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده، سنتز آنتوسیانین‌ها و سایر ترکیبات فیتوشیمیایی، تنظیم پاسخ‌های دفاعی در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده، فتوسنتز، تنفس، جذب و انتقال یون‌ها و عملکرد محصول دخالت دارند (Heredia & Cisneros-Zevallos, 2009; Asghari, 2019). هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر متیل‌جاسمونات روی سطح بیان برخی ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتزی اتیلن از جمله ۱- آمینوسیکلوپروپان-۱- کربوکسیلیک سینتاز و ۱- آمینوسیکلوپروپان-۱- کربوکسیلیک اکسیداز محتوای ترکیبات بیوشمیایی میوه توت‌فرنگی و نقش آن در کاهش پوسیدگی میوه و افزایش کیفیت تغذیه‌ای آن در طی نگهداری در ۰/۵±۳ درجه سلسیوس برای مدت ۱۰ روز می‌باشد.

پیشینه پژوهش

متیل‌جاسمونات به سرعت سنتز اتیلن را باعث می‌شود که اتیلن خود به عنوان یک هورمون بازدارنده رشد و فعال‌کننده برخی سیستم‌های مقاومت به تنش‌های زنده و غیر زنده عمل می‌کند (Kondo *et al*., 2007; Lv *et al*., 2018). متیل‌جاسمونات و اتیلن می‌توانند بصورت افزایشی در تنظیم مقاومت به آفات و تنش‌های غیر زنده عمل کنند، بطوریکه کاربرد هرکدام باعث افزایش تولید دیگری شده و باعث مقاومت به سرمازدگی در محصولات برداشت شده می‌شوند. البته باید توجه داشت که هورمون اتیلن در غلظت‌های بالا اثرات تخریبی بر سلول‌ها دارد. ولی خوشبختانه میزان اتیلن تولید شده در نتیجه تیمار جاسمونات‌ها به اندازه‌ای نیست که اثرات مخرب برجای بگذارد و باعث ایجاد پاسخ‌های دفاعی می‌گردد (Asghari, 2015). تیمار متیل‌جاسمونات تولید اتیلن را در سیب در مرحله قبل از کلیماکتریک تحریک، اما در مرحله پس از کلیماکتریک کاهش می‌دهد (Saniewski, 1997). برخی از مطالعات نقش‌های اصلی این فیتوهورمون را در تعدیل پاسخ گیاه در برابر تنش‌های مختلف زنده و غیر زنده، مانند عوامل بیماری‌زا همچون قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها، اشعه ماوراء بنفش، خشکی، شوری و تنش دمای پایین حمایت می‌کنند (Creelman & Mullet, 1997; Ding *et al*., 2001). علاوه بر این، مطالعات اخیر پتانسیل بالای جاسمونات‌ها را در بهبود کیفیت و محتوای فیتوشیمیایی و افزایش ایمنی محصولات غذایی نشان می‌دهد (Asghari & Hasanlooe, 2015; Zapata *et al*., 2014). Kondo *et al*. (2007) متیل‌جاسمونات سبب سنتز اتیلن به عنوان هورمون بازدارنده رشد و فعال‌کننده برخی سیستم‌های مقاومت به تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود (Kondo *et al*., 2007). تیمار میوه‌های سیب رقم گلدن با متیل‌جاسمونات باعث افزایش بیان ژن ۱-آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلیک اکسیداز (ACO) و

1ACS
2ACO

افزایش فعالیت آنزیم آن شد که این آنزیم به همراه ۱-آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلیک سینتاز (ACS) باعث سنتز اتیلن می‌شوند (Seo *et al*., 2001).

روش‌شناسی پژوهش

میوه‌های توت‌فرنگی رقم سابروسا در مرحله رسیدگی تجاری زمانی[1] که ۷۵ درصد از سطح میوه‌ها رنگ گرفته بود، از یک گلخانه تجاری واقع در استان آذربایجان غربی تهیه شدند و سپس میوه‌های یکنواخت از نظر شکل، اندازه، رنگ و سالم بودن انتخاب شده و به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل گردیدند. این میوه‌ها تا زمان انجام آزمایش در دمای ۳ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

فرآوری و تیمار میوه‌ها

برای تیمار میوه‌ها با بخار متیل‌جاسمونات در غلظت ۱۰ و ۱۰۰ میکرومول در لیتر، میوه‌ها به داخل جعبه‌هایی با حجم ۴ × ۱۰۰۰ × ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب منتقل شده و با کاغذهای صافی آغشته به بخار متیل‌جاسمونات (ساخت شرکت سیگما-آلدریچ) مورد تیمار قرار گرفتند و در دمای اتاق به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شدند تا بطور کامل و یکنواخت با بخار متیل‌جاسمونات تیمار شوند. سپس میوه‌های تیمار شده به ظرف‌های پلی‌اتیلنی انتقال یافتند و در یک سردخانه با دمای ۰/۵ ±۳ درجه سلسیوس و رطوبت‌نسبی ۹۵-۸۵ درصد به مدت ۱۲ روز نگهداری شدند. میوه‌های شاهد نیز با آب مقطر تیمار گشته و پس از قرار گرفتن به مدت ۱۶ ساعت در داخل جعبه ها به سردخانه منتقل گردیدند.

اندازه‌گیری صفات کیفی

اندازه‌گیری خواص کیفی در روزهای ۴، ۸ و ۱۲ روز بعد از نگهداری در سردخانه، همراه با ۱ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گردید.

اندازه‌گیری پی اچ آب میوه

پی اچ آب میوه با دستگاه پی اچ متر دیجیتالی مدل سی جی ۸۲۴ کالیبره شده با بافرهای ۴ و ۷ اندازه‌گیری شد.

مواد جامد محلول[3]

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول، پس از کالیبره نمودن رفراکتومتر چند قطره از آب میوه در دمای اتاق روی رفراکتومتر دستی مدل آتاگو[4] قرار گرفت و عدد مربوطه از روی ستون مدرج قرائت شد و داده‌ها برحسب درجه بریکس گزارش گردید.

اسیدهای قابل تیتراسیون[5]

برای اندازه‌گیری اسیدهای قابل تیتراسیون ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه در داخل ارلن‌مایر ریخته شد و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و سپس با قرار دادن الکترود پی اچ متر دیجیتالی عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال (۴ گرم در لیتر) تا پی اچ ۸/۲ صورت گرفت (Zheng *et al*., 2003).

1*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Sabrosa
2pH-Meter CG 824
3TSS
4ATAGO
5TA

اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

مقدار اسید آسکوربیک (ویتامین ث) عصاره میوه نیز با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد . به این صورت که میزان ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه در مجاورت ۲ میلی‌لیتر نشاسته توسط یدید پتاسیم ۰/۰۱ نرمال تا ته‌نشین شدن ذرات نشاسته تیتر گردید (Cioroi, 2007).

