Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

The effect of low temperature on fruit yield, quality and antioxidant properties of physalis under foliar spray of amino acids and selenium

Vali Rabiei[1], Arezoo Akbari[2], Taher Barzegar[*3]

1. Professor, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: rabiei@znu.ac.ir
2. Ph.D. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: a.akbari@znu.ac.ir
3. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: tbarzegar@znu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.24.2023
Revised: 10.18.2023
Accepted: 10.25.2023

Keywords:
Antioxidants enzymes,
Chilling injury,
Flavonoid,
Membrane stability index

ABSTRACT

Background and Objectives: Low temperature has a major influence on survival and geographical distribution of plants and as an important environmental factor, it affects plant productivity. Physalis (*Physalis peruviana* L.) belongs to the Solanaceae family and is a tropical and subtropical plant that is affected by low temperatures at beginning and end of the growing season. These fruits are highly beneficial to human health due to their nutritional and bioactive compounds (antioxidants, vitamins A, B, C, E and K1, flavonoids and carotenoids), so it has gained attention for cultivation worldwide. Amino acids (L-Phenylalanine and cysteine) or selenium play important roles in plant resistance to low temperature. However, the role of L-phenylalanine (Phe) and cysteine (Cys) or selenium (Se) in regulating chilling tolerance and improve fruit quality of physalis is still unknown. In this study, the effects of Phe, Cys and Se on quality and antioxidant capacity of physalis fruit under low-temperature stress were investigated.

Materials and Methods: The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replicates. The seeds of physalis (*Physalis peruviana* L.) were sown in seedling trays containing peat moss under optimal conditions of 25±2 °C during the day and 20±2 °C at night. Different concentrations of L-phenylalanine (0.75, 1.5, and 2.5 mM, Phe), L-cysteine (0.25, 0.5, and 0.75 mM, Cys), or sodium selenate (0.25, 0.5, and 1 mg L^{-1}, Se) were sprayed on the seedlings at the 4-5th true leaf stage. Distilled water was used as the control treatment. To induce chilling stress, plants with the basically same growth were transferred to a 4 °C climate chamber for 48 hours. The control group was grown under optimal conditions. After applying the chilling stress, the plants were returned to optimal growth conditions for 24 hours. Plants transplanted to the field and foliar sprayed three times (growth stage, flowering and fruit set stages) with amino acids and Se. After exposed plants to autumn chilling, fruits harvested during calix and fruit color change from green to orange stage, and plant height, yield and the quality characteristics of the fruit including carotenoid content, membrane stability index, titratable acidity, phenolic compounds and antioxidant activity were evaluated.

Results: The results showed that low temperature stress significantly decreased fruit yield, carotenoids content and membrane stability index (MSI), and increased titratable acidity, phenols and flavonoids content and phenylalanine ammonia-lyase (PAL), superoxide dismutase (SOD),

peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities. Foliar spray of Physalis plants with Phe, Cys and Se under cold stress significantly increased plant height, fruit yield, antioxidant enzymes activity, MSI, carotenoids, phenolic compound and TA. The highest value of MSI (38.46 and 36.1) was obtained in fruit of plants treated with Se 0.25 and 0.5 mg L^{-1} under low temperature condition. The maximum phenol content (8.08 and 7.83 mg L^{-1}) of fruit was observed with application of Phe 0.75 mM and Cys 0.25 mM in plants exposed to cold stress. Also, the highest antioxidant capacity was obtained in plant fruits treated with Phe 0.75 and 1.5 mM (60.8%), Cys 0.25 mM (60.26%) and Se 0.5 mg L^{-1}, respectively under low temperature condition, and the lowest antioxidant capacity (50.5%) was observed in control plant fruits.

Conclusion: The results of research showed that the foliar application of Phe, Cys or Se treatments, especially the levels of Phe 0.75 and 1.5 mM and Se 0.5 mg L^{-1} during seedling and field growing periods caused a significant increase in fruit yield, also increased the activity of antioxidant enzymes, phenolic compounds and the membrane stability index of fruits exposed to autumn cold and led to improvement of fruit quality.

Cite this article: Rabiei, Vali, Akbari, Arezoo, Barzegar, Taher. 2024. The effect of low temperature on fruit yield, quality and antioxidant properties of physalis under foliar spray of amino acids and selenium. *Journal of Plant Production Research*, 31 (3), 43-65.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21517.3060
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

اثر دمای پایین بر عملکرد، کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه عروسک پشت‌پرده تحت محلول‌پاشی برگی اسیدهای آمینه و سلنیوم

ولی ربیعی[۱]، آرزو اکبری[۲]، طاهر برزگر[*۳]

۱. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: rabiei@znu.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: a.akbari@znu.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: tbarzegar@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳

واژه‌های کلیدی:
آسیب سرمازدگی،
آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی،
شاخص پایداری غشاء،
فلاونوئید

چکیده

سابقه و هدف: دمای پایین تأثیر زیادی بر بقا و توزیع جغرافیایی گیاهان دارد و به عنوان یک عامل محیطی مهم، بهره‌وری گیاهان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. عروسک پشت‌پرده (*Physalis peruviana* L.) از خانواده سولاناسه و از گیاهان گرمسیری و نیمه‌گرمسیری می‌باشد که تحت‌تأثیر دماهای پایین در ابتدا و انتهای فصل رشد قرار می‌گیرد. این میوه‌ها به دلیل داشتن ترکیبات تغذیه‌ای و زیست‌فعال (آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌های A، B، C، E و K1، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها) برای سلامتی انسان بسیار مفید هستند، بنابراین برای کشت در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. اسیدهای آمینه (ال-فنیل آلانین و سیستئین) و سلنیوم نقش مهمی در مقاومت گیاه به دمای پایین دارد. با این حال، نقش فنیل‌آلانین (Phe)، سیستئین (Cys) و سلنیوم (Se) در تنظیم تحمل به سرما و بهبود کیفیت میوه عروسک پشت‌پرده هنوز ناشناخته است. در این مطالعه اثر فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر کیفیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین در سطوح (۰/۷۵ و ۲/۵ میلی‌مولار)، سیستئین (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار)، سلنیوم (۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم) و شاهد محلول‌پاشی با آب مقطر در مزرعه بود. بذرها در گلخانه با شرایط دمایی ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب کشت گردید. تیمار اسیدهای آمینه و سلنیوم در مرحله ۵-۴ برگ حقیقی انجام شد و سپس به‌منظور اعمال تنش دمای پایین نشاها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد در سردخانه قرار گرفتند و گیاهان شاهد همراه با اعمال تنش سرما و فاقد تنش سرمایی بودند. سپس نشاها به مزرعه منتقل شدند.

گیاهان سه بار در مرحله رویشی، شروع گلدهی و میوه‌دهی با اسیدهای آمینه و سلنیوم تیمار شدند. پس از مواجه شدن گیاهان با سرمای پاییزه در مزرعه، میوه‌ها در مرحله تغییر رنگ کاسبرگ و تغییر رنگ میوه از سبز به نارنجی برداشت شدند و صفات ارتفاع بوته، عملکرد میوه و صفات کیفی میوه شامل محتوای کارتنوئید، شاخص پایداری غشاء، اسید قابل تیتراسیون، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش دمای پایین، مقدار عملکرد میوه، محتوای کاروتنوئید و شاخص پایداری غشاء را کاهش داد و میزان اسید قابل تیتراسیون، محتوای فلانوئید و فنل کل میوه و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، فنیل‌آلانین آمونیالیاز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. تیمار گیاهان با اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم تحت تنش دمای پایین باعث افزایش معنی‌دار عملکرد میوه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای کاروتنوئید، شاخص پایداری غشاء، اسید قابل تیتراسیون، محتوای فلانوئید و فنل کل میوه شد. بیش‌ترین میزان شاخص پایداری غشاء (۳۸/٤٦ و ۳٦/۰۱) در میوه‌های حاصل از گیاهان تیمار شده با هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم مشاهده گردید. بیش‌ترین مقدار فنل (۸/۰۸ و ۷/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در میوه گیاهان تحت تنش دمای پایین تیمار شده با فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار و سیستئین ۰/۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد. بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تیمار شده با فنیل‌آلانین ۰/۷۵و ۱/۵ میلی‌مولار (٦۰/۸ درصد)، سیتئین ۰/۲۵ میلی‌مولار (٦۰/۲٦ درصد) و سلنیوم ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط تنش دمای پایین و کم‌ترین میزان (۵۰/۵ درصد) آن در گیاهان شاهد فاقد تنش سرما به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تیمار اسیدهای آمینه به‌خصوص سطوح ۰/۷۵ و ۲/۵ میلی‌مولار فنیل آلانین و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بر گیاه عروسک پشت پرده در مرحله نشاء و رشد در مزرعه، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد میوه گردید، هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی، شاخص پایداری غشاء میوه‌های مواجه شده با سرمای پاییزه را افزایش داد و باعث بهبود کیفیت میوه شد.

