The effect of foliar application of calcium chloride, ascorbic acid and harvest time on fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD)

Zahra Khalil[1], Fatemeh Nekounem*[2], Taher Barzegar, Zahra[3], Ghahremani[3,] Maliheh Farhangpour[1]

1- Former Ms.C. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Corresponding Author: Fatemeh Nekounam, nekounam@znu.ac.ir

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) belongs to the Solanaceae family, which is one of the most widely cultivated and economically important vegetables in the world, which is an excellent source of ascorbic acid and has high antioxidant capacity against oxidative damage caused by free radicals. Ascorbic acid (AsA) is a water-soluble vitamin that plays a key physiological role in scavenging reactive oxygen species (ROS), and enzyme cofactor. Ascorbic acid is antioxidant and antistress agent, and also acts as a signaling molecule in some plant physiological processes and defense mechanisms. Positive roles of such antioxidants in scavenging or chelating the free radicals and activating the natural resistance against different biotic and abiotic stresses have been reported in several fruit trees. Calcium has a vital role for normal growth and development of plants due to an important role in balancing membrane structures, increasing nutrient uptakes and activates of metabolic processes. Calcium plays a vital role in maintains cell wall stability, integrity and determining the fruit quality. To our knowledge, however, little information is available regarding the interaction effect of ascorbic acid and calcium chloride on tomato. Thus, the aim of this study was to investigate the foliar application of ascorbic acid and calcium chloride on quality and antioxidant capacity of tomato fruit.

Materials and Methods

To study the effect of foliar application of calcium chloride (Ca) and Ascorbic acid (AsA) on growth, yield and fruit quality of tomato, the field experiment was carried out from June to September 2021 at Research farm of faculty of Agriculture, at the University of Zanjan, Iran. Each treatment was carried out with three replicates. Different concentrations of Ca (0, 0.3, 0.6 and 0.9 %) and AsA (0, 100, 200 and 300 mg L^{-1}) were sprayed three times (0, 15, 30 days after full bloom). Fruits were harvested at two harvests stage (orange and red color) and transferred to the laboratory on the same day. Flesh firmness was determined with penetrometer (model Mc Cormic FT 32), using an 8 mm penetrating tip. Results were expressed in kg cm-2. The pH values of solutions were monitored with pH meter. TSS was measured in the extract obtained from three fruit of each replicate with a digital refractometer Atago PR-101 (Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan) at 20◦C. Total ascorbic acid content was expressed as mg per 100 g of juice. Antioxidant activity was measured using the free radical scavenging activity (DPPH) and calculated according to the following formula: RSA%= 100(Ac-As)/Ac. Statistical analyses were performed with SPSS software package v. 20.0 for Windows, and means comparison were separated by Duncan's multiple range tests at $p < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that fruit harvested at red color stage had the higher vitamin C, total soluble solid (TSS), total phenol, flavonoids contents and antioxidant capacity compared to fruit harvested at orange color stage. Foliar application of AsA and Ca had significantly improved tomat fruit quality. The highest value of TSS (4.9 °B), vitamin C (46.1 mg $100ml^{-1}$), total phenol and flavonoids contents and antioxidant capacity (36%) was achieved with application of 300 mg L^{-1} AsA and 0.9% Ca in fruit harvested at red color harvest time. The lowest value of pH and highest TA was observed in red color fruit treated with 300 mg L^{-1} AsA and all Ca levels. Ca had significant effect on fruit firmness, which the highest fruit firmness was obtained from 0.9% Ca.

The fresh tomato is an important source of ascorbic acid for human consumption. AsA significantly increased the amount of vitamin C in the plum and sweet pepper fruits. Increasing vitamin C content in fruits after treatment with Ca could be related to inhibiting action of calcium on the activities of ascorbic acid oxidase that use ascorbate as a substrate.

The results indicated that treatment of Ca produced fruits with higher firmness compared to control and other treatments. Firmness and resistance to softening can be increased by the addition of Ca, due to interaction of calcium with pectate acid in the cell wall to form calcium pectate and retarding polygalacturonase activity. Differences in the percentage of TSS content at the time of harvest indicated the AsA and Ca effects on carbohydrate accumulation in fruits, which had different potential on respiration rates and consequently storability of plants. The antioxidant activity has positive correlation with total phenolic content, flavonoids and content of ascorbic acid.

Conclusion

The results of our research indicated that per-harvest foliar application of AsA and Ca improved fruit quality attributes including vitamin C, fruit firmness, TSS and antioxidant activity. These results suggest that AsA and Ca treatments, especially AsA 300 mg L^{-1} and Ca 0.9%, may be proposed to improve fruit quality.

Keywords: Antioxidant capacity, Fruit firmness, Phenolic compounds, Vitamin C.

نسخه پیش انتشار

اثر محلول‌پاشی کلریدکلسیم و آسکوربیک اسید و زمان برداشت بر صفات کیفی میوه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD)

زهرا خلیلی[1]، فاطمه نکونام*[2]، طاهر برزگر[3]، زهرا قهرمانی[3]، ملیحه فرهنگ پور[1]

دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
مسئول مکاتبات: فاطمه نکونام nekounam@znu.ac.ir

نسخه پیش انتشار

چکیده

به منظور مطالعه تاثیر محلول‌پاشی آسکوربیک‌اسید و کلریدکلسیم و زمان برداشت بر کیفیت میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. SV8320TD)، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل اسیدآسکوربیک در ۴ سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و کلریدکلسیم در ۴ سطح (۰، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد) و زمان برداشت میوه در دو مرحله نارنجی و قرمز رنگ بود. نتایج نشان داد که میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمز رنگ دارای ویتامین ث، مواد جامد محلول، فنل و فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در مقایسه با میوه‌های نارنجی رنگ بودند. کاربرد اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم به‌طور فزاینده‌ای کیفیت میوه را بهبود بخشیدند. بیشترین میزان سفتی بافت (۲۱/۷ و ۲۱/۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر) به ترتیب در میوه‌های نارنجی رنگ تحت تیمار اسیدآسکوربیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ درصد و میوه‌های قرمز رنگ حاصل از تیمار اسید آسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ درصد به دست آمد. حداکثر مقدار مواد جامد محلول (۴/۹ درصد بریکس)، ویتامین ث (۴۶/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، فنل و فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۳۶ درصد) در میوه‌های قرمز رنگ حاصل از گیاهان تیمار شده با اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ درصد مشاهده شد. کمترین میزان اسیدیته و حداکثر اسید قابل تیتراسیون با کاربرد اسید آسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همه سطوح کلرید کلسیم در میوه‌های قرمز رنگ حاصل شد. با توجه به نتایج، کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ درصد جهت بهبود شاخص‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی پشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: ترکیبات فنلی، سفتی بافت میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گیاهی چند ساله متعلق به خانواده Solanacea که در مناطق معتدل به صورت یکساله کشت و کار می‌شود (Nizamani *et al*., 2020). میوه گوجه‌فرنگی منبع مهمی از ویتامین‌های A و C، املاح کلسیم و پتاسیم و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله کاروتنوئیدها و لیکوپن است و به صورت تازه‌خوری و فرآوری قابل مصرف می‌باشد.

کیفیت میوه‌های گوجه‌فرنگی تحت تأثیر عوامل متعدد قبل و بعد از برداشت است. از جمله مهمترین عوامل پیش از برداشت، شرایط محیطی که بوته‌های گوجه فرنگی در آن رشد می‌کنند و همچنین مرحله رسیدن میوه در هنگام برداشت بیشترین تأثیر را بر کیفیت میوه دارند (Kacjan *et al*., 2011). گوجه‌فرنگی را به‌عنوان یک میوه فرازگرا، می‌توان در مراحل مختلف بلوغ شامل سبز بالغ، رنگ‌اندازی، تغییر رنگ، صورتی و مرحله قرمز رنگ برداشت کرد. این مراحل بلوغ به طور قابل توجهی بر فرآیند فیزیولوژیکی میوه، کیفیت پس از برداشت و ویژگی‌های حسی پس از برداشت تأثیر می‌گذارند (Tolasa *et al*., 2021).