میزان پوسیدگی میوه‌ها

برای ارزیابی میزان پوسیدگی میوه با بررسی ظاهری میوه از روش نمره‌دهی استفاده شد: نمره‌دهی بصورت ۱= میوه‌های بدون علائم پوسیدگی ۲= میوه‌های دارای پوسیدگی کمتر از ۳۰ درصد ۳= میوه‌های دارای پوسیدگی بین ۷۰-۳۰ درصد و ۴= میوه‌های دارای پوسیدگی بیش از ۷۰ درصد انجام گرفت (Ayala-Zavala *et al*., 2004).

وضعیت ظاهری و بازارپسندی

برای ارزیابی وضعیت ظاهری و بازارپسندی میوه‌ها با بررسی ظاهری میوه و ارزیابی از روش نمره‌دهی استفاده شد. میوه‌ها در ۵ دسته طبقه بندی شده و نمرات ۱ تا ۵ به آنها اختصاص داده شد: ۱= غیر قابل قبول ۲= بد ۳= قابل قبول ۴= خوب ۵= عالی (Yu *et al*., 2003).

سفتی میوه

اندازه‌گیری سفتی میوه با استفاده از دستگاه سفتی سنج اتوماتیک مدل تی ای. ایکس تی. پلاس[1] با قطر سوزن ۶ میلی متر و سرعت نفوذ ۲ میلیمتر بر ثانیه انجام گردید و مقدار سفتی میوه بر حسب گرم نیروی وارده گزارش شد.[2]

فنل کل

برای اندازه‌گیری فنل کل از روش فولین-سیوکالتو استفاده شد. مقادیر فنل کل بر اساس معادل اسید گالیک و بر حسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با استفاده از اسیدگالیک ساخت شرکت مرک رسم گردید (Waterhouse, 2002).

آنتوسیانین کل

جهت تعیین آنتوسیانین کل، ۱ گرم از بافت میوه در ۱۰ میلی لیتر متانول اسیدی ۱ درصد هموژنیزه گردید و عصاره‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سانتریفیوژ در ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در ۴ درجه سلسیوس انجام گرفت. جذب محلول حاصل در طول موج ۵۳۰ نانو متر برای میوه‌های توت‌فرنگی اندازه‌گیری شد. نتایج بر اساس میلی‌گرم پلارگونیدین ۳- گلوکوزید در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان گردید (Lee *et al*., 2005).

استخراج آر ان ای از بافت میوه توت‌فرنگی

جهت استخراج آر ان ای از میوه توت‌فرنگی‌های مورد بررسی (حدود ۲ گرم از بافت میوه) از روش CTAB استفاده گردید (Zarei *et al*., 2016).

1Texture analyzer
2TA.XT. Plus

بررسی کمیت و کیفیت آر ان ای استخراجی

جهت ارزیابی کمی و سنجش غلظت آر ان ای استخراجی از دستگاه اسپکتروفوتومتری مدل بیوفوتومتر پلاس ساخت شرکت اپندورف آمریکا[1] در طول موج‌های ۲۶۰ نانومتر (طول موج جذبی اسیدهای نوکلئیک) و ۲۸۰ نانومتر (طول موج جذبی پروتئین‌ها) استفاده شد. همچنین برای تعیین کیفیت از ژل آگارز ۱ درصد در بافر (TBE 0.5 X) استفاده شد و ژل با ولتاژ ۷۵ ولت الکتروفورز شد. سپس با دستگاه ژل داک زیر نور ماوراء بنفش، تصاویر ژل مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت.

سنتز سی دی ان ای

جهت ساخت سی دی ان ای از کیت سنتز سی دی ان ای ساخت شرکت فرمنتاز آمریکا طبق دستورالعمل پیشنهادی[2] شرکت سازنده استفاده شد.

واکنش ریل تایم پی سی آر

واکنش ریل تایم پی سی آر طبق دستورالعمل کیت شرکت بیوساینس آلمان[3] با استفاده از آغازگرهای اختصاصی ژن‌ها (جدول ۲) و سه تکرار تکنیکی در دستگاه ریل تایم پی سی آر[4] انجام شد. از ژن GAPDH به عنوان ژن مرجع جهت نرمال‌سازی استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش بصورت فاکتوریل با ۹ ترکیب تیماری در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با کمک نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل[5] ۲۰۱۶ استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش

پی اچ آب میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۱) نشان می‌دهد که اثر ساده متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد بر پی اچ آب میوه معنی‌دار بوده است. بر اساس نتایج بدست آمده، متیل‌جاسمونات سبب حفظ میزان پی اچ شده و از افزایش آن در طول دوره نگهداری جلوگیری کرده است (شکلA-۱).

مواد جامد محلول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس تیمار متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر میزان مواد جامد محلول در طی ۱۲ روز نگهداری داشتند (جدول ۱). میوه‌های شاهد در طی ۱۲روز نگهداری دارای بیشترین میزان مواد جامد محلول و میوه‌های تیمار شده با متیل‌جاسمونات ۱۰ و ۱۰۰ میکرومول در لیتر دارای کمترین میزان مواد جامد محلول می‌باشند (شکل A-۲).

1Bio Photometer plus (Eppendorf Inc., Westbury, NY, USA)
2RevartAid first strand cDNA Synthesis Kit Thermo Scientific, Fermentase, USA
3SYBR Green PCR Master Mix (Jena Bioscience, Germany)
4ABI PRISM® 7500 Sequence Detection System (Applied Biosystems)
5EXCEL

اسیدهای قابل تیتراسیون

اثر متقابل تیمار متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در طی ۱۲روز نگهداری کاهش یافت (شکل B –۲). اما تیمار با متیل‌جاسمونات باعث کاهش کمتری نسبت به شاهد شد و بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه‌های تیمار شده با متیل‌جاسمونات ۱۰ و ۱۰۰ میکرومول در لیتر در روز ۴ نگهداری ثبت شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری بر برخی صفات کیفی و بیوشیمیایی توت‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		پی اچ	مواد جامد محلول	اسیدیته کل	ویتامین ث	پوسیدگی	بازارپسندی	سفتی	فنل کل	آنتوسیانین
متیل‌جاسمونات	۲	۰/۰۵۹۱۸**	۱/۳۸۱۵۱**	۰/۰۱۷۷۷**	۸۱/۸۸۱۳**	۳/۸۱۴۸**	۰/۷۰۳۷۰*	۶۱۳/۱۵**	۲۲۳/۴۵**	۲۶/۳۷۳**
زمان نگهداری	۲	۰/۳۱۷۷۹**	۱/۲۲۰۴۰**	۰/۰۳۹۳۶**	۷۳/۲۳۵۶**	۴/۷۰۳۷**	۱۳/۴۸۱۴۸**	۳۳۸/۲۳**	۷۲۴/۸۹**	۴۸/۳۸۶**
متیل‌جاسمونات×زمان نگهداری	۴	۰/۰۰۵۷۳ns	۰/۰۵۱۱۲**	۰/۰۰۰۹۰**	۶/۷۴۶۱**	۶/۶۲**	۰/۴۸۱۴۸ns	۱۶۰/۹۵**	۱۳۱/۲۳**	۵۴/۱۰۴**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۲۲۰	۰/۰۱۰۰۳	۰/۰۰۰۱۳	۰/۷۶۳۰۰	۰/۱۴۸۱۵	۰/۱۸۵۱۸	۹/۶۲	۲۳۴/۱۷	۳/۷۶۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۱۷	۲/۶۸	۲/۴۹	۲/۲۴	۲۲/۵۹	۹/۱۵	۰/۳۶	۶/۵۱	۸/۲۱

ns ، ** و * به ترتیب نشان دهنده نبود تفاوت معنی دار ، تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

ویتامین ث (اسید آسکوربیک)

اثر متقابل متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری بر میزان ویتامین ث در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول۱). میزان ویتامین ث در طول دوره نگهداری کاهش یافت و تیمار متیل‌جاسمونات باعث حفظ ویتامین ث میوه‌ها نسبت به شاهد شد. میوه‌های شاهد بعد از ۱۲ روز نگهداری، دارای حداقل میزان ویتامین ث بودند (شکلC–۲).