استناد: ربیعی، ولی، اکبری، آرزو، برزگر، طاهر (۱۴۰۳). اثر دمای پایین بر عملکرد، کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه عروسک پشت‌پرده تحت محلول‌پاشی برگی اسیدهای آمینه و سلنیوم. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۱ (۳)، ۶۵-۴۳.
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21517.3060

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

عروسک پشت‌پرده (*Physalis peruviana* L.) گونه‌ای متعلق به خانواده Solanaceae می‌باشد که در مناطق نیمه‌گرمسیری و گرمسیری، چند ساله و در مناطق سردسیری به‌صورت یکساله کشت می‌گردد (۱). میوه‌های آن به دلیل محتوای بالای آنتی‌اکسیدان‌ها (اسید اسکوربیک و پرو ویتامین A)، فسفر، آهن، پروتئین و فیبر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۲).

دمای پایین یکی از مخرب‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که اغلب بر رشد گیاه و بهره‌وری محصول تأثیر می‌گذارد که باعث تلفات قابل توجه محصول می‌شود. گیاهان در تحمل سرمازدگی (۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد) و یخزدگی (زیر صفر درجه سانتی‌گراد) متفاوت هستند. به‌طورکلی، گیاهان برای زنده ماندن در شرایط تنش در سطوح مولکولی و سلولی و هم‌چنین در سطوح فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به این تنش واکنش نشان می‌دهند و با آن سازگار می‌شوند (۳). کاهش دما در مرحله رشد نشاء و هم‌چنین در مرحله تولیدمثل به‌ترتیب باعث کاهش تولید بذر و کاهش عملکرد می‌گردد (٤). در کل ظهور علائم سرمازدگی در گیاهان به حساسیت آن‌ها به سرما بستگی داشته و از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت است. مسا و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند اعمال تنش سرما در مرحله نشاء گوجه‌فرنگی، محتوای مواد جامد محلول کل، اسید قابل تیتراسیون را افزایش و محتوای لیکوپن میوه را کاهش داد و تأثیر معنی‌داری بر مقدار آسکوربیک اسید میوه نداشت (۵). یکی از راه‌های افزایش تحمل به تنش در گیاهان استفاده از مواد مغذی و محرک رشد مانند اسیدهای آمینه و سلنیوم می‌باشد که با تغییرات فیزیولویکی و بیوشیمیایی که در گیاه ایجاد می‌کنند منجر به افزایش تحمل به تنش در گیاهان می‌شوند. در شرایط نامساعد محیطی عمل ساخت اسیدهای آمینه در گیاه کاهش یا متوقف می‌شود، که مصرف اسیدهای آمینه به‌صورت کود، نیاز ساخت آن را توسط گیاه برطرف کرده و این امکان را به گیاه می‌دهد که انرژی ذخیره شده خود را صرف رشد بیش‌تر و بالا بردن عملکرد و کیفیت محصول نماید (٦). یکی از پاسخ‌ها به تنش در گیاهان، تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است، که از طریق پراکسیداسیون اجزای لیپیدی غشاء و هم‌چنین از طریق برهمکنش مستقیم با ماکرومولکول‌های مختلف، آسیب قابل‌توجهی ایجاد می‌کنند. سلول‌ها مکانیسم‌های مختلفی را برای کنترل سطح گونه‌های اکسیژن فعال دارند (۷). این گونه‌های اکسیژن فعال توسط متابولیت‌های آنتی‌اکسیدانی با وزن مولکولی کم مانند گلوتاتیون، اسید اسکوربیک، α-توکوفرول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز حذف می‌شوند (۸).

فنیل‌آلانین به‌عنوان یک پیش‌ماده برای مجموعه وسیعی از متابولیت‌های ثانویه، از جمله فنیل پروپانوئیدها، فلاونوئیدها، دیواره سلولی لیگنین، آنتوسیانین‌ها و تعداد زیادی متابولیت‌های دیگر نیز می‌باشد (۹). محلول‌پاشی اسید آمینه فنیل‌آلانین در طول رشد گیاه باعث افزایش محتوای آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولی در میوه‌های انگور شد (۱۰). سیستئین یک اسید آمینه حاوی گوگرد است که به‌عنوان پیش‌ساز پروتئین‌ها، کوفاکتورهای ویتامین و آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند گلوتاتیون و برخی ترکیبات دفاعی در گیاهان عمل می‌کند (۱۱). سیستئین در گیاه لیچی (*Litchi chinensis* Sonn.) منجر به حفظ pH اسیدی پریکارپ، همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول کل همراه با کاهش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و محتوای مواد جامد محلول بالاتر، اسید قابل تیتراسیون، محتوای اسید اسکوربیک گردید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT) و

سوپراکسید دیسموتاز (SOD) را نیز حفظ کرد (۱۲). تیمار پس از برداشت میوه‌های ازگیل ژاپنی با اسید آمینه سیستئین، محتوای ترکیبات فنلی، کاروتنوئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد و باعث تاخیر در کاهش میزان قند کل، ویتامین ث و پیری میوه شد (۱۳).

سلنیوم در گیاهان با تنش اکسیداتیو ناشی از عوامل غیرزیستی مختلف مقابله می‌کند و در برخی از محصولات نیز منجر به بهبود کیفیت گیاه می‌گردد (۱٤). سلنیوم به‌عنوان یک عنصر مفید در غلظت‌های کم، رشد گیاه را نیز افزایش می‌دهد و به‌دلیل مشابهت شیمیایی که با گوگرد دارد گیاهان از طریق ناقلین گوگرد از خاک جذب می‌کنند و میزان انتقال آن در اندام‌های مختلف گیاهی بسته به گونه گیاه، مرحله رشد، دما و رطوبت خاک متفاوت می‌باشد (۱٤). طبق مطالعات پیشین، افزودن سلنیوم به محلول‌های مغذی کیفیت و ماندگاری کاهو و کاسنی را بهبود بخشید (۱۵). کاربرد نمک‌های مختلف سلنیوم می‌تواند با مهار پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز، گیاهان را از تنش‌های زنده و غیر زنده محافظت کند (۱٦). طیف وسیعی از تنش سرما در مناطق معتدله وجود دارد که هم از نظر زمان و هم از نظر شدت دمای پایین متفاوت است. سرمازدگی پاییزه در مناطق معتدله کوهستانی بسیار رایج است. عروسک پشت‌پرده به‌عنوان سبزی فصل گرم در تمام مراحل رشد و نمو به تنش سرمایی حساس است. بروز دمای پایین در فصل پاییز همزمان با بلوغ و رسیدن میوه عروسک پشت‌پرده منجر به سرمازدگی و خسارت محصول می‌شود. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثرات دمای پایین و کاربرد اسیدهای آمینه و سلنیوم بر صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه عروسک پشت‌پرده بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان، در فصل زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی با اسیدآمینه فنیل‌آلانین (Phe) در دو سطح (۰/۷۵ و ۲/۵ میلی‌مولار)، سیستئین (Cys) دو سطح (۰/۵ و ۱ و میلی‌مولار)، و عنصر سلنیوم (Se) در دو سطح (۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم) بود که همه گیاهان پس از محلول‌پاشی تیمارها تحت تنش دمای پایین قرار گرفتند و گیاهان شاهد محلول‌پاشی با آب مقطر بدون تنش (Control) و تحت تنش دمای پایین (٤ درجه سانتی‌گراد) (Control-Ci) در مرحله نشاء بودند (۱٦ و ۱۷). بذر عروسک پشت‌پرده (*Physalis peruviana* L.) از شرکت پاکان بذر تهیه گردید. بذرها در سینی‌های کشت حاوی پیت‌ماس در گلخانه تحقیقاتی در اسفند ماه ۱٤۰۰ کشت شدند. گلخانه دارای شرایط دمایی ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ٦۵-٦۰ درصد و نور طبیعی بود. تیمار اسیدهای آمینه و سلنیوم در مرحله ۵-٤ برگ حقیقی به صورت محلول‌پاشی برگی انجام شد و سپس به‌منظور اعمال تنش دمای پایین نشاها به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۱±٤ درجه سانتی‌گراد در سردخانه قرار گرفتند. نشاها در اول خرداد ماه با فاصله ۱۵۰×۲۰۰ سانتی‌متر در زمین اصلی کشت گردید و دو هفته پس از استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی برگی فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنات سدیم با همان غلظت‌ها، سه بار در مرحله رشد رویشی (۸ تا۱۰ برگی)، آغاز گلدهی و ظهور اولین میوه با فاصله ۱۵ روز انجام شد. آبیاری گیاهان در مزرعه به‌صورت نواری-قطره‌ای با دور آبیاری دو روز در میان انجام گردید. کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد گیاه به روش دستی انجام شد. پس از

مواجه شدن گیاهان با سرمای پاییزه به مدت شش روز در اواسط آبان ماه (شکل ۱) در مزرعه، میوه‌ها در مرحله تغییر رنگ کاسبرگ و میوه از سبز به نارنجی در آبان ماه برداشت شدند (شکل ۲). جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و جدول ۲ و شکل ۱، به ترتیب میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی در دوره رشد گیاه و حداقل دمای روزانه در آبان ماه را نشان می‌دهند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه.