میوه گوجه‌فرنگی به علت بافت نرم و آبکی در زمان برداشت از فسادپذیری بالایی برخوردار است. مخصوصا زمانی که میوه رسیده و نرم بوده، فاصله محل تولید تا مصرف زیاد باشد و شرایط حمل و نقل و نگهداری مناسب نباشد، درصد ضایعات میوه افزایش می‌یابد. هر اندازه سفتی بافت میوه زیاد باشد، ماندگاری میوه بهتر بوده و از ضایعات کمتری برخوردار خواهد بود (EL-Katatny *et al*., 2012).

کلسیم به‌عنوان ماده مغذی ضروری گیاه با افزایش سفتی میوه، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی، به تاخیر انداختن فرآیند توسعه رنگ و افزایش ماندگاری در شرایط نگهداری، نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های کیفی فیزیکی و فیزیولوژیکی میوه‌های گوجه‌فرنگی دارد. اعتقاد بر این است که مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعدد میوه‌های گوجه‌فرنگی با افزایش سطوح یون کلسیم (Ca^{+2}) در میوه با کاهش سرعت تنفس و تولید اتیلن کنترل می شوند (Mazumder *et al*., 2021). جذب، انتقال و توزیع کلسیم در درون گیاه تحت تاثیر فاکتورهای مختلف بیولوژیکی، اقلیمی و خاک است. به دلیل حرکت کند کلسیم در آوندهای چوبی و توزیع غیریکنواخت در اندام‌های مختلف گیاه کمبود آن به وفور در میوه‌ها مشاهده می‌شود. غلظت پایین کلسیم در بافت میوه دلیل بسیاری از ناهنجاری‌های فیزیولوژیک بخصوص پوسیدگی گلگاه میوه است (Sarwat *et al*., 2013). محلول‌پاشی کود موثرترین راه برای بهبود وضعیت تغذیه گیاهان است، بنابراین لازم است با روش‌هایی همانند محلول‌پاشی، مقدار کلسیم را در میوه‌ها افزایش داد. یافته‌های یک پژوهش نشان داد که استفاده از منابع مختلف کلسیم، محتوای قند کل، ویتامین ث و کارتنوئید را در میوه‌های فلفل شیرین افزایش داد (Buczkowska *et al*., 2016). تیمار قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد، حفظ کیفیت، کاهش نشت یونی و افزایش سفتی کلم بروکلی شد (Kou, 2015). محلول‌پاشی قبل از برداشت لاکتات کلسیم در گیاه فلفل دلمه‌ای، محتوای ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar *et al*., 2018). تیمار قبل از برداشت کلرید کلسیم در گوجه‌فرنگی با افزایش محتوای اسید آسکوربیک، کاروتنوئید، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، باعث بهبود کیفیت میوه شد (Mazumder et al., 2021). همچنین محلول‌پاشی کربنات کلسیم باعث افزایش عملکرد قابل فروش، محتوای ویتامین ث، ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی شد (Patane *et al*., 2018).

آسکوربیک اسید به عنوان یک محرک زیستی رشد گیاه شناخته شده است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیسمی مانند سنتز پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و آنزیم ها نقش دارد (Smirnoff, 2011). اسید آسکوربیک (ویتامین ث) یک ترکیب ضروری برای بافت‌های گیاهی است زیرا دارای عملکرد آنتی‌اکسیدانی است و به عنوان کوفاکتور آنزیمی و تنظیم کننده رشد گیاه عمل می‌کند. اسید آسکوربیک همچنین نقش مهمی در فرآیندهای مختلف مانند فتوسنتز، تقسیم و تمایز سلولی و محافظت در برابر تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Fenech *et al*., 2019).

اسیدآسکوربیک یکی از ترکیبات مهم در میوه گوجه‌فرنگی، نه تنها به عنوان ویتامین در متابولیسم طبیعی یاخته‌ها نقش دارد بلکه به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی باعث خنثی شدن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو می‌شود و عملکرد و کیفیت سبزی‌ها و میوه‌ها را بهبود می‌بخشد (Minutolo *et al*., 2020). در سال‌های اخیر، کاربرد خارجی اسیدآسکوربیک به عنوان یک مولکول بیولوژیکی ایمن برای حفظ کیفیت پس از برداشت محصولات باغبانی مورد توجه قرار گرفته است. کاربرد برگی آسکوربیک اسید در فلفل دلمه‌ای، رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه بخصوص محتوای ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar *et al*., 2018). کاربرد برگی اسید آسکوربیک در گوجه‌فرنگی، عملکرد را افزایش داد و با کاهش تجمع پراکسید هیدروژن و مالین دی‌آلدئید و پراکسیداسیون لیپیدی غشاء، به‌طور موثری تنش اکسیداتیو را در گیاه کاهش داد (Ashibur Rahman et al., 2021).

با این حال، طبق بررسی‌های صورت گرفته، اطلاعات کمی در مورد تأثیر برهمکنش اسید آسکوربیک و کلرید کلسیم قبل از برداشت بر کیفیت میوه‌های گوجه‌فرنگی در دسترس است. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کلرید کلسیم بر ویژگی‌های کیفی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی در زمان برداشت بود.

مواد و روش

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. اوایل خرداد ماه نشاءهای گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD) در مرحله چهار – پنج برگی با فاصله بین ردیف‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در مزرعه کشت شدند. تیمارهای آزمایشی شامل اسیدآسکوربیک در ۴ سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و کلرید کلسیم در ۴ سطح (۰، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد) بود و هر واحد آزمایش شامل ۶ بوته بود (Najafi and Barzegar, 2022Rab and Haq, 2012 ;). پس از استقرار اولیه گیاهان، اولین محلول‌پاشی کلریدکلسیم و اسیدآسکوربیک در شروع گلدهی صورت گرفت و دو بار با فاصله ۱۵ روز یکبار در طول دوره گلدهی و رشد میوه‌ها تکرار شد. نتایج حاصل از تجزیه خاک محل آزمایش در جدول یک آورده شده است. سیستم آبیاری (قطره‌ای–نواری) و دوره آبیاری دو روز یکبار بود و در طول فصل رشد وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

جدول ۱ـ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table1- Soil physical and chemical parameters of the experiment location

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})	نیتروزن (درصد) Nitrogen (%)	کلسیم (گرم بر کیلوگرم) Calcium (g kg^{-1})	سدیم (گرم بر کیلوگرم) Sodium (g kg^{-1})	پتاسیم (گرم بر کیلوگرم) Potassium (g kg^{-1})	ماده آلی organic matter	بافت خاک soil texture
7.4	1.49	0.07	0.12	0.13	0.20	0.94	لوم رسی Lomy clay

صفات مورد ارزیابی

میوه‌های گوجه‌فرنگی در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ برداشت گردید و صفات کیفی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه پنترومتر مدل (OSK 1618) با پروب به قطر ۳ میلی‌متری بر روی ۳ عدد میوه انجام شد. آزمون سفتی بافت در هر تکرار از دو سمت مقابل هم و از روی پوست میوه انجام شد. سفتی بافت براساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ میله (تا محل مشخص شده) در میوه برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع بیان شد (Jalili Marandi, 2012).