میزان پوسیدگی

اثر متقابل متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان پوسیدگی میوه معنی‌دار بود (جدول۱). شکل D–۲ نشان می‌دهد که میزان پوسیدگی در طول دوره نگهداری افزایش یافته است. بیشترین میزان پوسیدگی مربوط به تیمار شاهد بعد از ۱۲ روز نگهداری بود (شکل D–۲).

جدول ۲. توالی‌های پرایمرهای استفاده شده برای تجزیه و تحلیل ریل تایم پی سی آر ژن‌های دخیل در بیوسنتز اتیلن.

Gene	Forward primer sequence	Reverse primer sequence	Amplication size (bp)
ACO	TTGGTGACCAGCTTGAGGTG	GGTGCCGGGTAGATAACTGC	139
ACS	GGGACTTGCAGAGAATCAGCT	CTGGAATGCCGTGGTAGTCTT	140
GAPDH	CATCACTGCCACCCAGAAGAC	CAGGCAGAACCTTTCCGACAG	128

وضعیت ظاهری و بازارپسندی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر ساده متیل جاسمونات و زمان نگهداری بر وضعیت ظاهری و بازارپسندی معنی‌دار بوده است (جدول۱). بعد از ۴ روز نگهداری، میوه‌ها بالاترین میزان بازارپسندی را داشتند (شکل B–۱).

میزان سفتی میوه

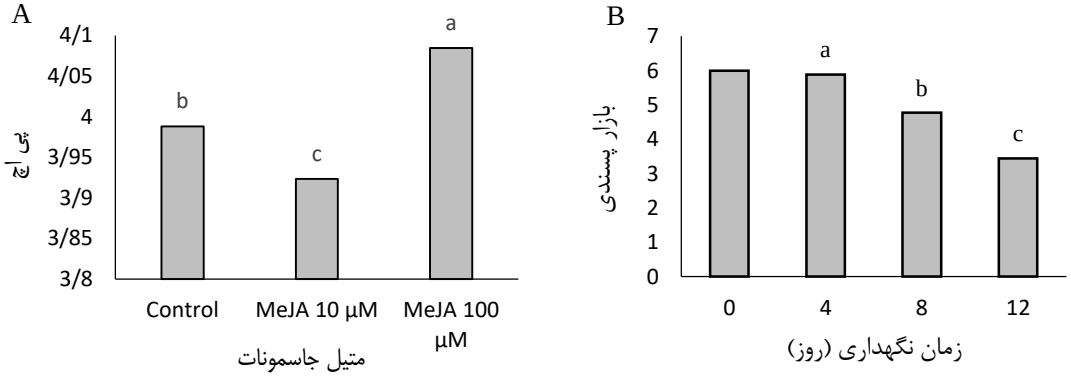
نتایج نشان داد که اثر متقابل متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان سفتی میوه معنی‌دار بود (جدول۱). بطوری که میزان سفتی میوه در طول دوره نگهداری کاهش یافت. تیمارهای متیل‌جاسمونات باعث حفظ بیشتر سفتی میوه در پایان دوره نگهداری شدند. بیشترین میزان سفتی بعد از ۱۲ روز نگهداری مربوط به تیمار ۱۰ میکرومول در لیتر متیل‌جاسمونات می‌باشد (شکل E–۲).

فنل کل

میزان فنل کل در طول دوره نگهداری ابتدا تا روز ۸ افزایش و سپس کاهش یافت. نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر متیل‌جاسمونات و اثر زمان نگهداری و نیز اثر متقابل متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فنل کل معنی‌دار بود. در پایان دوره نگهداری میزان فنل کل در تمامی تیمارها کاهش یافت. بیشترین میزان فنل کل مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومول در لیتر متیل‌جاسمونات بعد از ۸ روز نگهداری بود و کمترین میزان فنل مربوط به تیمارهای شاهد بعد از ۱۲ روز نگهداری بود (شکل F–۲).

آنتوسیانین کل

اثر ساده متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری و نیز اثرات متقابل آنها بر میزان آنتوسیانین کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. (جدول ۱). بیشترین میزان آنتوسیانین کل در ۸ روز بعد از نگهداری مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل-جاسمونات بود وکمترین میزان آنتوسیانین کل مربوط به شاهد بعد از ۱۲ روز نگهداری بود (شکل G–۲).



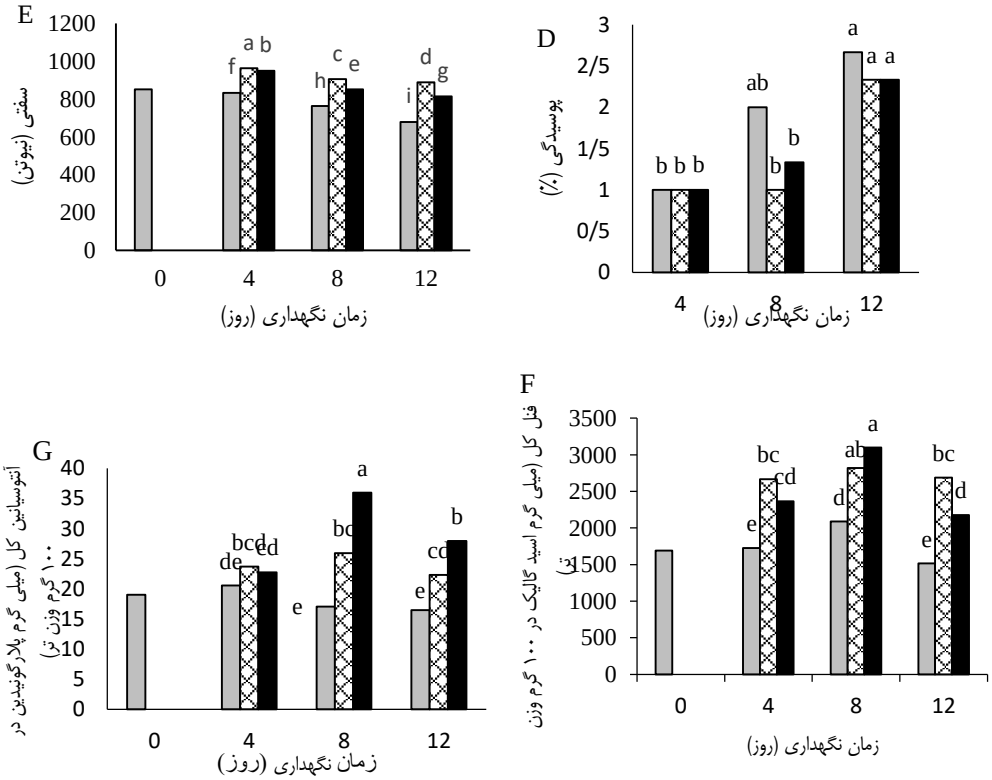
شکل۱. تاثیر متیل‌جاسمونات بر پی اچ آب میوه و میزان بازارپسندی میوه توت‌فرنگی رقم سابروسا. (منبع: یافته‌های تحقیق)