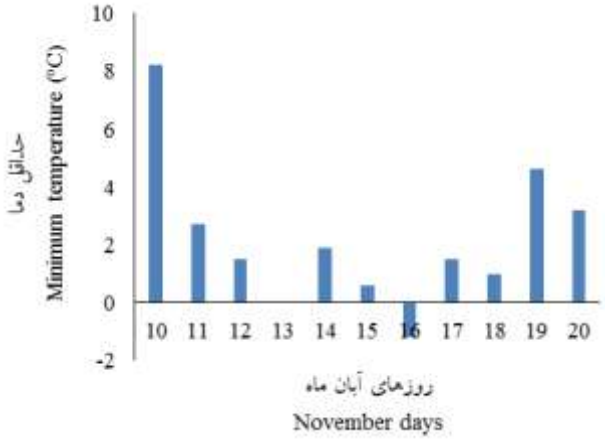
Table 1. Physical and chemical properties of the Experiment soil.

پتاسیم K ($g.kg^{-1}$)	سدیم Na ($g.kg^{-1}$)	کلسیم Ca ($g.kg^{-1}$)	نیتروژن N (٪)	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	ماده آلی Organic matter (%)	بافت خاک Soil Texture
0.20	0.13	0.12	0.07	1.49	7.4	0.94	لومی رسی Loamy clay

جدول ۲- میانگین بلندمدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد (۱۴۰۰) گیاه عروسک پشت‌پرده.

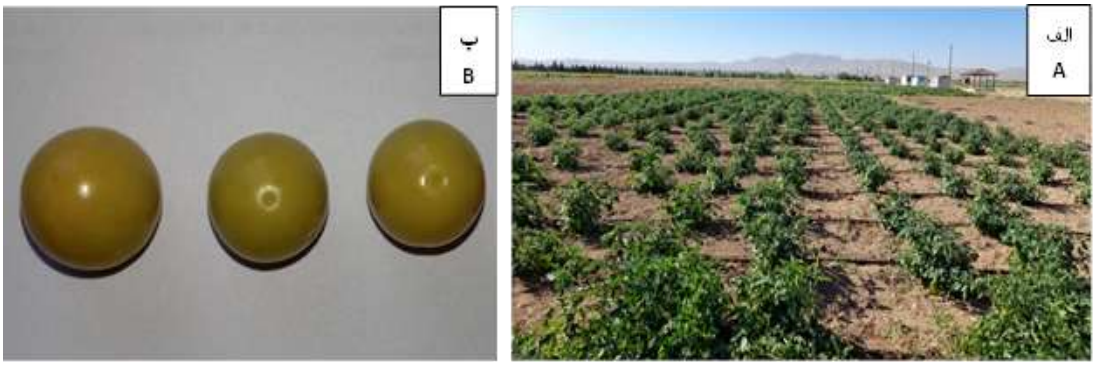
Table 2. Mean-long meteorological parameters of Zanjan Synoptic station during of physalis growing (2021).

بالاترین دما Maximum temperature (°C)	میانگین دما Average temperature (°C)	کمترین دما Minimum temperature (°C)	سرعت باد Wind speed ($m\ S^{-1}$)	ساعات آفتابی Sunny hours	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	ماه Month
37.3	21.2	4.3	2.6	10.5	31.4	0.1	June / خرداد
39	24.6	10.8	2.7	11.9	30.2	0	July / تیر
40.9	25.7	10	3.2	11.3	34.7	0	August / مرداد
36	8	22.2	2.2	10.3	28.9	0	September / شهریور
32.3	18.3	2.7	2.5	9.4	36.2	0.5	October / مهر
22	9.3	-1.8	2.1	6.1	65.2	21.1	November / آبان



شکل ۱- حداقل دمای روزانه از ۱۰ تا ۲۰ آبان ماه ۱۴۰۱.

Fig. 1. Daily minimum temperature from 1st to 10th November, 2021.



شکل ۲- گیاهان عروسک پشت‌پرده در مزرعه (الف) و میوه‌ها در مرحله برداشت (ب).

Fig. 2. Physalis plants in field (A) and fruits at harvest stage (B).

صفات مورد ارزیابی: در پایان دوره رشد، ارتفاع بوته بر حسب سانتی‌متر و میوه‌های هر بوته پس از برداشت توزین گردید و عملکرد کل میوه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

برای سنجش محتوای کاروتنوئید ۰/۵ گرم از بافت تازه میوه با استون ۸۰ درصد ساییده شد. عصاره به دست آمده با ۵۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول روشناور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Monaco Safas 232 RS) در طول موج‌های ۵۱۰ و ٤٨٠ نانومتر برای کاروتنوئید خوانده شد. در نهایت غلظت آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (۱۸).

(۱)

کاروتنوئید = [7.6 (A480) – 1.49 (A510)]×V/W×1000

که در آن، A جذب طول موج ویژه، V حجم نهایی کلروفیل در استون ۸۰ درصد، W وزن‌تر بافت استخراج شده.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء در میوه، هدایت الکتریکی (EC_1) و سپس هدایت الکتریکی (EC_2) آن‌ها پس از سرد شدن با دستگاه هدایت‌سنج (مدل پرتابل، Metrohm سوئیس) قرائت شد و شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI)[1] با استفاده از رابطه زیر به‌صورت درصد محاسبه شد (۱۹).

$$MSI = (1- EC1/EC2) \times 100 \quad (۲)$$

به‌منظور اندازه‌گیری اسید کل میوه از روش تیتراسیون با سدیم هیدروکسید استفاده گردید و در نهایت حجم هیدروکسید مصرفی ثبت گردید (۲۰). مقدار اسید کل به‌صورت درصد اسید سیتریک از رابطه زیر محاسبه گردید.

(۳) اسید قابل تیتراسیون (درصد) = [E×N×S×F/C] × 100

که در آن، E اکی‌والان اسید موردنظر، N نرمالیته محلول سدیم هیدروکسید، S مقدار سدیم هیدروکسید مصرف شده (میلی‌لیتر)، F فاکتور NaOH، C مقدار عصاره (میلی‌لیتر).

برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL)، ۱ گرم از بافت میوه با ۵ میلی‌لیتر بافر بورات سدیم ۰/۱ مولار در هاون چینی همگن شد. مخلوط حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه برای انجام واکنش، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره‌رویی جدا

1- Membrane stability index

و در یک لوله آزمایش ریخته شد، در نهایت با افزودن دو میلی‌لیتر بافر بورات سدیم و ۰/۵ میلی‌لیتر فنیل‌آلانین ۲۰ میلی‌مولار به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن جهت اتمام واکنش، ۰/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۵ نرمال به نمونه‌ها اضافه گردید. در نهایت میزان جذب در ۲۹۰ نانومتر ثبت شده و بر اساس $U\ mg^{-1}$ protein بیان گردید (۲۱).

برای تهیه عصاره آنزیمی یک گرم نمونه گیاهی میوه در سه میلی‌لیتر بافر استخراج پتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) در هاون، سابیده شد. نمونه‌ها پس از همگن شدن به مدت ۲۰ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، اعداد به دست آمده بعد از قرائت در طول موج ٥٦٠ نانومتر ثبت گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز از طریق کاهش جذب H_2O_2 در طول موج ٢٤٠ نانومتر تعیین گردید. فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش تست گایاکول انجام شد و در طول موج ٤٧٠ نانومتر به مدت ۲ دقیقه دنبال شد (۲۲).

محتوای فنول کل براساس روش رنگ‌سنجی با استفاده از معرف فولین سیوکالتو به‌دست آمد. برای به دست آوردن منحنی استاندارد از اسید گالیک استفاده شد. در نهایت میزان فنول کل عصاره‌ها براساس میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن‌تر بیان گردید (۲۳). میزان فلاونوئید عصاره‌ها با روش رنگ‌سنجی (٢٤) اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن تر ارزیابی و گزارش شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش قدرت مهار رادیکال آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها از رابطه زیر به دست آمد (۲۵).

$$\text{درصد جذب DPPH} = \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب DPPH}}{\text{جذب DPPH}} \times 100 \quad (٤)$$

آنالیز داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS, V9 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اثرات تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر میزان عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). تنش دمای پایین باعث کاهش ٢٥/٤ درصدی عملکرد میوه در مقایسه با گیاهان شاهد فاقد سرما شد. بیش‌ترین مقدار عملکرد (۱۵۵۸/۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار سلنیوم ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای محلول‌پاشی نداشت (شکل ۳). چندین عامل محیطی بر رشد و عملکرد نهایی محصول تأثیر منفی می‌گذارد که تنش دمایی یکی از محدودکننده‌ترین این متغیرها است (٢٦). سیاری و همکاران (۲۰۱۳) اعلام کردند که بعد از کشت نشاء در مزرعه، ممکن است که به مدت چند روز نوسانات دمایی (بین سرمازدگی و دمای بهینه) رخ دهد و سبب تاخیر در رشد و گلدهی شده و در نتیجه عملکرد کل و کیفیت را کاهش داده و حتی گیاهان را از بین ببرد (۲۷). گزارش شد که کاربرد سلنیوم در غلظت‌های پایین (۵ و ۱۰ میکرومولار) در گیاه گوجه‌فرنگی، تأثیرات سودمندی بر رشد و بیوسنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پاسخ به تنش‌ها داشت (۲۸). گیاهان سیری (*Allium sativum* L.) که تحت تیمار سلنیوم رشد کردند، علی‌رغم کاهش غلظت کلروفیل، عملکرد بالاتری (۱۲ درصد افزایش در عملکرد وزن‌تر) نسبت به شاهد نشان دادند (۲۹).