محتوای مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO Brixo-32%) بر حسب درصد بریکس اندازه‌گیری شد (Mostofi and Najafi, 2014) برای اندازه‌گیری اسیدیته میوه از عصاره تهیه شده از گوشت میوه استفاده گردید و قرائت آن با استفاده از pH متر مدل (Consort-c863) اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری اسیدکل (TA) از تیتراسیون با هیدروکسید سدیم استفاده گردید. بدین منظور ۱۰ میلی‌لیتر آب میوه با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم رسانیده و سپس سه قطره معرف فنل فتالئین به آن اضافه شد. محلول حاصل با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیتر گردید و عمل تیتر کردن تا پایان ظهور رنگ صورتی پایدار ادامه یافت. درنهایت حجم هیدروکسید مصرفی (V) ثبت گردید. مقدار اسیدکل به صورت درصد اسید قابل تیتراسیون میوه برحسب اسیدسیتریک مطابق با رابطه (۴-۳) محاسبه شد (Jalili Marandi, 2012).

$$TA\% = (V \times 0.0064 \times 100)/5$$

میزان اسیدآسکوربیک (ویتامین ث) موجود در عصاره میوه به روش یدومتریک اندازه‌گیری شد. از عصاره میوه ۱۰ میلی‌لیتر در ظرف ریخته و روی آن دو میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد (یک گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد) اضافه گردید. محلول حاصل با محلول ید (۱/۲۶۹ گرم ید + ۱۶/۶ گرم یدید پتاسیم) را مخلوط کرده و سپس به حجم یک لیتر رسانده، تیتر گردید و عمل تیتراسیون تا تشکیل رنگ خاکستری روشن ادامه یافت. برای محاسبه آسکوربیک اسید عصاره میوه از معادله زیر استفاده شد (Jalili Marandi., 2012).

$$A = SNF * 88.1 \times 100/10$$

A: میزان اسید آسکوربیک در عصاره میوه (۱۰۰ میلی‌لیتر بر میلی‌گرم)، S: مقدار محلول ید مصرف شده، N: نرمالیته محلول ید مصرف شده (۰/۰۱)، F: فاکتور محلول ید مصرف شده، ۸۸/۱= عدد ثابت

میزان فلاونوئید کل میوه با روش (Kaijv *et al*., 2006) اندازه‌گیری شد. برای تهیه عصاره، یک گرم از بافت میوه با استفاده از متانول ۸۰٪ ساییده شده و به حجم ۸ میلی‌لیتر رسانده شد. با اضافه کردن $NaNO_2$ و $AlCl_3$ و

NaOH یک مولار به حجم ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب محلول پس از ۵ دقیقه در طول موج ۵۰۷ نانومتر خوانده شد.

محتوای فنل کل میوه با استفاده از معرف فولین سیکالتو (Folin Ciocalteau) استفاده شد. برای این منظور ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های رقیق شده همراه ۲ میلی‌لیتر Na_2Co_3 دو درصد در لوله آزمایش ریخته شد و به مدت دو دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از واکنشگر فولین سیکالتو ۵۰٪ به آن اضافه شد. مخلوط واکنش به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری و سپس میزان جذب آن در طول موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد (Singleton *et al.*, 1965).

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش رادیکال‌های آزاد DPPH استفاده شد. و برحسب درصد با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Dehghan *et al.*, 2012).

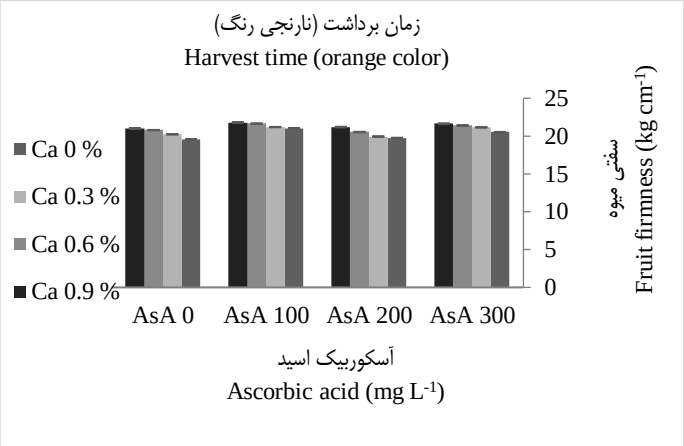
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی =DPPH جذب نمونه− جذب DPPH /جذب ×100

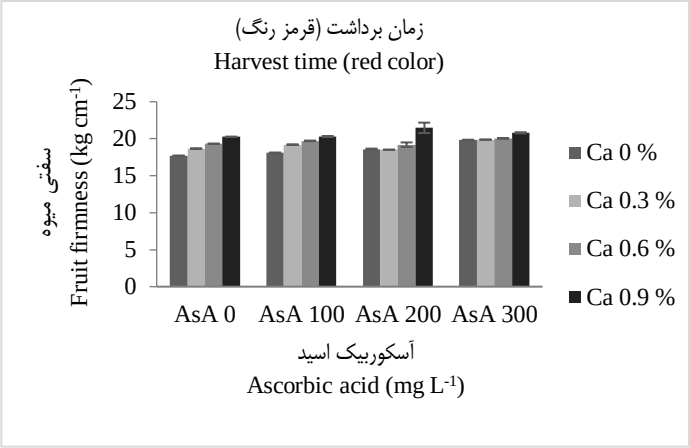
تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه 9.1 انجام شد و جهت مقایسه میانگین‌ها آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد استفاده قرار خواهد گرفت و رسم نمودارها به کمک نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج وبحث

سفتی بافت میوه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۲)، اثرات برهمکنش تیمارهای اسیدآسکوربیک، کلریدکلسیم و زمان برداشت بر میزان سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود. با توجه به نتایج، میوه‌های شاهد برداشت شده در مرحله نارنجی (۱۹/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر) نسبت به قرمز رنگ (۱۷/۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر) بافت سفت‌تری داشتند. کاربرد کلسیم بطور معنی‌داری سفتی بافت میوه را بهبود بخشید. بیشترین میزان سفتی بافت (۲۱/۷ و ۲۱/۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر) به ترتیب در میوه‌های نارنجی رنگ تحت تیمار اسیدآسکوربیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ و ۰/۶ درصد و میوه‌های قرمز رنگ حاصل از تیمار اسید آسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ درصد به دست آمد (شکل۱) که در مقایسه با میوه‌های گیاهان شاهد باعث افزایش حدود ۱۰ درصد سفتی بافت میوه شد.





شکل ۱. اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلرید کلسیم بر سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ.

Figure 1. The effect of foliar spray of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on fruit firmness of tomato harvested at two red and orange stages.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و اسیدآسکوربیک بر صفات کیفی میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ.

Table 2. Variance analysis of the effect of foliar application of calcium chloride and ascorbic acid on tomato fruit quality traits harvested at two red and orange stages.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سفتی بافت میوه Fruit firmness	مواد جامد محلول Total soluble solids	اسیدیته pH	اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity
بلوک Block	2	0.105	1.093	0.010	0.00003
اسیدآسکوربیک Ascorbic acid (AsA)	3	4.415^{ns}	1.130**	0.128**	0.0006**
کلرید کلسیم Calcium chloride (Ca)	3	1.835**	0.218*	0.042^{ns}	0.0008^{ns}
زمان برداشت Harvest time	1	56.779**	4.463**	0.235**	0.026**
اسیدآسکوربیک× کلرید کلسیم AsA x Ca	9	3.061**	0.785**	0.038*	0.0015**
اسیدآسکوربیک× زمان برداشت AsA × harvest time	3	2.018**	0.105*	0.016**	0.0006**
کلرید کلسیم× زمان برداشت Ca × harvest time	3	2.573*	0.503**	0.004^{ns}	0.0011^{ns}
اسیدآسکوربیک× کلریدکلسیم× زمان برداشت AsA × Ca × harvest time	9	1.103**	0.234*	0.033**	0.0018**
خطا Error	62	0.057	0.109	0.018	0.000022
ضریب تغییرات(%) C.V.	-	1.19	8.35	2.81	3.05