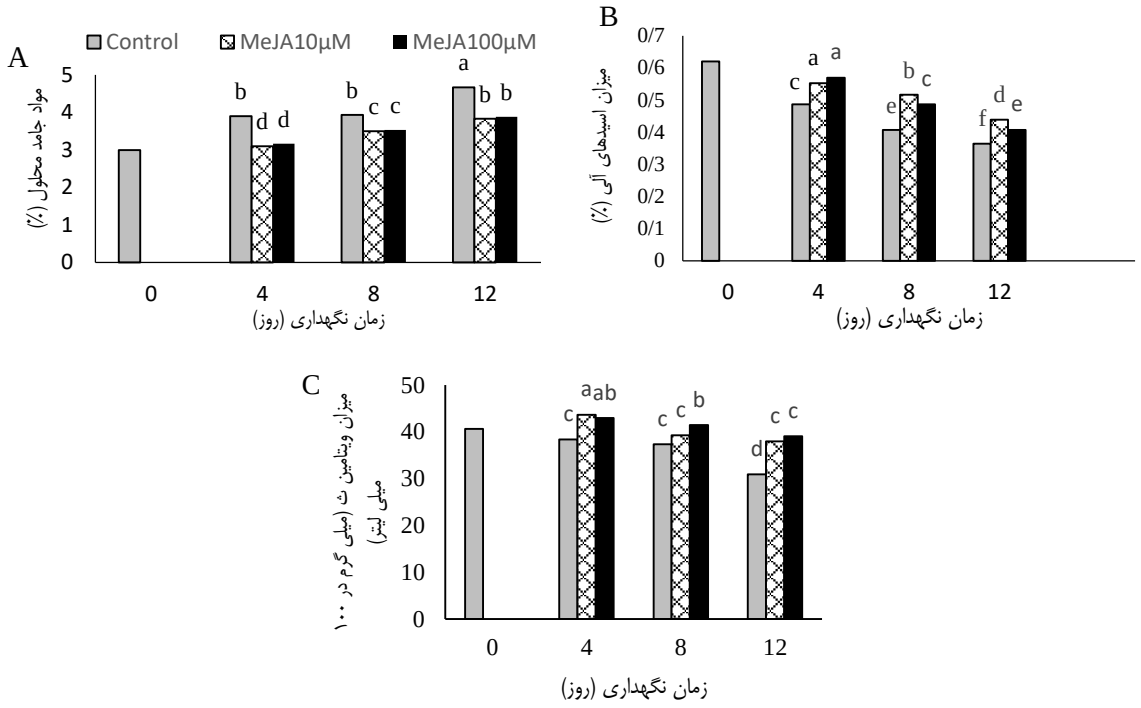
میزان بیان ژن‌های ۱–آمینوسیکلوپروپان ۱– کربوکسیلیک اکسیداز(ACO) و ۱– آمینوسیکلوپروپان ۱– کربوکسیلیک سینتاز(ACS)

اثر متقابل تیمار متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری بر بیان هر دو ژن مورد بررسی در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان بیان هر دو ژن مسیر بیوسنتزی اتیلن در روز ۸ نگهداری در میوه‌های تیمار شده با ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات کمی افزایش نشان داد و بعد کاهش یافت. بیشترین میزان بیان ژن‌ها در روز ۸ نگهداری مربوط به تیمار ۱۰ میکرومولار بود (شکل A,B–۳).