سرجیا و همکاران (۲۰۰۱) در نتایج خود اعلام کردند که افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با سلنیوم ممکن است به حفظ یک رابطه خوب منبع و مقصد و در نتیجه افزایش سرعت فتوسنتز نسبت داده شود (۳۰).

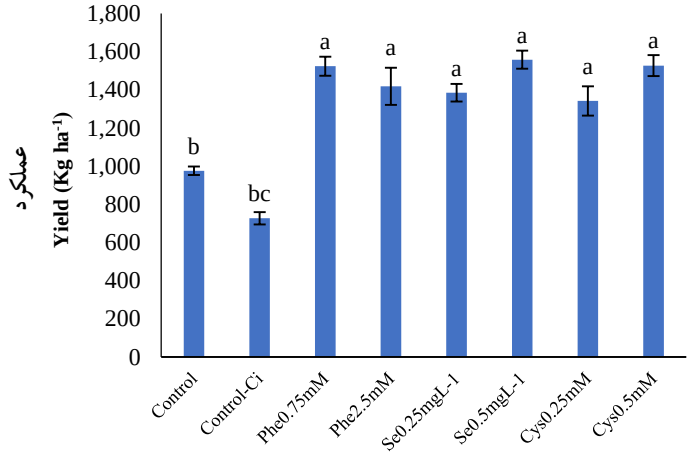
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر صفات کیفی میوه عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین.

Table 3. Variance analysis of the effect of phenylalanine, cysteine and selenium on quality characteristics of fruit under low-temperature stress.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares						
		عملکرد Yield	ارتفاع بوته plant height	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	کارتنوئید میوه Fruit carotenoids	اسید قابل تیتراسیون (%) TA	فنیل‌آلانین آمونیالیاز PAL	سوپراکسیددیسموتاز SOD
بلوک Block	2	2511.5	10.2916	1.309	0.0000019	0.01551	0.0000012	2.82
تیمارها Treatments	7	267641.2**	378.071**	132.13**	0.000010*	0.63092**	0.00009**	1424.62**
خطا error	14	11142.28	88.9107	8.65	0.0000027	0.05327	0.0000045	13.06
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		8.07	6.09	9.74	4.73	6.55	8.13	8.61

^{ns} غیرمعنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

^{ns} not significant, ** significant at one percent probability level, * significant at five percent probability level

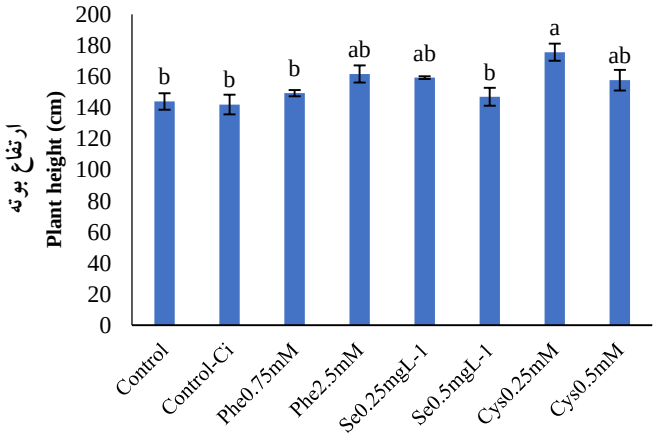


شکل ۳- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین (Phe)، سیستئین (Cys) و سلنیوم (Se) بر عملکرد میوه عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 3. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on yield of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control plants exposed to low-temperature stress.

ارتفاع بوته: با توجه به نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، کاربرد تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم در این آزمایش بر گیاهان تحت تنش تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نشان داد. تنش سرما تأثیری بر کاهش رشد گیاه و ارتفاع بوته نداشت. تیمار سیستئین ۰/۲۵ میلی‌مولار در مقایسه با گیاهان شاهد، ارتفاع بوته را ۲۳ درصد افزایش داد و نسبت به سایر تیمارها با فنیل‌آلانین ۲/۵ میلی‌مولار، سیستئین ۰/۵ میلی‌مولار و سلنیوم ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ٤).

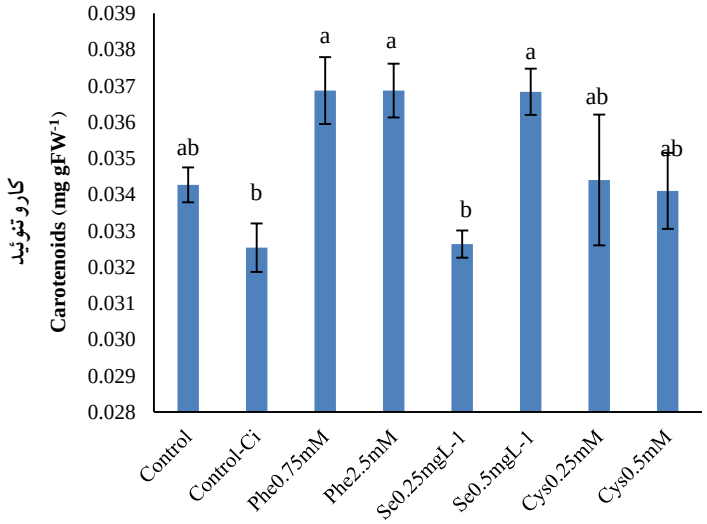
انواع مختلف تنش سرما از طرق مختلفی تولیدات گیاهی را متأثر می‌سازند که سرمای روزانه به‌عنوان فاکتور محدودکننده اصلی می‌باشد، تحت این شرایط نامساعد، تیمار اسیدآمینه تحمل به تنش بهتری را اعمال می‌کند. با افزایش هدایت روزنه‌ای و به ویژه با تحریک رشد ریشه، اسیدهای آمینه باعث تنظیم بهتر وضعیت آب گیاه می‌شوند. در کاربرد برون‌زای اسیدهای آمینه که به راحتی توسط گیاه جذب می‌شوند اثری مشابه تجمع طبیعی آن دارد و باعث صرفه‌جویی در انرژی و انتقال آن‌ها به گیاه می‌شوند و در صورت از بین رفتن شرایط نامساعد، این انرژی برای بازیابی گیاه بسیار مفید خواهد بود (۲٦). بنابراین، اسیدهای آمینه در بیوسنتز کلروفیل نقش دارند و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی ممکن است به دلیل ادغام اسیدهای آمینه در فرآیندهای آنابولیکی و هم‌چنین به دلیل افزایش کارایی متابولیک در گیاه باشد (۳۱). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (اورنیتین، فنیل آلانین و پرولین) روی بابونه باعث افزایش ارتفاع بوته شد (۳۲). علاوه براین، محلول‌پاشی گیاهان فلفل (*Capsicum annum* L.) با اسیدهای آمینه سبب افزایش ارتفاع گیاه، قطر کانوپی، تعداد شاخه، ماده خشک شاخساره، طول میوه، قطر میوه، درصد ماده خشک میوه، میزان اسید اسکوربیک و عملکرد نسبت به شاهد شد (۳۳).



شکل ٤- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین (Phe)، سیستئین (Cys) و سلنیوم (Se) بر ارتفاع بوته گیاه عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 4. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on plant height of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

کاروتنوئید میوه: بر اساس نتایج، کاربرد تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم تأثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید میوه گیاهان تحت تنش دمای پایین داشتند (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کاروتنوئید (۰/۰۳۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به ترتیب در تیمارهای فنیل‌آلانین ۰/۷۵ و ۲/۵ میلی‌مولار سلنیوم ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که با تیمار سیستئین ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند، کم‌ترین مقدار کاروتنوئید میوه با مقدار ۰/۰۳۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر میوه در تیمار شاهد تحت تنش سرما به دست آمد (شکل ۵). رنگدانه‌های کاروتنوئیدی نقش مهمی در حمایت از گیاهان در برابر فرآیندهای اکسیداتیو دارند که می‌تواند به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدانی با اکسیژن منفرد و رادیکال پراکسید واکنش دهند، هم‌چنین کاروتنوئیدها به‌همراه آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنولی و پرولین برخی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مولکولی کوچک مهم در گیاهان هستند (۳٤) که نقش مهمی را در دفاع از گیاهان در شرایط تنش ایفا می‌کنند. نشان داده شده است که کاربرد خارجی اسیدهای آمینه که به راحتی توسط گیاه جذب می‌شوند، اثری مشابه با تجمع طبیعی آن در گیاه دارد (۲٦). نتایج این پژوهش با نتایج پاکیش و محمدرضاخانی (۲۰۲۱) مطابقت دارد که گزارش دادند محلول‌پاشی درختان انبه با ۳۵ و ۷۰ پی‌پی‌ام اسیدآمینه آرژنین، محتوای کاروتنوئید و ترکیبات فنولی افزایش یافت (۳۵).