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

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

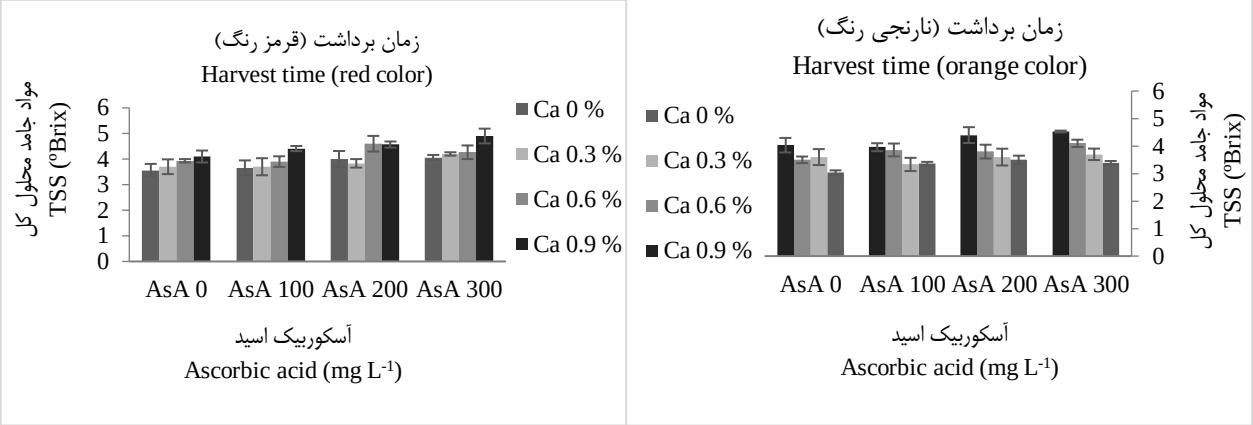
سفتی بافت میوه یکی از ویژگی‌های کیفی مهم میوه گوجه‌فرنگی است و با تغییرات کمی و کیفی مواد پکتینی در مراحل مختلف رسیدگی ارتباط مستقیم دارد (Esfahani *et al.*, 2018). در طول رسیدن، سفتی میوه به دلیل فعالیت آنزیم‌های پلی گالاکتوروناز و گلوکوزیداز کاهش می‌یابد (Sabir and Agar, 2011). کاربرد قبل از برداشت کلرید کلسیم بر میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در مراحل مختلف بلوغ از مرحله رنگ‌اندازی تا قرمز رنگ نشان داد که سفتی بافت میوه از مرحله رنگ‌اندازی تا قرمز رنگ کاهش یافت و همچنین با افزایش غلظت کلرید کلسیم، سفتی بافت میوه افزایش یافت (Tolasa *et al.*, 2021). تاثیر کلسیم بر افزایش سفتی و بهبود خصوصیات فیزیکی

نسخه پیش انتشار

میوه به دلیل تاثیر این عنصر در تشکیل دیواره سلولی و استحکام غشاء سلولی می‌باشد. پایداری دیواره سلولی و غشاء ارتباط نزدیکی با میزان سفتی گوشت میوه دارد. کلسیم به صورت پکتات کلسیم در تیغه میانی برای استحکام دیواره سلولی ضروری است و افزایش استحکام بافت در اثر کلسیم گزارش شده است (Cooper *et al.*, 2007 ; Singh *et al.*, 2007). کاربرد کلریدکلسیم ۲ درصد باعث حفظ سفتی بافت میوه هلو رقم Swelling شد (El-Shazly *et al.*, 2013). تاثیر کلسیم در افزایش سفتی میوه فلفل گزارش شده است (Rubio *et al.*, 2009). بر اساس نتایج برزگر و همکاران (Barzegar *et al.*, 2018) کاربرد برگی اسیدآسکوربیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و لاکتات‌کلسیم (۱/۵ گرم در لیتر)، سفتی بافت میوه فلفل دلمه‌ای را بهبود بخشیدند. همچنین، لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2014) دریافتند که تیمار ۴۰ میلی‌مولار اسید آسکوربیک به طور قابل توجهی کاهش سفتی میوه آلو را به تاخیر انداخت. پیشنهاد کردند که اثرات تیمار اسید آسکوربیک در به تاخیر انداختن نرم شدن میوه و همچنین بهبود کیفیت پس از برداشت ممکن است به دلیل کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء با افزایش ظرفیت سلول‌ها برای حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش تنفس میوه‌ها باشد.

مواد جامد محلول

کاربرد اسیدآسکوربیک و کلرید کلسیم تاثیر معنی‌داری بر محتوای مواد جامد محلول میوه داشت (جدول۲). با توجه به نتایج، میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمز رنگ مواد جامد محلول بیشتری داشتند و کاربرد کلریدکلسیم و اسید آسکوربیک تاثیر مثبت بر مقدار مواد جامد محلول میوه نشان دادند (شکل۲)، بطوی‌که کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم ۰/۹ درصد در میوه‌های قرمز رنگ باعث افزایش ۲۷/۳ درصد مقدار مواد جامد محلول کل میوه در مقایسه با شاهد شد.



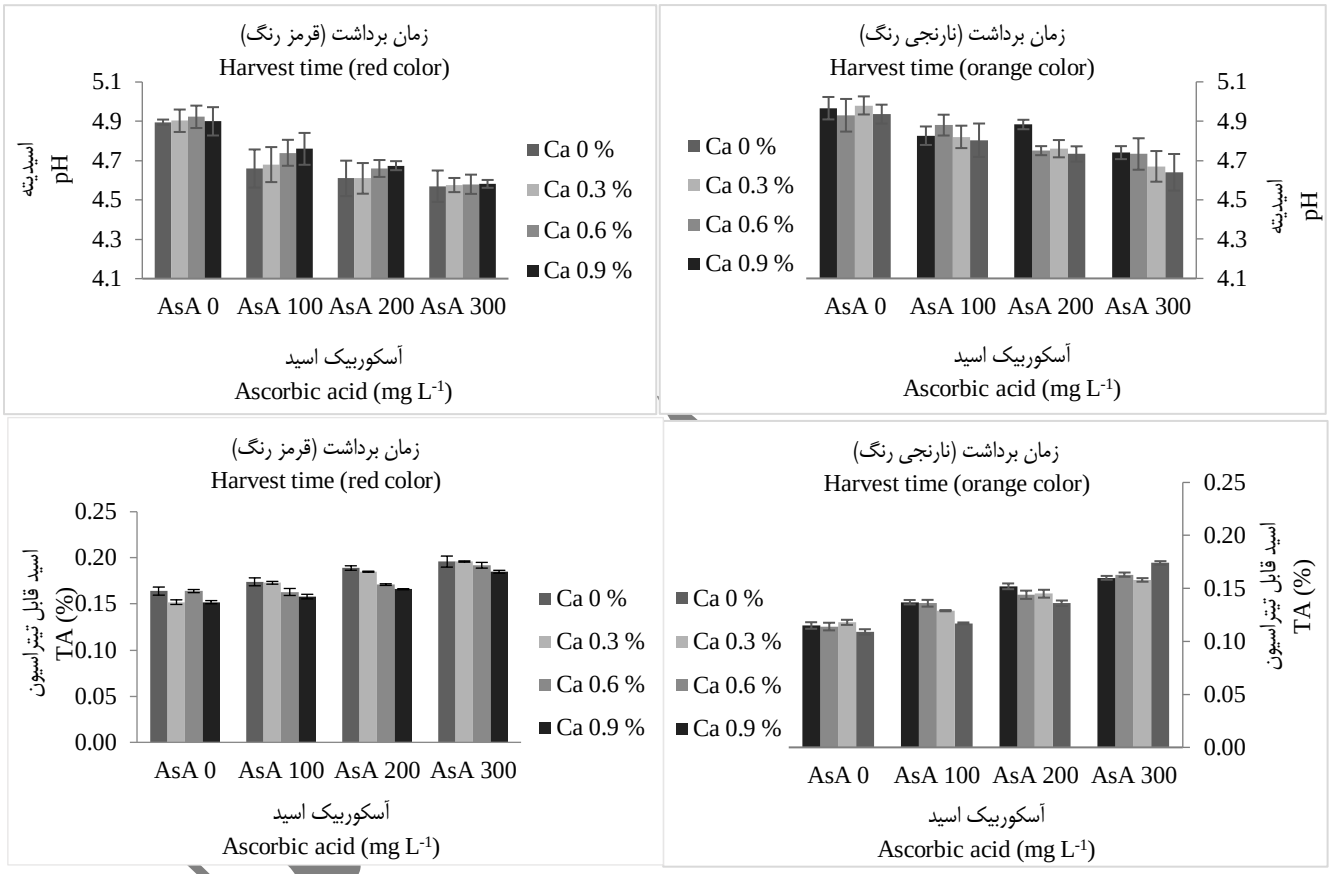
شکل۲. اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم بر مواد جامد محلول میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ.

Figure 2. The effect of foliar spray of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on total soluble solids (TSS) content of tomato fruits harvested at two red and orange stages.