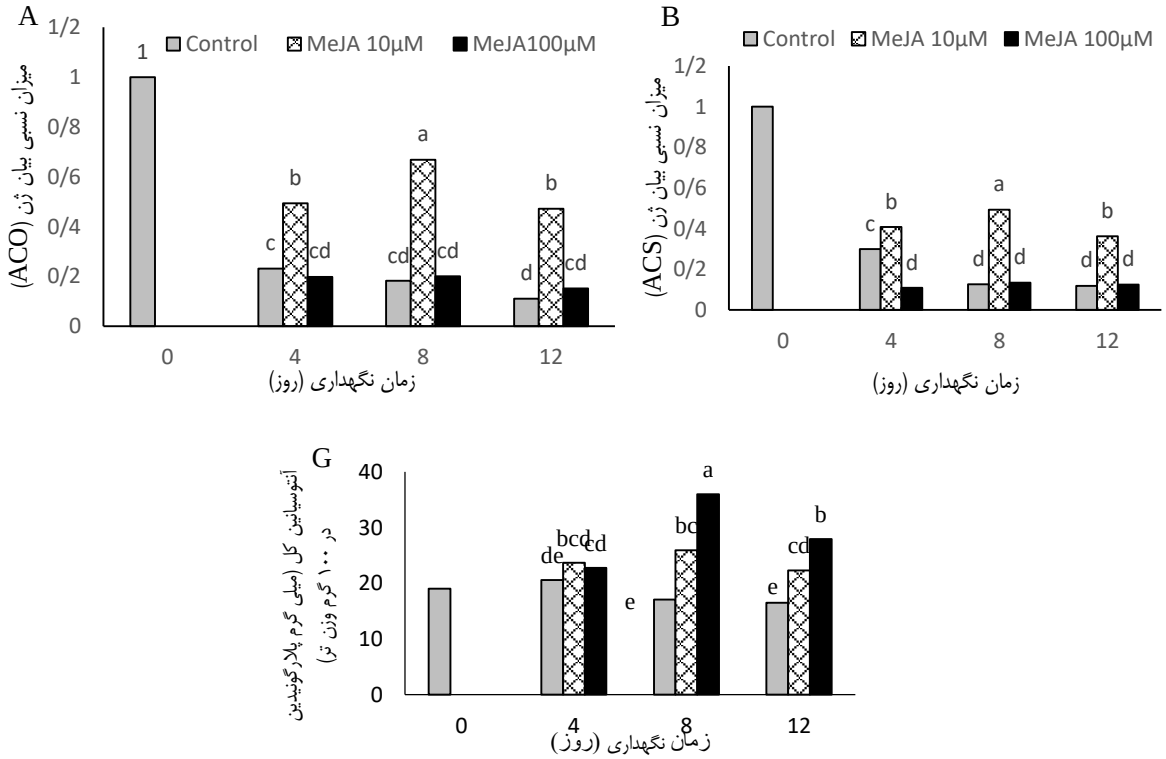
بحث

جاسمونات‌ها از محرک‌های اصلی سیستم‌های دفاعی گیاهان در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده هستند. یکی از اثرات مهم این هورمون‌ها در ایجاد مقاومت به تنش‌ها، فعال کردن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Asghari, 2015; Bisti & Hassanpour, 2017) . در شرایط تنش‌های مختلف، رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال به عنوان اولین پاسخ‌های سلولی در مقابل تنش‌ها تولید و تجمع می‌یابند. سلول‌های گیاه و محصول برداشت شده باید در کنار بروز پاسخ‌های دفاعی لازم، اقدام به حذف این رادیکال‌های آزاد و خطرناک کنند و برای این منظور باید بتوانند به سرعت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی خود را فعال نمایند (Asghari, 2015). جاسمونات‌ها با فعال‌کردن همزمان سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در کنار سایر سیستم‌های دفاعی تخصصی، به این امر مهم کمک می‌کنند.





شکل ۲. تاثیر متیل‌جاسمونات بر مواد جامد محلول، اسیدیته کل، آسکوربیک اسید، پوسیدگی، سفتی، فنل کل و آنتوسیانین کل میوه توت‌فرنگی رقم سابروسا.
(منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۳. تاثیر متیل‌جاسمونات بر بیان ژن‌های مسیر بیوسنتزی اتیلن در توت‌فرنگی

افزایش پی اچ نتیجه پیشرفت پیری و مصرف اسیدهای آلی و شکسته شدن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتینی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیه گیلیکوساکاریدها به واحدهای کوچکتر در طی تنفس می‌باشد و عواملی که سرعت پیری را کاهش دهند، باعث کاهش سرعت افزایش پی اچ خواهند شد (Ayala-Zavala *et al*., 2004). بر اساس نتایج بدست آمده، متیل‌جاسمونات سبب حفظ میزان پی اچ شده و از افزایش آن در طول دوره نگهداری جلوگیری کرده است. گزارش شده است که پی اچ پایین میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با متیل‌جاسمونات می‌تواند به تاثیر احتمالی متیل‌جاسمونات در فرایند تنفس و حفظ اسیدهای آلی ربط داشته باشد (Eynalladin & Hajiloo, 2016). حفظ میزان پی اچ در میوه‌های گیلاس و پرتقال که با متیل‌جاسمونات تیمار شده بودند نیز مشاهده گردیده است که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد (Bisti & Hassanpour, 2017; Mohammadrezakhani *et al*., 2017).

تغییرات در محتوای مواد جامد محلول پدیده‌ای طبیعی است که در طول رسیدن اتفاق می‌افتد و با تغییرات هیدرولیکی در مقدار نشاسته در طول رسیدن در دوره پس از برداشت ارتباط دارد (Sammi & Masud, 2007). در یک بررسی میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با متیل‌جاسمونات با غلظت ۶۰ میکرولیتر مقدار مواد جامد محلول پایینی نشان دادند (Gransayeh *et al*., 2015). همچنین کاربرد متیل‌جاسمونات در پس از برداشت منجر به کاهش مواد جامد محلول در بلوبری (Huang *et al*., 2014) و کیوی فروت (Ozturk & Yucedag, 2021) شده است که تاییدکننده نتایج این پژوهش می‌باشد. در واقع کاربرد متیل‌جاسمونات در توت‌فرنگی موجب کاهش روند افزایش میزان مواد جامد محلول در مقایسه با میوه‌های شاهد می‌شود که دلیل آن کاهش تنفس و تولید اتیلن و در نتیجه جلوگیری از شکسته‌شدن پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی می‌باشد.

بیشتر اسیدهای آلی متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که در نتیجه چرخه اسید سیتریک بوجود آمده و در طی تنفس مصرف می‌شوند (Sha *et al*., 2011). تیمار متیل جاسمونات در غلظت‌های ۶ و ۱۲ میکرومول در لیتر موجب حفظ اسیدهای قابل تیتراسیون میوه‌ها در روز ۲۱ نگهداری نسبت به شاهد شد. محققان به نتایج مشابهی در گیلاس، بلوبری، کیوی فروت و توت‌فرنگی دست یافتند (Bisti & Hassanpour, 2017; Huang *et al*., 2014; Ozturk & Yucedag, 2021; Sarebani *et al*. 2019). بنابراین وظیفه متیل‌جاسمونات جلوگیری از روند کاهش اسیدهای آلی با ایجاد تاخیر در تولید اتیلن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پس از رسیدن محصول می‌باشد.

در طی دوره نگهداری میزان ویتامین ث به دلیل مصرف آن به عنوان دهنده الکترون به اکسیدان‌ها جهت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد کاهش می‌یابد. عواملی که سرعت پیری را کاهش داده و باعث حفظ ساختار سلول می‌شوند، باعث حفظ ویتامین ث می‌گردند (Smimoff, 1995). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان‌دهنده حفظ ویتامین ث در طول دوره نگهداری بود، گزارش Ranjbar *et al.* (2006) نیز دلالت بر این داشت که در میوه‌های انار تیمار شده با ۸، ۱۶ و ۲۴ میکرولیتر در لیتر متیل‌جاسمونات میزان ویتامین ث نسبت به شاهد بطور معنی‌داری حفظ شد. این تیمار روی پاپایا، پرتقال والنسیا و توت‌فرنگی نیز باعث ثبات ویتامین ث گردید (Gonzalez-Aguilar *et al*., 2002; Mohammadrezakhani *et al*., 2017; Sarebani *et al*., 2019).

مشخص شده است که کاربرد متیل‌جاسمونات باعث کاهش میزان پوسیدگی از طریق افزایش سیستم آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد شده است (Chanjirakul *et al*., 2006). همچنین مطالعات نشان داده است که قرار گرفتن میوه‌های پاپایا (Gonzalez-Aguilar *et al*., 2003) و گوجه‌فرنگی (Ding *et al*., 2001) در معرض بخار متیل‌جاسمونات از وقوع سرمازدگی و پوسیدگی قارچی پس از برداشت جلوگیری کرده و بدین طریق باعث افزایش عمر نگهداری می‌گردد. کاربرد متیل‌جاسمونات در زمان پس از برداشت، از پوسیدگی‌های قارچی *Botrytis cinerea* در توت‌فرنگی و *Penicillium digitatum* در انگور جلوگیری می‌کند (Gonzalez-Aguilar *et al*., 2006).