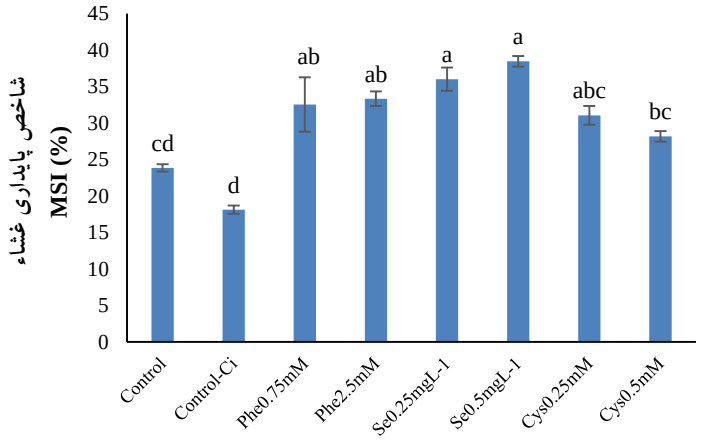


شکل ۵- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین (Phe)، سیستئین (Cys) و سلنیوم (Se) بر محتوای کاروتنوئید میوه عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 5. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on carotenoids content of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

شاخص پایداری غشاء میوه: اعمال تنش دمای پایین، شاخص پایداری غشاء را کاهش داد و کاربرد اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم نشان از بهبود شاخص پایداری غشاء بود. بیش‌ترین میزان شاخص پایداری غشاء در میوه‌های حاصل ازگیاهان تیمار شده با هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در

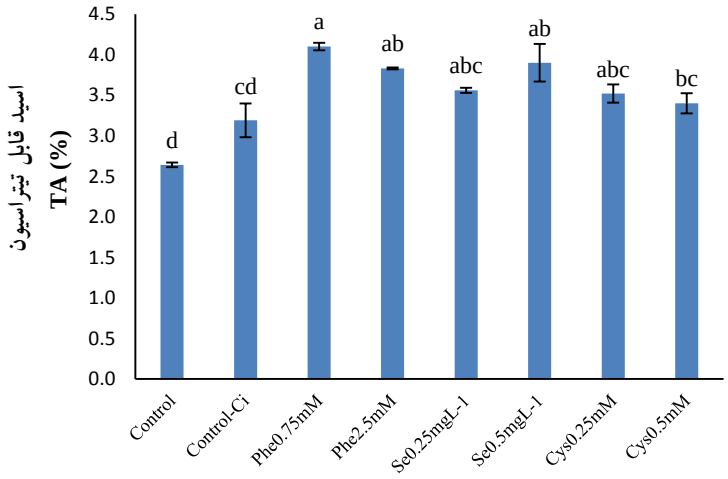
لیتر سلنیوم مشاهده گردید. با توجه به نتایج گیاهان شاهدی که تحت تنش سرما قرار داشتند کاهش قابل‌توجهی در پایداری غشاء نسبت به گیاهان تیمار شده با سلنیوم و شاهد فاقد تنش سرما نشان دادند (جدول ۳ و شکل ٦) که نشان‌دهنده آسیب بیش‌تر غشایی در میوه‌های این گیاهان می‌باشد. اولین بافتی که تحت‌تأثیر سرمازدگی قرار می‌گیرد غشای سلولی است و مالون دی‌آلدئید و نشت یونی از علائم مشهود آسیب به غشای سلولی می‌باشد (۳٦). شرایط نامطلوب محیطی مانند تنش سرمایی می‌تواند با القای تنش اکسیداتیو به غشای سلولی آسیب برساند. شاخص پایداری غشاء به‌طور قابل‌توجهی در نشاء گونه‌های حساس گوجه‌فرنگی وحشی در پاسخ به تنش دمای پایین افزایش یافت که منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش پایداری غشای سلولی شد (۳۷). پراکسیداسیون غشای سلولی ناشی از تنش سرما و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن منجر به کاهش پایداری غشاء می‌شود که می‌توان با اندازه‌گیری تجمع نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید آن را ارزیابی کرد (۳۸). کاربرد اسیدهای آمینه مانند سیستئین با افزایش محتوای کارتنوئید، فنل کل و فلانوئید میوه و هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، غشاء سلولی را در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش دمای پایین محافظت می‌کنند (۱۳). فیلک و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که استفاده از سلنیوم در تنش‌ها می‌تواند ترکیب چربی و اسیدهای چرب غشاهای پوششی پلاستید را بازیابی کند (۳۹). علاوه بر این، فعالیت آنزیم‌هایی که برای عملکرد غشاء مهم هستند را می‌توان با استفاده از آن دوباره فعال و بازیابی کرد. بر اساس این نتایج، جلوگیری از تجمع مالون دی‌آلدئید و نشت یونی ممکن است با بهبود یکپارچگی غشای سلولی در پاسخ به سلنیوم مرتبط باشد، که احتمالاً ناشی از فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی است (۱۳).



شکل ٦- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر شاخص پایداری غشاء گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 6. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on membrane stability index (MSI) of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

اسید قابل تیتراسیون: تیمارهای اعمال شده مقدار اسید قابل تیتراسیون میوه عروسک پشت‌پرده را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۳ و شکل ۷). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون (٤/١ درصد) با کاربرد فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان تحت تنش دمای پایین حاصل شد که با تیمارهای فنیلآ و کم‌ترین مقدار (۲/٦ درصد) در گیاهان شاهد فاقد تنش سرما مشاهده شد (شکل ۷). میزان اسید قابل تیتراسیون یکی از ویژگی‌های مهمی است که به‌طور قابل توجهی بر طعم و هم‌چنین مشخصات تغذیه‌ای میوه تأثیر می‌گذارد (۱۲). بیدکی و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود با کاربرد اسیدهای آمینه بر دو رقم توت‌فرنگی، برخی ویژگی‌های کیفی مانند اسید قابل تیتراسیون، فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را مورد بررسی قرار داده و اعلام کردند که میزان اسید قابل تیتراسیون در میوه به‌طور مستقیم با میزان اسیدهای آلی مرتبط است و کاهش اسیدیته در نتیجه تغییرات متابولیکی در میوه به‌دلیل استفاده از اسیدهای آلی در فرایند تنفس می‌باشد (٤٠). زانگ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که کاربرد پس از برداشت اسید آمینه سیستئین، میزان اسید قابل تیتراسیون میوه ازگیل ژاپنی را حفظ کرد (۱۳). در مطالعات قبلی بیان شده است که بالا بودن اسید قابل تیتراسیون، عامل پایداری اسید آسکوربیک در میوه‌ها است و عروسک پشت‌پرده نیز مانند گوجه‌فرنگی یک میوه با اسیدیته بالا می‌باشد (٤١).