کیفیت تغذیه‌ای میوه گوجه‌فرنگی تحت تاثیر شرایطی که گیاه گوجه‌فرنگی رشد می‌کند و مرحله رسیدن میوه در زمان برداشت قرار دارد. میوه‌هایی که در مرحله اول بلوغ برداشت شدند در مقایسه با میوه‌هایی که در مرحله رسیده کامل برداشت شدند مواد جامد محلول کمتری داشتند (Kacjan *et al*., 2011). با توجه به بررسی‌های انجام شده اثر کلسیم بر مواد جامد محلول متغیر است، بطوری که گزارش شد تیمار پس از برداشت کلریدکلسیم ۲ درصد، تاثیر معنی‌داری بر افزایش مواد جامد محلول میوه ازگیل ژاپنی (*Mespilus germanica* L.) داشته است (Akhtar *et al*., 2010). محلول‌پاشی برگی کلرید کلسیم ۰/۶ درصد همراه با بوراکس در گوجه‌فرنگی موجب افزایش مقدار مواد جامد محلول کل میوه شد (Rab and Haq, 2012). گزارش شد تیمار کلریدکلسیم در گوجه‌فرنگی تاثیر معنی‌داری بر مقدار مواد جامد محلول کل میوه نداشت ولی در غلظت‌های بالا (۱/۵ و ۲ درصد) تا حدودی باعث کاهش مقدار مواد جامد محلول شد (Mazumder et al., 2021). کاربرد لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر، در کاهو باعث افزایش مواد جامد محلول گردید. کلسیم باعث کاهش سرعت تنفسی و جلوگیری از فرآیند تجزیه و شکستن کربوهیدرات‌ها شده و این حالت باعث حفظ مواد جامد محلول میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود (Khani *et al*., 2020). تفاوت در محتوای مواد جامد محلول میوه گیاهان تیمار شده با کلسیم در زمان برداشت نشان‌دهنده اثرات کلسیم بر تجمع کربوهیدرات در میوه‌ها بود که پتانسیل متفاوتی بر تنفس و در نتیجه انبارمانی میوه‌ها داشت (Barzegar *et al*., 2018). گزارش شده است که تیمار اسیدآسکوربیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تاثیر را بر محتوای مواد جامد محلول میوه فلفل دلمه‌ای داشت (Fateh *et al*., 2019). محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک باعث افزایش مواد جامد محلول در میوه‌های فلفل شیرین شد (Mohammed, 2013). افزایش میزان مواد جامد محلول و قند کل را با محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک روی میوه‌های گلابی (Le- Conte) گزارش کردند (Hafez *et al*., 2010).

اسیدیته (pH) و اسید قابل تیتراسیون (TA)

شکل۳، اثر محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کلرید کلسیم و زمان برداشت را بر میزان اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون میوه‌های گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد. میزان اسیدیته در میوه‌های نارنجی و قرمز رنگ شاهد تیمار نشده تفاوت معنی-داری نداشت ولی در گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک و کلرید کلسیم، مقدار اسیدیته در میوه نارنجی رنگ بطور معنی‌داری بیشتر از میوه‌های قرمز بود. محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک میزان اسیدیته میوه را کاهش داد. حداقل اسیدیته در میوه‌های قرمز رنگ حاصل از گیاهان تحت محلول‌پاشی اسید آسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همه سطوح کلرید کلسیم حاصل شد (شکل۳). برعکس میزان اسید قابل تیتراسیون در میوه‌های قرمز رنگ بیشتر از میوه‌های نارنجی بود و کاربرد اسید آسکوربیک میزان اسید قابل تیتراسیون میوه را افزایش داد. تیمار اسید آسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در میوه‌های قرمز رنگ، اسید قابل تیتراسیون را ۲۲/۵ درصد در مقایسه با میوه گیاهان تحت تیمار آسکوربیک اسید صفر و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد کاهش داد شد (شکل۳).



شکل۳. اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم بر اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ.

Figure 3. The effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on pH and titratable acidity (TA) of tomato fruits harvested at two red and orange stages.

اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به غلظت اسیدهای آلی (عمدتاً اسید سیتریک) موجود در میوه‌ها به صورت اسید آزاد، آنیون یا ترکیب شده به صورت نمک است که در طول رسیدن تحت تاثیر فرایند تنفس و تبدیل آنها به قند کاهش می‌یابد (Cheng *et al.*, 2017). اسیدآسکوربیک به علت ماهیت اسیدی و با تاخیر در فرآیند تنفس باعث افزایش و حفظ اسیدیته کل قابل تیتراسیون گردید (Elahviren Osalu *et al.*, 2016). گزارش شده است در گیاه فلفل

استفاده از اسیدآسکوربیک و کلسیم تاثیر مثبت قابل توجهی در اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون داشته است (Barzegar *et al.*, 2018). بررسی حاضر نشان داد که اسید قابل تیتراسیون هیچ تفاوت معنی‌داری بین سطوح کلرید کلسیم نشان نداد. با این حال، سطوح بالاتر باعث کاهش جزئی در اسید قابل تیتراسیون شد (شکل ۳) و الگوی مشابهی از نتایج توسط مازومدر و همکاران (Mazumder *et al.*, 2021) به دست آمد که بیان داشتند کلرید کلسیم ۲ درصد به طور موثر اسیدیته میوه‌های گوجه فرنگی را کاهش داد که نشان دهنده کاهش نرخ تنفس است. گزارش شده است استفاده از کلرید کلسیم ۰/۵ و ۱/۵ درصد بیشترین مقدار اسیدیته را در میوه کنار هندی (*Ziziphus mauritiana*) نشان دادند (Bandari *et al.*, 2018).

ویتامین ث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارهای اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم و زمان برداشت از نظر میزان ویتامین ث وجود داشت (جدول۳). با توجه به نتایج، از نظر مقدار ویتامین ث بین میوه‌های شاهد تیمار نشده در دو مرحله برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی تیمار با اسید آسکوربیک و کلرید کلسیم باعث افزایش معنی‌دار ویتامین ث در میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمز رنگ گردید (شکل۴). محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم ۰/۹ در میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمز رنگ به ترتیب باعث افزایش ۵۳/۷ و ۵۴/۲ درصد محتوای ویتامین ث در مقایسه با میوه‌های قرمز و نارنجی گیاهان شاهد گردید (شکل۴).

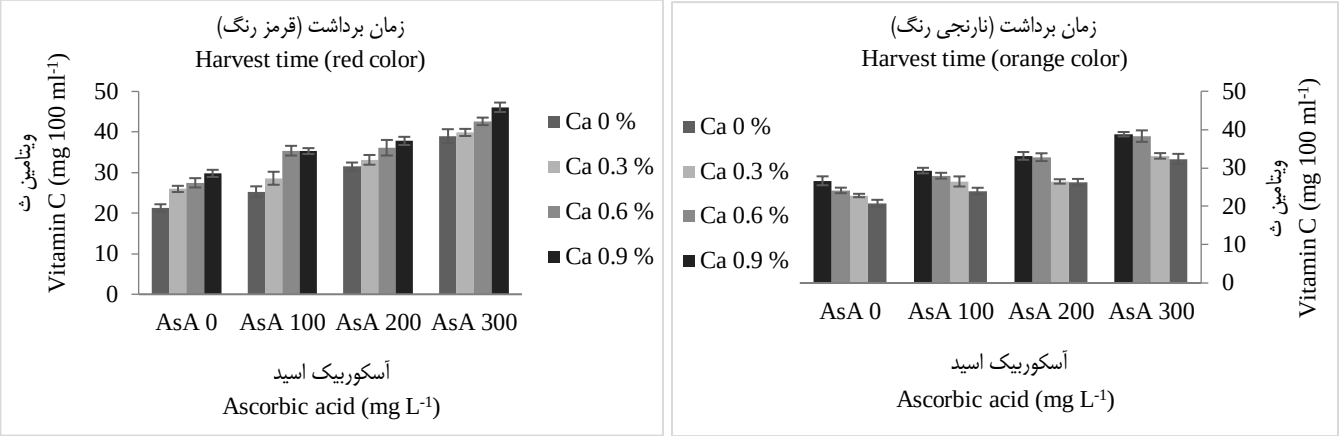
جدول ۳. تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی کلریدکلسیم و اسیدآسکوربیک بر برخی صفات کیفی میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ

Table 3. Variance analysis of the effect of foliar application of calcium chloride and ascorbic acid on some qualitative traits of tomato fruits harvested at two red and orange stages.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ویتامین ث Vitamin C	فلاونوئید Flavonoid	فنل کل Total phenol	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity
بلوک Block	2	32.75	0.055	8.59	11.19
اسیدآسکوربیک Ascorbic acid (AsA)	3	198.86**	3.38**	16.64*	105.21**
کلرید کلسیم Calcium chloride (Ca)	3	155.11**	3.71**	35.82*	56.02**
زمان برداشت Harvest time	1	57.36**	8.70**	25.48**	3.027**
اسیدآسکوربیک × کلرید کلسیم AsA × Ca	9	175.68**	5.087**	28.70**	32.40*
اسیدآسکوربیک× زمان برداشت AsA × harvest time	3	54.81**	2.23**	44.66**	16.43**
کلرید کلسیم× زمان برداشت Ca × harvest time	3	1.73*	0.157*	6.27**	35.70**
اسیدآسکوربیک× کلریدکلسیم× زمان برداشت AsA × Ca × harvesting time	9	91.44**	6.76**	24.91**	53.42**
خطای کرت اصلی Main plot error	62	2.53	0.074	0.827	2.032
ضریب تغییرات (%) C.V.	–	5.30	7.99	4.85	6.0007

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

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل٤ . اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم بر مقدار ویتامین ث میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ

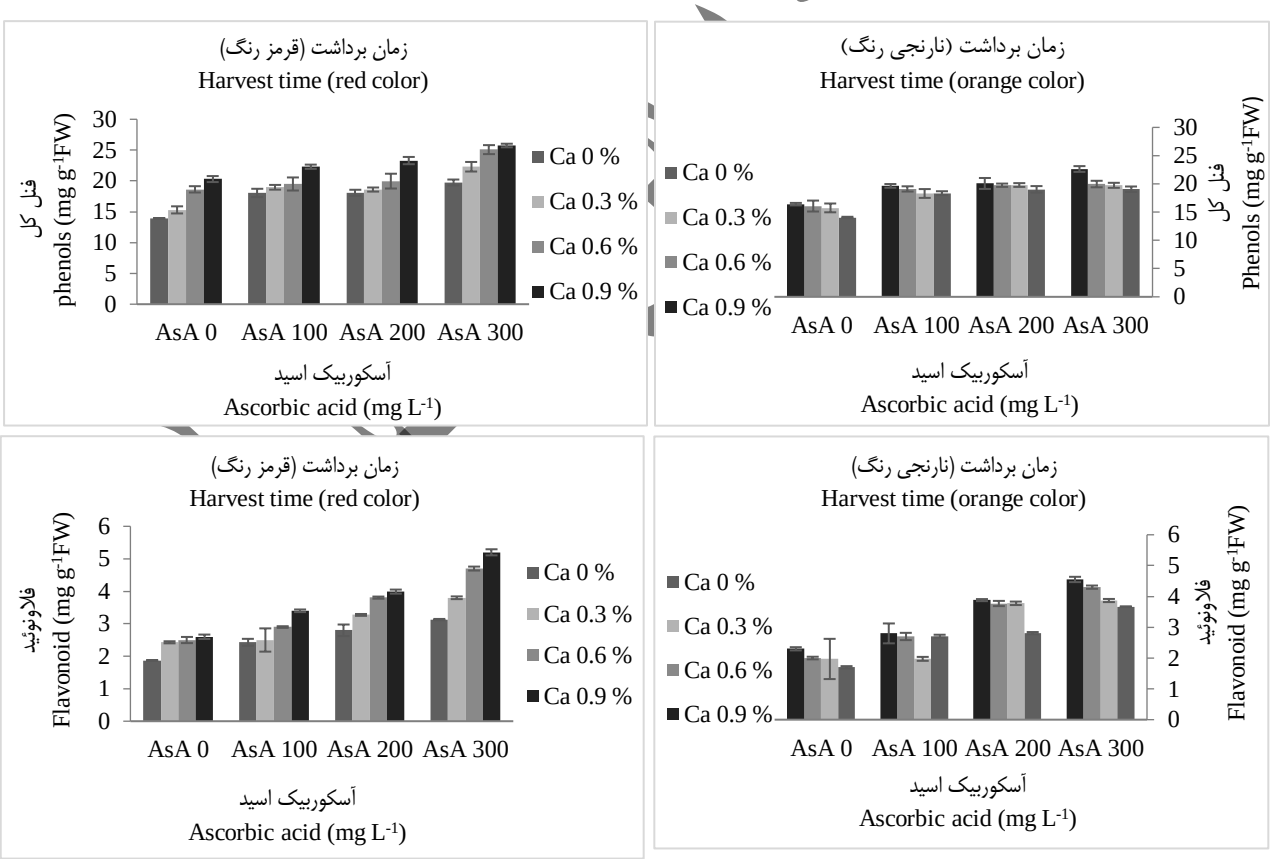
Figure 4. The effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on vitamin C content of tomato fruits harvested at two red and orange stages.

ویتامین ث جز مواد آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی در گیاه است که نسبت به دیگر مواد آنتی‌اکسیدانی به دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه می‌باشند. این ویتامین در مدت رسیدگی میوه و سبزی بر اثر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز و آسکوربیک اکسیداز تجزیه شده و مقدار آن کاهش می‌یابد (Wang *et al.*, 2013). تیمار کلسیم موجب حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث، فنل و فلاونوئید کل می‌شود. تیمار کلسیم با کاهش تولید و تخریب رادیکال‌های آزاد باعث حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث در ازگیل ژاپنی نسبت به شاهد شده است (Akhtar *et al.*, 2010). خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2019) گزارش کردند کاربرد لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر، باعث افزایش ویتامین ث در کاهو رقم (رد نیو فایر) شده است. طبق آزمایشات به دست آمده میزان ویتامین ث در فلفل با تیمار محلول‌پاشی کلسیم افزایش یافت (Barzegar *et al.*, 2018). در تحقیقی مقدار ویتامین ث در میوه‌های گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی شده با کلریدکلسیم ۱/۵ درصد، در مقایسه با غلظت‌های بالاتر و پایین‌تر کلرید کلسیم و تیمار شاهد افزایش یافت (Mazumder *et al.*, 2021). اسیدآسکوربیک به عنوان یک ترکیب‌آلی و آنتی‌اکسیدان، یک ویتامین ضروری است که می‌تواند از میوه‌ها و سبزی‌ها حاصل شود. نتایج حاصل با نتایج دیگر پژوهش‌ها مطابقت دارد که گزارش کردند کاربرد اسیدآسکوربیک به طور معنی‌داری مقدار ویتامین ث را در میوه آلو افزایش داد (Liu *et al.*, 2014). گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی اسیدآسکوربیک مقدار ویتامین ث را در فلفل‌دلمه‌ای افزایش داد (Mohammed., 2013). همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی

اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با غلظت‌های پایین‌تر و گیاهان شاهد، مقدار ویتامین ث را در فلفل‌دلمه‌ای افزایش داد (Fateh *et al.*, 2019).

محتوای فنل و فلاونوئید کل

نتایج به دست آمده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کلریدکلسیم و اسیدآسکوربیک و زمان برداشت در مقدار فنل و فلاونوئید مشاهده شد (جدول۳). مقدار فنل کل و فلاونوئید در میوه‌های قرمز رنگ تفاوت معنی‌داری با میوه‌های نارنجی نداشت و محلول‌پاشی برگی اسید آسکوربیک و کلرید کلسیم موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید در میوه‌ها شدند (شکل۵). بیشترین مقدار فنل (۲۵/۷۴ و ۲۵/۰۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) و فلاونوئید (۵/۲ و ۴/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) در میوه‌های قرمز رنگ تیمار شده با اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۰/۹ و ۰/۶ درصد حاصل شد به‌طوریکه موجب افزایش ۴۵ درصدی محتوای فنل و ۶۵ درصدی محتوای فلاونوئید در مقایسه با میوه‌های قرمز شاهد شدند (شکل۵).