مهمترین شاخص ارزیابی بازارپسندی محصول وضعیت ظاهری محصول است و وجود هر گونه علایم آلودگی، پوسیدگی و نرم شدن میوه باعث کاهش بازارپسندی محصول می‌شود (Esna-Ashari & Zokaee Khosroshahi, 2008). گزارش شده است که (2019) که تیمار ۱۲ میکرومولار متیل‌جاسمونات موجب افزایش ۳۲/۴۳ درصدی بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در

مقایسه با میوه شاهد شد (2019) .Sarebani *et al*. افزایش بازارپسندی با کاربرد متیلجاسمونات در تحقیقات دیگر هم نشان داده شده است (Asghari & Hasanlooe 2016). سفتی میوه یکی از رایج‌ترین پارامترهای فیزیکی است که برای ارزیابی فرآیند نرم شدن و رسیدن میوه استفاده می‌گردد (Hong *et al*., 2014) و از مهمترین شاخص‌ها برای نگهداری میوه، مقبولیت توسط مصرف‌کننده و بازارپسندی محصولات باغبانی است (Valero *et al*., 2003). در تحقیقی که از متیل‌جاسمونات برای افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم سابروسا استفاده شده است، میوه‌ها سفتی خود را در پایان مدت نگهداری حفظ کردند (Asghari & Hasanlooe, 2016). نتایج مشابهی در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است. بالا بودن سفتی میوه‌های تیمار شده با متیل‌جاسمونات ممکن است به دلیل اثر متیل‌جاسمونات بر روی آنزیم‌هایی باشد که باعث نرم شدن گوشت میوه می‌شوند (Perez *et al*. 1997; Concha *et al*., 2013).

ترکیبات فنلی یکی از متابولیت‌های ثانویه اصلی در گیاه هستند که به علت عملکرد بیولوژیکی آن‌ها اهمیت زیادی دارند (Steyn *et al*., 2002). جاسمونات‌ها به عنوان ترکیبات پیام‌رسان کلیدی در فرایند القا که منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه می‌شود، معرفی شده‌اند (Cass *et al*., 2015). متیل‌جاسمونات با اثر بر روی آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز و سنتز متابولیت‌های ثانویه باعث افزایش میزان فنل کل و آنتوسیانین‌ها می‌شود (Concha *et al*., 2013). در میوه‌های بی بری چینی[1] تیمار ۱۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات بطور معنی‌داری میزان فنل کل را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Wang *et al*., 2009). مطابق با این پژوهش افزایش معنی‌دار در فنل کل میوه توت‌فرنگی تیمار شده با متیل‌جاسمونات گزارش شده است (Zhang *et al*., 2005). نتایج مشابهی در میوه‌های انار (Sayyari *et al*., 2011)، توت‌فرنگی (Ayala-Zavala *et al*. 2005) و بروکلی (Guan *et al*. 2019) بدست آمده است. در بین ترکیبات ثانویه، فلاونوئیدها گروه بزرگ و مهمی را تشکیل می‌دهند و بالغ بر ۶۰۰۰ نوع ترکیب فلاونوئیدی نظیر آرون‌ها، ایزوفلاونوئیدها، فلاونول‌ها، آنتوسیانیدین و غیره شناسایی شده که بسیاری از آنها در گیاهان عالی وجود دارند (Gould *et al*., 2006). نوع و میزان ترکیبات فلاونوئیدی در میوه‌های مختلف، تفاوت‌های زیادی دارد که در بیشتر میوه‌ها نوع غالب، آنتوسیانین‌ها می‌باشند (Jaakola, 2003). آنتوسیانین‌ها از مهمترین و فراوانترین رنگدانه‌های طبیعی و یکی از شش زیرگروه متعلق به فلاونوئیدها می‌باشند (Cristina *et al*., 2011). به هر حال رسیدن، شرایط رشد و ژنوتیپ می‌تواند به سنتز آنتوسیانین‌ها در میوه‌ها تاثیر بگذارد. سنتز آنتوسیانین‌ها در طول دوره نگهداری بعد از برداشت ادامه می‌یابد (Fawbush *et al*., 2009). افزایش میزان آنتوسیانین کل در میوه‌های توت‌فرنگی(Ayala-Zavala *et al*., 2005)، بلوبری (Wang *et al*., 2008) و انار (Sayyari *et al*., 2011) که با متیل‌جاسمونات تیمار شده بودند مشاهده گردید که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

اتیلن به عنوان هورمون رسیدن، فرایند نرم شدن، سرعت تنفس و توسعه رنگ را طی رسیدن میوه‌ها افزایش می‌دهد (Singh & Khan, 2010). اتیلن محرک فرآیند رسیدن در میوه‌های فرازگرا است، افزایش تولید اتیلن قبل از شروع رسیدن میوه مشاهده می‌شود و اتیلن محرک فرآیند رسیدن در میوه‌های فرازگرا است (Oeller *et al*., 1991). اوایل دهه ۱۹۸۰ در میوه توت‌فرنگی که یک میوه نافرازگرا می‌باشد گزارش شد که هورمون آبسیزیک اسید (ABA) در رسیدن میوه توت‌فرنگی درگیر است (Kano & Asahira, 1981) و نرم شدن، تجمع رنگ و قند را تنظیم می‌کند (Pilati *et al*., 2017). به عبارت دیگر پیشنهاد شده است که اتیلن نقش ثانویه در رسیدن میوه توت‌فرنگی در مقایسه با آبسیزیک اسید دارد. البته اثر اتیلن به مرحله رشد و گونه‌های ارزیابی شده در توت‌فرنگی نیز بستگی دارد (Monsalve *et al*., 2022). متیل‌جاسمونات سنتز اتیلن را به عنوان هورمون بازدارنده رشد و فعال‌کننده برخی سیستم‌های مقاومت به تنش‌های زنده و غیر زنده باعث می‌شود (Kondo *et al*., 2007). در واقع متیل جاسمونات از طریق القا تنش کاذب سیگنال‌هایی را تولید می‌کند که برهم کنش این مولکول‌ها با گیرنده‌های سطح سلول، ژن‌هایی که در پاسخ‌های دفاعی نقش دارند را القا می‌کند که از جمله این ژن‌ها آنزیم سنتزکننده

[1]. Chinese bayberry

اتیلن می‌باشد (Zhao *et al*., 2005) ولی خوشبختانه میزان اتیلن تولید شده در نتیجه تیمار جاسمونات‌ها به اندازه‌ای نیست که اثرات مخرب برجای بگذارد ولی باعث ایجاد پاسخ‌های دفاعی می‌گردد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار متیل‌جاسمونات و زمان نگهداری بر بیان ژن‌های بیوسنتزی اتیلن در میوه توت‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		ACO	ACS
متیل جاسمونات	۲	۶۱۳۱۱/۱۵۴۹**	۰/۲۲۵۸۰۱۰۵**
زمان نگهداری	۲	۳۳۷۹۵/۲۲۹۶**	۰/۰۱۱۶۱۴۰۲**
متیل جاسمونات × زمان نگهداری	۴	۱۶۰۴/۹۴۵۲**	۰/۰۱۶۷۸۳۳۱**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۹/۶۲۸۶	۰/۰۰۰۵۲۲۲۷
ضریب تغییرات (CV)		۰/۳۶۵۱	۹/۴۶

ns و **: به ترتیب نشان دهنده نبود تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتیجه‌گیری

نتایج ما نشان می دهد که میوه های تیمار شده با متیل جاسمونات بیشترین میزان اسیدهای آلی، ویتامین ث، میزان فنل کل، آنتوسیانین کل، سفتی میوه و بازار پسندی و از طرف دیگر کمترین میزان پی اچ، مواد جامد محلول و پوسیدگی را در مقایسه با میوه‌های شاهد داشتند. متیل‌جاسمونات فرایندهای مربوط به دفاع در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده را از طریق بیان ژن‌های مسیرهای بیوسنتزی اتیلن تسهیل می‌کند. بنابراین متیل‌جاسمونات به عنوان هورمون گیاهی می‌تواند نقش موثری در کاهش ضایعات پس از برداشت، افزایش طول عمر نگهداری و حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی داشته باشد.