شکل ۷- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر اسید قابل تیتراسیون میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 7. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on titratable acidity (TA) of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (PAL, SOD, POD, CAT): تنش دمای پایین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، فنیل‌آلانین آمونیالیاز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد هر چند با گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۸). کاربرد فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم در گیاهان تحت تنش دمای پایین باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. با توجه به نتایج (شکل ۸)، حداکثر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در غلظت ۲/۵ میلی‌مولار اسید آمینه فنیل‌آلانین مشاهده شد که با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار فنیل‌آلانین و ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۸– A). بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۷۶/۰۶ و ۶۹/۰۱ میکرومول H_2O_2 بر گرم وزن تر در دقیقه) به ترتیب با کاربرد سلنبوم ۲/۵ ملی‌گرم در لیتر و فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان تحت تنش سرما حاصل شد (شکل ۸– B). بالاترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۴/۵۳ میکرومول H_2O_2 بر گرم وزن تر در دقیقه) با محلول‌پاشی اسیدآمینه فنیل‌آلانین ۱/۵ میلی‌مولار به‌دست آمد (شکل ۸-C). هم‌چنین با کاربرد ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار سیستئین و ۱/۵ میلی‌مولار فنیل‌آلانین، حداکثر فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۸۶، ۲/۷ و ۲/۶۵ میکرومول H_2O_2 بر گرم وزن تر در دقیقه) در میوه گیاهان عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین حاصل شد (شکل ۸–D). حداقل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در میوه گیاهان شاهد تیمار نشده مشاهده شد (شکل ۸). هنگامی که گیاهان تحت تنش سرما قرار می‌گیرند، میزان استفاده از O_2 کاهش می‌یابد و گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در سلول‌ها نمی‌توانند به موقع جاروب شوند، در نتیجه، محتوای رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد (۴۲). فنیل‌آلانین آمونیالیاز آنزیم اولیه مسیر فنیل پروپانوئید است که منجر به بیوسنتز مجموعه متنوعی از متابولیت‌های گیاهی مانند اسیدهای سینامیک، کومائیک، فرولیک و کافئیک، فلاونوئیدها، تانن‌ها و لیگنین‌ها می‌شود. در نتیجه این محصولات از گیاهان در برابر تنش‌های مختلف محافظت می‌کنند. قرار گرفتن در معرض دمای پایین و افزایش تولید ROS ها منجر به افزایش ترکیبات فنولی به‌عنوان تابعی از فعالیت فنیل‌آلانین آمونیالیاز برای محافظت از گیاه می‌شود و میزان آن در درجه اول به تأمین ماده اولیه فنیل‌آلانین بستگی دارد (۴۳). هم‌چنین، گیاه برای دفاع بیش‌تر از خود سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن اضافی فعال می‌کند. آنزیم‌های اصلی آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی شامل: سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز آسکوربیک (APX) می‌باشند، که هرچه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر باشد، توانایی حذف گونه‌های اکسیژن فعال بیش‌تر می‌گردد (۴۲). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز به عنوان اولین خط دفاع در برابر گونه‌های فعال اکسیژن در زمان تنش سرما و سایر تنش‌ها، O_2 را به H_2O_2 تبدیل می‌کند (۴۴). در مطالعات پیشین عنوان شده است که سلنیوم یک عنصر مهم در ارتباط با فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی است که از گیاهان در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده محافظت می‌کند، هم‌چنین با مهار پراکسیداسیون لیپیدها، تنش اکسیداتیو را خنثی و فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز (GSH-Px) را افزایش می‌دهد (۱۶). گزارش شد که دمای پایین باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گوجه‌فرنگی شد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند GPX و SOD برای کنترل اکسیدان‌ها و حفظ تعادل اکسیداسیون– احیاء در سلول القا می‌گردد (۳۷). بنابراین، سلنیوم در غلظت‌های مناسب می‌تواند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی

موجود در گیاهان را که عمدتاً مربوط به فعالیت‌های بهبود یافته سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و هم‌چنین کاهش پراکسیداسیون لیپیدها هستند را بهبود بخشد (٤٥).

پراکسیدازها نقش بسیار مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهی داشته و بسته به گونه گیاهی و شدت تنش ایجاد شده، میزان فعالیت آن‌ها در گیاه تغییر می‌کند. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که بین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تنش‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی یک ارتباط قوی وجود دارد (٤٦). در بررسی دو رقم موز مقاوم و حساس به سرما، رقم موز مقاوم به سرما تحت تنش، فعالیت POD را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد، در حالی‌که رقم حساس به سرما کاهش قابل‌توجهی در فعالیت این آنزیم را نشان داد (٤٧). مطالعات حیدری و همکاران (۲۰۲۱) بر روی گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما نشان داد که آنزیم‌ها به شدت در مهار گونه‌های اکسیژن فعال ناشی از دمای پایین نقش دارد و آنتی‌اکسیدان‌ها در گونه‌های متحمل بیش‌تر القا می‌شوند، که در آزمایش ما نیز تنش دمای پایین باعث القای بیش‌تر کاتالاز به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی برای محافظت از گیاه تحت‌تأثیر اسیدهای آمینه شد (۳۷). تیمار پس از برداشت میوه‌های ازگیل ژاپنی با اسیدآمینه سیستئین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز را در مقایسه با شاهد افزایش داد (۱۳) که با نتایج حاضر همخوانی دارد. علی و همکاران (۲۰۱٦) در آزمایش خود نشان دادند که کاربرد سیستئین در گیاه لیچی منجر به حفظ فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز گردید (۱۲) که نتایج به دست آمده از آزمایش آن‌ها با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

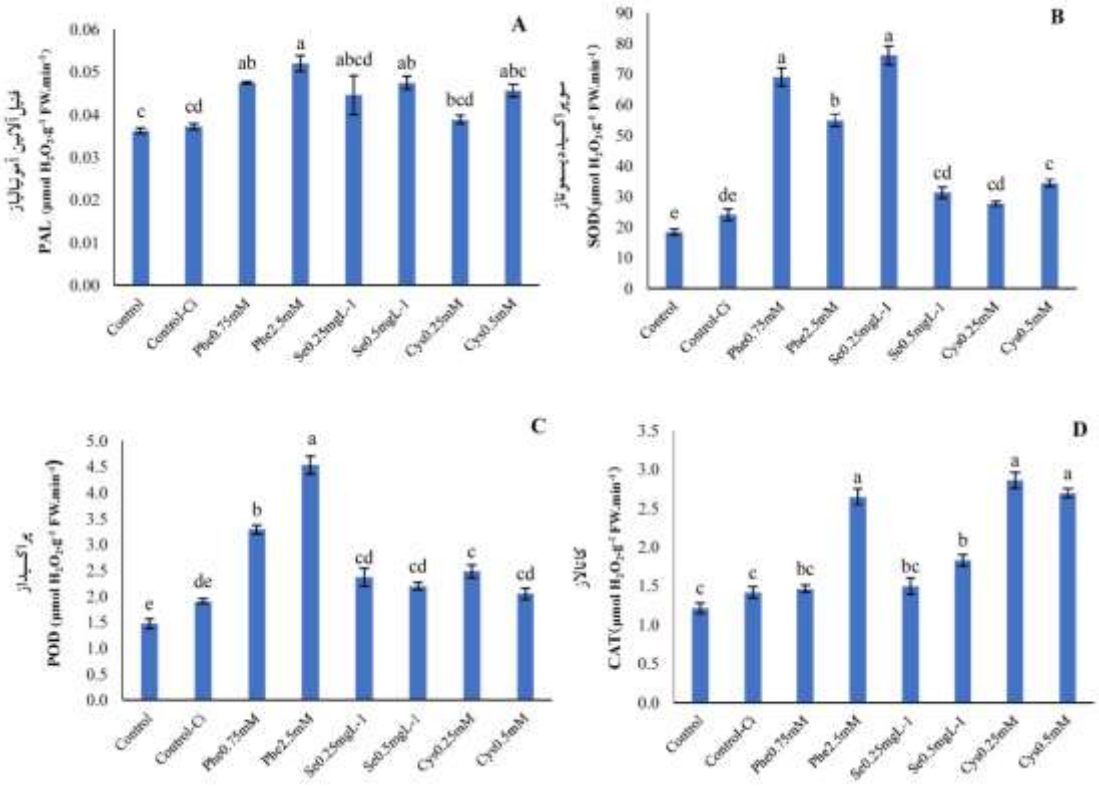
جدول ٤- تجزیه واریانس اثر فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر محتوای ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمای پایین.

Table 4. Variance analysis of effect of phenylalanine, cysteine, and selenium on phenolic compound and antioxidant activity of Cape gooseberry fruit under low- temperature stress.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean of Squares				
		پراکسیداز POD	کاتالاز CAT	محتوای فنل Phenol content	فلاونوئید Flavonoid	فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH (%)
بلوک Block	2	0.069	0.002	0.148	0.014	1.29
تیمارها Treatments	7	2.763**	1.351**	1.413**	0.296**	38.29**
خطا Error	14	0.038	0.021	0.078	0.026	7.27
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		7.78	7.59	3.92	9.62	4.68

ns غیرمعنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns not significant, ** significant at one percent probability level, * significant at five percent probability level



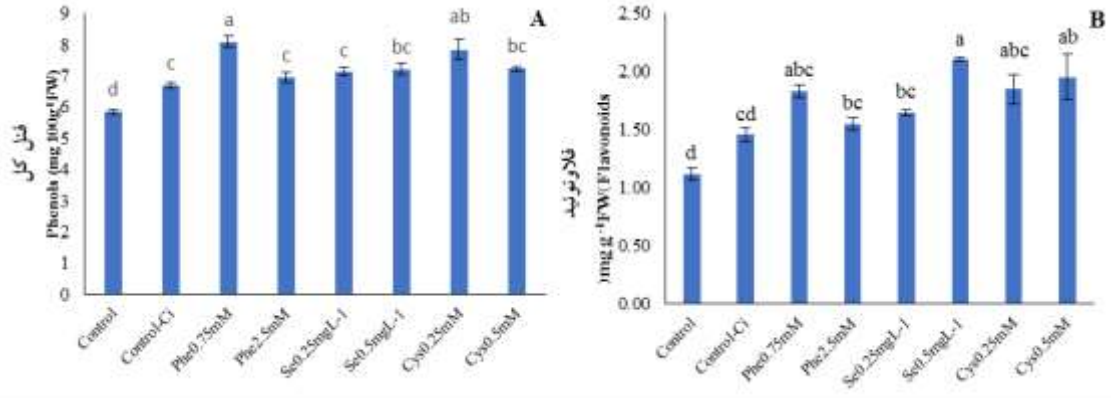
شکل ۸- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر فعالیت آنزیم‌های فنیل‌آلانین آمونیالیاز (A)، سوپراکسیددیسموتاز (B)، پراکسیداز (C) و کاتالاز (D) میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 8. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on phenylalanine ammonia-lyase (PAL), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

محتوای فنل و فلاونوئید: اعمال تنش دمای پایین و کاربرد اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین و سیستئین و سلنیوم، محتوای فنل و فلاونوئید میوه عروسک پشت‌پرده را در گیاهان تحت تنش دمای پایین در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش دادند (جدول ٤ و شکل ۹). بیش‌ترین مقدار فنل (۸/۰۸ و ۷/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در میوه گیاهان تحت تنش دمای پایین تیمار شده با فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار و سیستئین ۰/۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۹-A). نتایج حاصل ازاین آزمایش نشان داد که تیمارهای سلنیوم ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و سیستئین ۰/۲۵ میلی‌مولار بیش‌ترین تأثیر را در افزایش محتوای فلاونوئید (۲/۱ و ۱/۹ میلی‌گرم در لیتر) در گیاهان تحت تنش دمای پایین نشان دادند (شکل ۹-B).