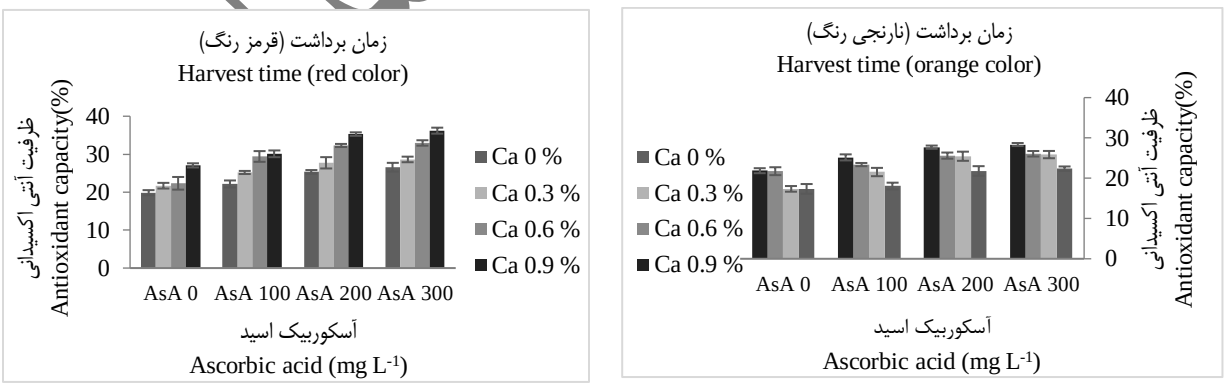
شکل ۵ . اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم بر محتوای فنل و فلاونوئید کل میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ

Figure 5. The effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on total phenol and flavonoid contents of tomato fruits harvested at two red and orange stages.

میوه‌ها و سبزی‌ها منبع بسیار عالی از مواد آنتی‌اکسیدانی مانند فنل و فلاونوئید هستند (Takahashi and Badger., 2011). ترکیبات فنلی به دلیل نقش آن‌ها در کیفیت تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزیجات مانند رنگ، تلخی و طعم مهم هستند (Vinson *et al.*, 2001). نتایج ما با نتایج مازومدر و همکاران (Mazumder *et al.*, 2021) تطابق دارد که گزارش کردند مقدار ترکیبات فنولیک کل در گوجه‌فرنگی با توسعه بلوغ میوه از مرحله سبز بالغ تا قرمز رنگ افزایش یافت و کاربرد کلرید کلسیم ۲ درصد در مقایسه با غلظت‌های پایین‌تر باعث افزایش محتوای ترکیبات فنولیک شد. کلسیم با حفظ استحکام دیواره سلولی و کاهش رادیکال‌های آزاد باعث کاهش اکسیداسیون فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌شود (Kou et al., 2015). افزایش محتوای کل فنل‌ها و فلاونوئیدها در میوه محلول‌پاشی شده با اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند به نقش اسیدآسکوربیک به عنوان یک آنتی‌اکسیدان در غلظت بالا مرتبط باشد (Youwei and Xinzhe, 2013). مقدار فلاونوئید در میوه‌های نارس به مراتب بیشتر از مقدار آن در میوه‌های کاملا رسیده است (Ainuddin and Hajilo, 2016).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) برگ

با توجه به نتایج، برهمکنش تیمارهای اسیدآسکوربیک، کلریدکلسیم و زمان برداشت تاثیر معنی‌داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی داشتند (جدول۳). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های قرمز رنگ بیشتر از میوه‌های نارنجی رنگ بود. همچنین کاربرد برگی اسید آسکوربیک و کلریدکلسیم منجر به افزایش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه شد (شکل۶). بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۳۶/۲ و ۳۵/۳ درصد) به ترتیب با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک ۳۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد در میوه‌های قرمز رنگ مشاهده شد که به ترتیب باعث افزایش ۴۵/۳ و ۴۳/۹ درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه در مقایسه با میوه‌های قرمز شاهد شد (شکل۶).



شکل ٦. اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی رنگ.

Figure 6. The effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on antioxidant capacity of tomato fruits harvested at two red and orange stages.

رابطه‌ای مثبت و قوی بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فلاونویید و فنل‌کل و ویتامین‌ث گزارش شده است که به نظر می‌رسد در بسیاری از گونه‌های گیاهی این رابطه برقرار باشد (Farhoudi *et al.*, 2017). میوه‌های خربزه درختی (*Carica papaya* L.) تیمار شده با کلسیم بالاترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به شاهد نشان دادند (Madani *et al.*, 2014). در گیاهان گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی شده با کلرید کلسیم ۲ درصد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه نسبت به شاهد و غلظت‌های پایین‌تر افزایش معنی‌داری نشان داد (Mazumder *et al.*, 2021). نتایج این آزمایش با نتایج خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2019) همخوانی دارد که بیان داشتند کاربرد کلسیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را افزایش داد. در بین آنتی‌اکسیدان‌ها، اسیدسیتریک و اسیدآسکوربیک به صورت گسترده به منظور جلوگیری از فرآیند قهوه‌ای شدن و کاهش جمعیت میکروب‌ها در میوه‌ها استفاده می‌شود (Jalili Marandi and Shafaei, 2015). اسیدآسکوربیک از مهمترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی با وزن مولکولی پایین است که در فرآیندهای رشدی و نموی گیاه نقش بارزی بر عهده دارد (Wang *et al.*, 2013). تیمار میوه‌های توت فرنگی، سیب و هلو با اسیدآسکوربیک باعث افزایش ترکیبات فنلی و ظرفیت جذب رادیکال‌های آزاد اکسیژن شد (Rababah *et al.*, 2005). همانطور که نتایج نشان می‌دهد کاربرد کلرید کلسیم و اسید آسکوربیک با افزایش محتوای فنل کل فلاونوئید و ویتامین ث منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی شد.

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج، شاخص‌های کیفی و فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار گرفتند. اثر برهمکنش اسیدآسکوربیک و کلریدکلسیم به خصوص در غلظت‌های بالاتر باعث افزایش سفتی بافت میوه، مواد جامد محلول، ویتامین ث و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش اسیدیته منجر به افزایش اسید قابل تیتراسیون شد. کاربر کلسیم به‌طور معنی‌داری سفتی بافت میوه را بهبود بخشید که بیشترین سفتی در میوه‌های نارنجی رنگ در زمان برداشت مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج، کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۹ درصد جهت بهبود رشد، کیفیت، شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد پیشنهاد می‌گردد.

References

Ainuddin, M.S., & Hajilo, J. (2016). Effect of post-harvest application of methyl jasmonat on qualitative traits and storage life of strawberry cv. ‘camarosa’. *Journal of Food Industry Research* 26(2): 287-286. (In Persian with English abstract).

Akhtar, A., Abbasi, N.A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany* 42(1): 181-188.

Ashibur Rahman, M., Zakaria, M., Baset Mia, M.A., & Sanaullah Biswas, M.D. (2021) Ascorbic acid influences on growth and yield of tomato. *Annals of Bangladesh Agriculture* 25 (1): 55-65. https://doi.org/10.3329/aba.v25i1.58155

Bandari, F.S., Rastegar, S., & Ghasemi, M. (2018). The effect of preharvest application of calcium chloride, putrescine and salicylic acid on some quality and quantity characters of

Hindi ber (*Ziziphus mauritiana* khormaee). *Journal of Horticulture Science 32*(2): 227-237. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i2.58482

Barzegar, T., Fateh, M., & 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. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.011

Buczkowska H., Michalojc, Z., & Nurzynska-Wierdak, R. (2016). Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 40 (2): 222- 228. https://doi.org/10.3906/tar-1501-56

Cheng, H.M., Koutsidis, G., Lodge, J.K., Ashor, A., Siervo, M., & Lara, J. (2017). Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis* 257: 100-108. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2017.01.009

Cooper T., Gargiulo S., Streif J., & Retamales J. (2007). Effect of calcium content and calcium application on softening of Hayward kiwifruit. *Acta Horticulturae* 753: 297-304. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.753.37

Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry* 131: 422–427. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074

Elahviren Osalu, A., Farrokhzad, A.R., & Asghari, M.R. (2016). Effect of foliar spray with ascorbic acid on some qualitative characteristics and improving color of apple fruit (*Malus domestica* cv. Red Spur). *Plant Productions* 39(3): 113-125. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2016.12062

El-Banna, E.A., & Abd, E.S.H. (2006). Effect of foliar application with organic compounds on growth yield and tubers quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science Mansoura University* 31(2): 1165-1173. https://doi.org/10.21608/jssae.2006.236943

El-Katatny, M.H., & Emam, A.S. (2012). Control of postharvest tomato rot by spore suspension and antifungal metabolites of *Trichoderma harzianum*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 2021, 1505-1528.