منابع

اثنی عشری، محمود و زکایی خسروشاهی، محمد رضا (۱۳۸۷). *فیزیولوژی و تکنولوژی پس از برداشت*. چاپ اول. همدان: انتشارات دانشگاه همدان.

اصغری، محمدرضا (۱۳۹۴). *هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جدید (غیر کلاسیک)*. چاپ اول. ارومیه: انتشارات دانشگاه ارومیه.

بی ستی، علی و حسن پور، حمید (۱۳۹۵). کاربرد پس از برداشت متیل‌جاسمونات بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیلاس رقم تکدانه مشهد. *پژوهش در میوه‌کاری*، ۲ ، ۷۳ – ۵۶.

رنجبر، حمید؛ ذوالفقاری نسب، رحیم؛ قاسم نژاد، محمود و سرخوش، علی (۱۳۸۶). تأثیر متیل‌جاسمونات در القاء مقاومت به سرمازدگی میوه انار رقم ملس ترش ساوه. *پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ۷۵: ۴۹ – ۴۳.

ساربانی، اکبر؛ ارشد، موسی و نظری دلجو، محمد جواد (۱۳۹۹). تأثیر متیل جاسمونات بر بیوسنتز اتیلن، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ماندگاری میوه توت‌فرنگی طی دوره پس از برداشت. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۱۰۷–۹۳.

عین الدین، محمد صفا و حاجیلو، جعفر (۱۳۹۵). تأثیر کاربرد پس از برداشت متیل جاسمونات روی خواص کیفی توت‌فرنگی رقم کاماروسا. *پژوهش‌های صنایع غذایی*, ۲۶ ، ۲ : ۲۷۷ – ۲۸۸.

REFERENCES

Asghari, M. R. (2015). *Novel (Non-classic) Plant hormones and growth regulators*. (1th ed.). Urmia University Publication. (In Persian).

Asghari, M. (2019). Impact of jasmonates on safety, productivity and physiology of food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 169–183.

Asghari, M. & Hasanlooe, A. R. (2015). Interaction effects of salicylic acid and methyl jasmonate on total antioxidant content, catalase and peroxidase enzymes activity in "Sabrosa" strawberry

fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 197, 490–495.

Asghari, M., & Hasanlooe, A. R. (2016). Methyl jasmonate effectively enhanced some defense enzymes activity and total antioxidant content in harvested "Sabrosa" strawberry fruit. *Food Science and Nutrition*, 33, 1-6.

Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT - Food Science and Technology*, 37, 687–695.

Ayala-Zavala, F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2005). Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity. Volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. *European Food Research and Technology*, 221, 731–738.

Bisti, A., & Hassanpour, H. (2017). Postharvest application of methyl jasmonate on antioxidant capacity and antioxidant enzymes of sweet cherry cv. Tak Daneye Mashhad. *Research in Pomology*, 1(2), 56-73. (In Persian).

Cass, C., Peraldi, A., & Dowd, P. (2015). Effects of phenylalanine ammonia lyase (PAL) knockdown on cell wall composition, biomass digestibility and biotic stress responses in branchy podium. *Experimental Botany*, 19, 1- 26.

Chanjirakul, K., Wang, S. Y., Wang, C. H., & Siriphanich, J. (2006). Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. *Postharvest Biology and Technology*, 40, 106–115.

Cioroi, M. (2007). Study on L-ascorbic acid contents from exotic fruits. *Cercetari Agronomicin Moldova*, 1, 23-27.

Concha, C. M., Figueroa, N. E., Poblete, L. A., Qate, F. A., Schwab, W., & Figueroa, C. R. (2013). Methyl jasmonate treatment induces changes in fruit ripening by modifying the expression of several ripening genes in *Fragaria chiloensis* fruit. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 433–444.

Creelman, R. A. and Mullet, J. E. (1997). Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 355–381.Cristina, L., Aizza, B., & Dornelas, M. C. (2011). A genomic approach to Study anthocyanin synthesis and flower pigmentation in Passionflowers. *Journal of Nucleic Acids Article ID*, 371517.

Devore, E. E., Kang, J. H., Breteler, M. M. B., & Grodstein, F. (2012). Dietary intakes of berries and flavonoids in relation to cognitive decline. *Annals of Neurology*, 72, 135-143.

Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C., & Smith, D. L. (2001). Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161, 1153–1159.

Esna-Ashari, M., & Zokaee Khosroshahi, M. R. (2008). *Post-harvest physiology and technology* (2th ed.). Bu-Ali Sina University Publication. (In Persian).

Eynalladin, M. S., & Hajiloo, J. (2016). Effect of methyl jasmonate on qualitative traits and vase life of strawberry cv. "Camarosa". *Journal of Food Research*, 26(2), 277- 288. (In Persian).

Fawbush, F., Nock, J. F., & Watkins, C. B. (2009). Antioxidant contents and activity of 1-methylcyclopropene (1-MCP)-treated 'Empire' apples in air and controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 52,30-37.

Geransayeha, M., Sepahvandb, S., Abdossic, V., & Zarrinniad, V. (2015). Effect of methyl jasmonate treatment on decay, post-harvest life and quality of Strawberry (*Fragaria ananassa* L. cv. Gaviota) fruit. *International Journal of Current Science*, 15, E 123-131.

Gonzalez-Aguilar, A. B., Buta, J. G., & Wang, C. Y. (2002). Methyl jasmonate reduces decay and maintains postharvest quality of papaya 'sunrise'. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 361-370.

Gonzalez-Aguilar, A. B., Buta, J. G., & Wang, C. Y. (2003). Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya 'Sunrise'. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 361-370.

Gonzalez-Aguilar, G., Tiznado-Hernandez, M. E., & Wang C. Y. (2006). Physiological and

biochemical responses of horticultural products to methyl jasmonate. *Stewart Postharvest Review*, 32, 52-565.

Gould, K. S., & Lister, C. (2006). Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications. In Q. M. Andersen, & K. R. Markham (Eds.), *Flavonoid functions in plants*. (pp. 397-441). Boca. Raton, FL: *CRC Press*, 55, 32-42.

Guan, Y., Hu, W., Jiang, A., Xu, Y., Sa, R., Feng, K., Zhao, M., Yu, J., Ji, Y., Hou, M., & Yang, X. (2019). Effect of methyl jasmonate on phenolic accumulation in wounded broccoli. *Molecules*, 24, 3537.

Heredia J. B., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry*, 115, 1500- 1508.