تنش سرما مانند سایر تنش‌ها باعث ایجاد تغییرات خاصی در فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی گیاه می‌شود. تجمع فنل و فلاونوئیدهای بیش‌تر با کاربرد فنیل‌آلانین ناشی از فعالیت بالای آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز با تجمع اسید اسکوربیک بالاتر هم‌زمان باعث افزایش ظرفیت مهار آنتی‌اکسیدانی می‌شود، که ممکن است برای حفظ یکپارچگی غشاء در گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما

حیاتی باشد (۱۷). فنل‌ها و فلاونوئیدها جز سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی هستند که نقش مهمی در خنثی‌سازی اثر رادیکال‌های آزاد بازی کرده و در نتیجه منجر به کاهش اثرات تنش اکسیداتیو می‌شوند (۴۸). زانگ و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که کاربرد اسیدآمینه سیستئین، محتوای فلاونوئید و فنل کل میوه ازگیل ژاپنی را بهبود بخشید (۱۳). در مطالعه ثانی‌خانی و همکاران (۱۳۹۹) نیز تأثیر مثبت اسیدهای آمینه (فنیل‌آلانین و تریپتوفان) بر محتوای فنول و فلاونوئید میوه هندوانه ابوجهل (*Citrullus colocynthis* L.) گزارش شد (۴۹) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. هم‌چنین اثر مثبت سلنیوم بر کیفیت تغذیه‌ای میوه گوجه‌فرنگی از جمله محتوای قندهای محلول (گلوکز و فروکتوز)، اسیدهای آمینه و فلاونوئیدها نیز گزارش شده است (۱۴). در نتایج پژوهش عباس و همکاران (۲۰۱۲)، محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت‌های پایین (۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) در گیاهچه سورگوم تحت تنش سرمایی باعث افزایش رشد و سطح آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی شد (۵۰).



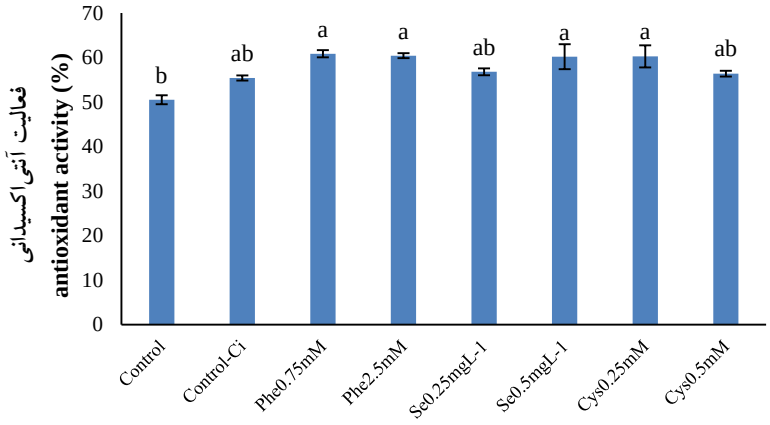
شکل ۹- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر محتوی فنل (A) و فلاونوئید (B) میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 9. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on phenol and flavonoid (B) contents of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، کاربرد اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را در مقایسه با گیاهان شاهد تیمار نشده به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ٤). بیش‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تیمارشده با فنیل‌آلانین ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار، سیتئین ۰/۲۵ میلی‌مولار و سلنیوم ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط تنش دمای پایین و کم‌ترین میزان آن در گیاهان شاهد فاقد تنش سرما به‌دست آمد (شکل ۱۰).

یکی از مهم‌ترین پیامدهای تنش‌های غیرزیستی، برهم خوردن تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی است که می‌تواند منجر به از دست دادن زنده‌مانی سلولی و مرگ شود. گونه‌های فعال اکسیژن، مانند سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل که به‌دلیل تنش‌های غیرزیستی مانند سرما تولید می‌شوند، مولکول‌های سمی هستند که باید جاروب شوند. دمای پایین مکانیسم فتوسنتزی را از طریق تخریب ساختار

کلروپلاست و شل شدن تیلاکوئیدها از بین می‌برد و در نتیجه مهار نور، ROS در کلروپلاست PSII تولید می‌شود (۵۱). گیاهان برای مقابله با تنش‌های غیر زنده از مکانیسم‌های دفاعی غیرآنزیمی مانند تجمع ترکیبات فنلی، کاروتنوئید، ویتامین ث و آنتوسیانین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و فنیل آمونیالیاز استفاده می‌کنند که همبستگی بالایی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند (۵۲). افزایش محتوای کاروتنوئید، فنل و فلاونوئید کل به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، فنیل‌آلانین آمونیالیاز و سوپراکسید دیسموتاز با کاربرد برگی اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین و سیستئین و عنصر سلنیوم مشاهده شد، بنابراین افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به تجمع این ترکیبات و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داد. محلول‌پاشی با سلنیوم در بوته‌های توت‌فرنگی تحت تنش سرما، به‌ویژه در غلظت‌های پایین به‌طور قابل‌توجهی فعالیت‌های آنزیمی را افزایش داد و تقریباً ۵ میلی‌گرم در لیتر محلول سلنیت سدیم بیش‌ترین اثرات کاهش‌دهنده تنش را داشت (۵۳).



شکل ۱۰- تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است. Control: گیاهان رشد کرده در شرایط بهینه و Control-Ci: گیاهان شاهد تحت تنش دمای پایین.

Fig. 10. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on antioxidant activity (DPPH) of Cape gooseberry fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level. Control: Plants grown under optimal condition, Control-Ci: Control Plants exposed to low-temperature stress.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد سطوح مختلف دو اسیدآمینه مورد بررسی در تنش دمایی، اثرات مثبتی بر کاهش اثرات تنش دمایی داشتند و نقش ضروری آنزیم‌های اکسیدانی و غیراکسیدانی در کاهش اثرات تنش در آزمایش کاملاً برجسته و روشن بود. هر دو غلظت اسید آمینه فنیل‌آلانین (۰/۷۵ و ۲/۵ میلی‌مولار) به ترتیب منجر به بهبود شاخص‌های کیفی میوه (کارتنوئید میوه، اسید قابل تیتراسیون) و فعالیت‌های آنزیمی (فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوی فنول، فنیل‌آلانین آمونیالیاز و

پروکسیداز) در گیاهان تحت تنش شد. هم‌چنین با توجه به نتایج، اسیدآمینه سیستئین باعث افزایش فلاونوئید و آنزیم کاتالاز شد. گرچه سلنیوم برای گیاهان ضروری نمی‌باشد اما محلول‌پاشی آن بر گیاهان عروسک پشت‌پرده تحت تنش دمایی نشان از تأثیر معنی‌دار آن بر حفظ پایداری غشاء و افزایش فعالیت‌های آنزیمی سوپراکسیددیسموتاز به عنوان اولین آنزیم فعال در مقابله با تنش‌هایی محیطی می‌باشد که گیاهان با آن مواجه می‌شوند. محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در طی این آزمایش نشان داد که نقش مهمی در مقابله با تنش‌های زیستی و غیر زنده گیاهی دارند و استفاده از آن‌ها برای کاهش اثرات نامطلوب تنش دمای پایین در طول فصل رشد بسیار کارآمد خواهد بود.