El-Shazly S.M., Eisa A.M., Moatamed A. M.H., & Kotb H.R.M. (2013). Effect of some agro-chemicals preharvest foliar application on yield and fruit quality of "swelling "peach trees. *Alexandria Journal of Agricultural Research* 58 (3): 219-229.

Esfahani, Z., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nikbakht, J. (2018). Effects of foliar application of Megafol on yield, fruit quality and water use efficiency of tomato Cv. Rio

Grande under water deficit stress. *Journal of Crops Improvement* 19(4): 995-1009. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.210332.1472

Farhoudi, R., Mehrnia, M.A., & Lee, D.J. (2017). Antioxidant activities and bioactive compounds of five Jalopeno pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Natural Product Research* 6: 1–4. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1410801

Fateh, M., Barzegar, T., & Razavi, F. (2019). The effect of foliar application of ascorbic acid and calcium lactate on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. *Journal of Horticulture Science* 33(1): 79-87. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i1.70145

Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M.A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and Regulation. *Frontier in Plant Science* 9: 2006. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006

Hafez, O.M., Hamouda, H.A., & Abd- El- Mageed, M.A. (2010). Effect of calcium and some antioxidants treatments on storability of "Le- Conte" pear fruits and its volatile components. *Nature and Science* 8(5): 109-126.

Jalili Marandi, R. (2012). Postharvest Physiology (Handling and storage of fruits, vegetables and ornamental plants). Publishers Jihad Urmia University. (2nd ed.). p 276.

Jalili Marandi, R., & Shafaei, Z. (2015). Effect of postharvest treatments of citric acid and salicylic acid on quality attributes of pear cv. sardrod fruit during storage. *Journal of Plant Productions* 38(1): 131 -143. https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11137

Kacjan, M.N., Gašperlin, L., Abram, V., Budič, M., & Vidrih, R. (2011). Quality parameters and total phenolic content in tomato fruits regarding cultivar and microclimatic conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35: 185-194. https://doi.org/10.3906/tar-0910-499

Kaijv, M., Sheng, L., & Chao, C. (2006). Antioxidation of flavonoids of green rhizome. *Food Science and Technology* 27: 110-115.

Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science* 34(1): 11-24. https://doi.org/10.13128/ahsc-8252

Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2019). Effect of foliar spray of calcium lactate on physiological characteristics, antioxidant activity and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under deficit irrigation. *Iranian Journal of Horticultural Science* 50(3): 649-665. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.259323.1456

Kou, L. (2015). Effects of pre- and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science* 50(12): 1801-1808. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1801

Kou, L., Yang, T., Liu, X., & Luo, Y. (2015). Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science* 50(12): 1801-1808. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1801

Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H., & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae* 176: 45–53. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.027

Madani, B., Muda Mohamed, M.T., Biggs, A. R., Kadir, J., Awang, Y., Tayebimeigooni, A., & Shojaei, T.R. (2014). Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya. *Crop Protection* 55: 55–60. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.009

Mazumder, M.N.N., Misran, A., Ding, P., Wahab, P.E.M., & Mohamad, A. (2021). Preharvest foliar spray of calcium chloride on growth, yield, quality, and shelf life extension of different Lowland tomato varieties in Malaysia. *Horticulturae* 7 (11): 466. https://doi.org/10.3390/horticulturae7110466

Minutolo, M., Chiaiese, P., Di Matteo, A., Errico, A., & Corrado, G. (2020). Accumulation of ascorbic acid in tomato cell culture: Influence of the genotype, source explant and time of in vitro cultivation. *Antioxidants* 9(3): 222. https://doi.org/10.3390/antiox9030222

Mohammed, G.H. (2013). Effect of seamino and ascorbic acid on growth, yield and fruits quality of pepper (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology* 17(2): 9-16.

Mostofi, Y., & Najafi, F. 2014. Analytical laboratory methods in horticultural sciences. Tehran University Press. 136P (In Persian).

Najafi, R., & Barzegar, T. (2022). The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco'). *Journal of Horticultural Science* 36(3): 577-589. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70150.1047

Niazi, H., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nadirkhanlou, L. (2021). Effect of light duration and calcium on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* cv. New Red Fire). *Journal of Vegetables Sciences* 4(2): 111-131. https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.521006.1135 (In Persian with English abstract).

Nizamani, S., Khaskheli, A. A., Jiskani, A. M., Khaskheli, S. A., Khaskheli, A. J., Poussio, G.B., ... & Khaskheli, M.I. (2020). Isolation and identification of the fungi causing tomato

fruit rot disease in the vicinity of Tandojam, Sindh. *Agricultural Science Digest-A Research Journal* 269: 186-190. https://doi.org/10.18805/ag.D-269

Patane, C., Pellegrino, A., & Di Silvestro, I. (2018). Effects of calcium carbonate application on physiology, yield and quality of field-grown tomatoes in a semi-arid Mediterranean climate. *Crop and Pasture Science* 69: 411-418. https://doi.org/10.1071/CP17424

Rab, A., & Haq, I.U. (2012). Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 36(6): 695-701. https://doi.org/10.3906/tar-1112-7

Rababah, T., Ereifej, K., & Howard, L. (2005). Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins and color in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 4444 -4447. https://doi.org/10.1021/jf0502810

Rubio, J.S., Garcia-Sanchez, F., Rubio, F., & Martinez, V. (2009). Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K+ and Ca2+ fertilization. *Journal of Horticultural Sciences* 119: 79–87. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.009

Sabir, F.K., & Agar, I.T. (2011). Influence of different concentrations of 1-methylcyclopropene on the quality of tomato harvested at different maturity stages. Journal of the science of food and agriculture 34:111-118. https://doi.org/10.1002/jsfa.4529

Sarwat, M., Ahmad, P., Nabi, G., & Hu, X. (2013). Ca^{2+} signals: the versatile decoders of environmental cues. *Critical Reviews in Biotechnololgy* 33: 97-109. https://doi.org/10.3109/07388551.2012.672398

Singh, R., Sharma, R.R., & Tyagi, S.K. (2007). Per-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorder, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 112: 215-220. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.019

Singleton V. L., & Rossi J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Enology and Viticulture* 16: 144-15.

Smirnoff, N. (2011). Vitamin C, the metabolism and functions of ascorbic acid in plants. *Advances in Botanical Research* 59: 107-77. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385853-5.00003-9

Takahashi, S., & Badger, M.R. (2011). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science* 16(1): 53-60. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.10.001

Tolasa, M., Gedamu, F., & Woldetsadik, K. (2021). Impacts of harvesting stages and pre-storage treatments on shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Cogent Food & Agriculture 7 (1): 1863620. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1863620

Vinson, J. A., Su, X., Zubik, L., & Bose, P. (2001). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 5315–5321. https://doi.org/10.1021/jf0009293

Wang, J., Zhang, Z., & Huang, R. (2013). Regulation of ascorbic acid synthesis in plants. *Plant Signaling and Behavior* 8 (6): e24536-3. https://doi.org/10.4161/psb.24536

Youwei, Y. & Yinzhe, R. (2013). Grape preservation using chitosan combined with β-cyclodextrin. *International Journal of Agronomy* 4: 1–8. https://doi.org/10.1155/2013/209235

نسخه پیش انتشار