Hernandez-Munaz, P., Almenar, E., Ocio, M. J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 247-253.

Hong, K., Gong, D., Xu, H., Wang, S., Jia, Z., Chen, J., & Zhang, L. (2014). Effects of salicylic acid and nitric oxide pretreatment on the expression of genes involved in the ethylene signaling pathway and the quality of postharvest mango fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42, 205-216.

Huang, X., Li, J., Shang, H., & Menga, X. (2014). Effect of methyl jasmonate on the anthocyanin content and antioxidant activity of blueberries during cold storage. *Journal of the Science Food Agriculture*, 95, 337–343.

Jaakola, L. (2003). *Flavonoid biosynthesis in bilberry (Vaccinium myrtillus L.).* Academic Dissertation. Faculty of Agriculture and Forestry. University of Helsinki, 65, 57-95.

Kano, Y., & Asahira, T. (1981). Roles of cytokinin and abscisic acid in the maturing of strawberry fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 50, 31–36.

Kondo, S., Yamada, H., & Setha, S. (2007). Effect of jasmonates differed at fruit ripening stages on 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase and ACC oxidase gene expression in pears. *Journal of the American Society Horticultural*, 132, 120–125.

Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 88, 1269–1278.

Lv, J., Zhang, M., Zhang, J., Ge, Y., Li, C., Meng, K., & Li, J. (2018). Effects of methyl jasmonate on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and signaling pathway during postharvest ripening of apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 229, 157–166.

Mohammadrezakhani, S., Pakkish, Z., & Saffari, V. R. (2017). Effect of putresine and methyl jasmonate on antioxidant responses in peel and pulp of orange (*Citrus sinensis* L. var. Valencia) fruit. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 7(2), 41-52.

Monsalve, L., Bernales, M., Ayala-Raso, A., Álvarez, F., Valdenegro, M., Alvaro, J. E., Figueroa, C. R. Defilippi, B. G., & Fuentes, L., (2022). Relationship between endogenous ethylene production and firmness during the ripening and cold storage of raspberry (*Rubus idaeus* 'Heritage') fruit. *Horticulturae*, 8, 262.

Moreno, C. S. (2002). Review. Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Science Technology*, 8, 121-137.

Oeller, P.W., Min-Wong, L., Taylor, L. P., Pike, D. A., & Theologis, A. (1991). Reversible inhibition of tomato fruit senescence by antisense RNA. *Science*, 254, 437– 439.

Ozturk, B., & Yucedag, F. (2021). Effects of methyl jasmonate on quality properties and phytochemical compounds of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. 'Hayward') during cold storage and shelf life. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45, 154-164.

Perez, A. G., Sanz, C., Olias, R., & Olias, M. (1997). Effect of methyl jasmonate on in vitro strawberry ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3733–3737.

Pilati, S., Bagagli, G., Sonego, P., Moretto, M., Brazzale, D., Castorina, G., Simoni, L., Tonelli, C.,

Guella, G., & Engelen, K. (2017). Abscisic acid is a major regulator of grape berry ripening onset: New insights into ABA signaling network. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1093.

Ranjbar, H., Zolfegharinasab, R., Ghasemnezhad, M., & Sarkhosh, A. (2006). Effect of methyl jasmonate on inducing chilling tolerance in pomegranate fruits (Malas Save). *Pajouhesh & Sazandegi*, 75, 43-49. (In Persian).

Sammi, S., & Masud, T. (2007). Effect of Different packaging systems on storage life and quality of tomato (Lycopersicom esculentum var. Rio Grando) during different ripening stages. *Journal of Food Safety*, 9, 37-44.

Saniewski, M. (1997). The role of jasmonates in ethylene biosynthesis. In Kanellis, A.K., Chang, C. Kende, H. & Grierson, D. (eds.), *Biology and biotechnology of the plant hormone ethylene* (pp. 39–45). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Sarebani, A., Arshad, M., & Nazari Delju. M. J. (2019). The effect of postharvest methyl jasmonate treatment on ethylene biosynthesis, antioxidant capacity and shelf life of strawberry. *Journal of Crop Production and Processing*, 10, 93-107. (In Persian).

Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martinez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2011). Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chemistry*, 124, 964-970.

Seo, H. S., Song, J. T., Cheong, J. J., Lee, Y. W., Hwang, I., Lee, J. S. and Choi, Y. D. (2001). Jasmonic acid carboxyl methyltransferase: A key enzyme for jasmonate regulated plant responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 10: 4788-4793.

Sha, S. F., Li, J. C., & Zhang, S. L. (2011). Change in the organic acid content and related metabolic enzyme activities in developing Xinping pear fruit. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 3560-3566.

Singh, Z., & Khan, A. S. (2010). Physiology of plum fruit ripening. *Stewart Postharvest Review*, 6(2), 751-753.

Smimoff, N. (1995). Antioxidant system and plant response to the environment. In: Smimoff, N. (Ed.), *Environment and Plant Metabolism. Bios Scientific Publisher, Oxford, United Kingdom*, 217-243.

Steyn, W. J. W., Holcroft, S. J. E., & Jacobs, G. (2002). Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist*, 155, 349- 361.

Valero, D., Martinez-Romero, A. D., Valverde, J. M., Guillen, F., & Serrano, M. (2003). Quality improvement and extension of shelf life by 1- methylcyclopropene in plumas affected by ripening stage at harvest. *Food Sciences Emergency and Technology*, 4, 339–348.

Wang, S. Y., Bowman, L., & Ding, M. (2008). Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells. *Food Chemistry*, 107, 1261–1269.

Wang, K., Jin, P., Cao, S., Shang, H., Yang, Z., & Zheng, Y. (2009). MeJA reduces decay and enhances antioxidant capacity in Chinese bayberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 5809–5815.

Waterhouse, A. L. (2002). Determination of total phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 3, 18-19.

Yu, Z., Song, C. K., Jun, C. Q., Long, Z. S., & Ping, R. Y. (2003). Effects of acetylsalicylic acid (ASA) and ethylene treatments on ripening and softening of postharvest kiwifruit. *Acta Botanica Sinica*, 45, 1447-1452.

Zapata, P. J., Martínez-Esplá, A., Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Martínez-Romero, D. and Serrano, M. (2014). Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology, 98: 115-122.

Zarei, A., Zamani, Z., Fatahi, R., Mousavi, A., Salami, S. A., Avila, C., & Canovas, F. M. (2016).

Differential expression of cell wall related genes in the seeds of soft- and hard-seeded pomegranate genotypes. *Scientia Horticulturae*, 205, 7-16.

Zhang, F. S., Wang, X. Q., Ma, S. J., Cao, N., Li, X. X., Wang, Y. H., & Zheng, X. (2005). Effects of methyl jasmonate on postharvest decay in strawberry fruit and the possible mechanisms involved. *Acta Horticulturae*, 712, 693-698.

Zhao J, Davis, L. C., & Verpoorte, R. (2005). Elicitors signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 23, 283-333.

Zheng, Y., Wang, C. Y., Wang, S. Y., & Zheng, W. (2003). Effect of high-oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7162-7169.