منابع

1. Moura, P. H. A., Coutinho, G., Pio, R., Bianchini, F. G., & Curi, P. N. (2016). Plastic covering, planting density, and prunning in the production of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in subtropical region. *Revista Caatinga.* 29 (2), 367-374.
2. Muniz, J., Kretzschmar, A. A., Rufato, L., Pelizza, T. R., Rufato, A. D. R., & Macedo, T. A. D. (2014). General aspects of physalis cultivation. *Ciência Rural*. 44 (6), 964-970.
3. Wang, F., Chen, S., Liang, D., Qu, G. Z., Chen, S., & Zhao, X. (2020). Transcriptomic analyses of *Pinus koraiensis* under different cold stresses. *BMC genomics*. 21 (1), 1-14.
4. Sanghera, G. S., & Wani, S. H. (2008). Innovative approaches to enhance genetic potential of rice for higher productivity under temperate conditions of Kashmir. *Journal of Plant Research*. 24, 99-113.
5. Mesa, T., Polo, J., Arabia, A., Caselles, V., & Munné-Bosch, S. (2022). Differential physiological response to heat and cold stress of tomato plants and its implication on fruit quality. *Journal of Plant Physiology*. 268, 153581. **https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153581.**
6. Thomas, J., Mandal, A., Raj Kumar, R., & Chordia, A. (2009). Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of tea (*Camellia* sp.). *International Journal of Agricultural Research.* 4, 228-36.
7. Xu, J., Zhang, Y., Guan, Z., Wei, W., Han, L., & Chai, T. (2008). Expression and function of two dehydrins under environmental stresses in *Brassica juncea* L. *Molecular Breeding*. 21, 431-438.
8. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling & Behavior*. 7 (11), 1456-1466.
9. Tzin, V., & Galili, G. (2010). New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. *Molecular Plant.* 3 (6), 956-972.
10. Portu, J., López-Alfaro, I., Gómez-Alonso, S., López, R., & Garde-Cerdán, T. (2015). Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. *Food Chemistry.* 180, 171-180.
11. Alvarez, C., Ángeles Bermúdez, M., Romero, L. C., Gotor, C., & García, I. (2012). Cysteine homeostasis plays an essential role in plant immunity. *New Phytologist.* 193 (1), 165–177.
12. Ali, S., Khan, A. S., & Malik, A. U. (2016). Postharvest L-cysteine application delayed pericarp browning, suppressed lipid peroxidation and maintained antioxidative activities of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 121, 135-142.
13. Zhang, H., Pu, J., Liu, H., Wang, M., Du, Y., Tang, X., Luo, X., Wang, Y., & Deng, Q. (2023). Effects of L-cysteine and γ-aminobutyric acid treatment on postharvest quality and antioxidant activity of loquat fruit during storage. *International Journal of Molecular Sciences.* 24, 10541. **https://doi.org/10.3390/ijms24131054**.

14.Zhu, Z., Zhang, Y., Liu, J., Chen, Y., & Zhang, X. (2018). Exploring the effects of selenium treatment on the nutritional quality of tomato fruit. *Food Chemistery*. 252, 9-15.
15.Malorgio, F., Diaz, K. E., Ferrante, A., Mensuali Sodi, A., & Pezzarossa, B. (2009). Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in a floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89 (13), 2243-2251.
16.Puccinelli, M., Malorgio, F., & Pezzarossa, B. (2017). Selenium enrichment of horticultural crops. *Molecules*. 22 (6), 933.
17.Aghdam, M. S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae.* 246, 818-825.
18.Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology.* 24 (1), 1-15.
19.Ezhilmathi, K., Singh, V. P., Arora, A., & Sairam, R. K. (2007). Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of Gladiolus cut flowers. *Plant Growth Regulation.* 51 (2), 99-108.
20.AOAC. 2000. Official method of analysis of the association of official analytical chemists. *Washington D.C.* 12, 377-378.
21.Nguyen, T. B. T., Ketsa, S., & Van Doorn, W. G. (2003). Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology.* 30 (2), 187-193.
22.Zhang, X., Shen, L., Li, F., Meng, D., & Sheng, J. (2013). Amelioration of chilling stress by arginine in tomato fruit: Changes in endogenous arginine catabolism. *Postharvest Biol. Technol.* 76, 106-111.
23.Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture.* 16 (3), 144-158.
24.Kaijv, M., Sheng, L., & Chao, C. 2006. Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. *Journal of Food Science*. 27, 110-115.
25.Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistery*. 131, 422-427.
26.Botta, A. 2012. Enhancing plant tolerance to temperature stress with amino acids: an approach to their mode of action. *In I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture*. 1009, 29-35.
27.Sayyari, M., Ghanbari, F., Fatahi, S., & Bavandpour, F. (2013). Chilling tolerance improving of watermelon seedling by salicylic acid seed and foliar application. *Notulae Scientia Biologicae*. 5 (1), 67-73.
28.Schiavon, M., dall'Acqua, S., Mietto, A., Pilon-Smits, E. A., Sambo, P., Masi, A., and Malagoli, M. (2013). Selenium fertilization alters the chemical composition and antioxidant constituents of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61 (44), 10542-10554.
29.Cheng, B., Lian, H. F., LIU, Y. Y., Yu, X. H., Sun, Y. L., Sun, X. D., Shi, Q. H., & Liu, S. Q. (2016). Effects of selenium and sulfur on antioxidants and physiological parameters of garlic plants during senescence. *Journal of Integrative Agriculture.* 15 (3), 566-572.
30.Seregina, I. I., Nilovskaya, N. T., & Ostapenko, N. O. (2001). The role of selenium in the formation of the grain yield in spring wheat. *Agrochimica*. 44, 248-250.
31.Shekari, G., & Javanmardi, J. (2017). Effects of foliar application pure amino acid and amino acid containing fertilizer on Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) Transplants. *Advances in Crop Science and Technology*. 5 (3), 1-4.

32.El-Din, K., & El-Wahed, M. (2005). Effect of some amino acids on growth and essential oil content of chamomile plant. *International Journal of Agriculture and Biology*. 376-380.
33.Sarojnee, D. Y., Navindra, B., & Chandrabose, S. (2009). Effect of naturally occurring amino acid stimulants on the growth and yield of hot peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences.* 5 (1), 414-424.
34.Radyuk, M. S., Domanskaya, I. N., Shcherbakov, R. A., & Shalygo, N. V. (2009). Effect of low above-zero temperature on the content of low-molecular antioxidants and activities of antioxidant enzymes in green barley leaves. *Russian Journal of Plant Physiology*. 56, 175-180.
35.Pakkish, Z., & Mohammadrezakhani, S. (2021). Quality characteristics and antioxidant activity of the mango (*Mangifera indica*) fruit under arginine treatment. *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 11 (1), 63-74.
36.Palma, F., Carvajal, F., Ramos, J. M., Jamilena, M., & Garrido, D. (2015). Effect of putrescine application on maintenance of zucchini fruit quality during cold storage: Contribution of GABA shunt and other related nitrogen metabolites. *Postharvest Biology and Technology*. 99, 131-140.
37.Heidari, P., Reza Amerian, M., & Barcaccia, G. (2021). Hormone profiles and antioxidant activity of cultivated and wild tomato seedlings under low-temperature stress. *Agronomy Journal.* 11, 1146.
38.Chongchatuporn, U., Ketsa, S., & van Doorn, W. G. (2013). Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relationship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. *Postharvest Biology and Technology*. 86, 409-417.
39.Filek, M., Gzyl-Malcher, B., Zembala, M., Bednarska, E., Laggner, P., & Kriechbaum, M. (2010). Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. *Journal of plant physiology*. 167 (1), 28-33.
40.Bidaki, S., Tehranifar, A., & Khorassani, R. (2018). Post-harvest Shelf-life extension of fruits of two strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) cultivars with amino acids application in soilless culture system. *Journal of Soil and Plant Interactions*. 9 (2), 1-10. [In Persian]
41.Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R., & Guidi, L. (2008). Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistery*. 107 (1), 282-288.
42.Xu, Q. Q., Sami, A., Zhang, H., Jin, X. Z., Zheng, W. Y., Zhu, Z. Y., Wu, L. L., Lei, Y. H., Chen, Z. P., Li, Y., & Yu, Y. (2022). Combine influence of low temperature and drought on different varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.*). The South African Journal of Botany*. 147, 400-414.
43.Bahadur, A., Singh, D. P., Sarma, B. K., & Singh, U. P. (2012). Foliar application of l-phenylalanine and ferulic acids to pea plants: induced phenylalanine ammonia lyase activity and resistance against *Erysiphe pisi*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 45 (4), 398-403.
44.Erdal, S. (2012). Androsterone-induced molecular and physiological changes in maize seedlings in response to chilling stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 57, 1-7.
45.Choudhary, P., & Jain, V. (2018). Effect of post-harvest treatments of selenium on physico-chemical quality in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Horticulture International Journal.* 2 (2), 40-43.
46.Businelli, D., D'Amato, R., Onofri, A., Tedeschini, E., & Tei, F. (2015). Se-enrichment of cucumber (*Cucumis sativus* L.), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L. Karst) through fortification in pre-transplanting. *Scientia Horticulturae*. 197, 697-704.
47.Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of

wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sciences.* 163, 1037-1046.

48. Zhang, Q., Zhang, J. Z., Chow, W. S., Sun, L. L., Chen, J. W., Chen, Y. J., & Peng, C. L. (2011). The influence of low temperature on photosynthesis and antioxidant enzymes in sensitive banana and tolerant plantain (*Musa* sp.) cultivars. *Photosynthetica*. 49 (2), 201.
49. Zapata, P. J., Martínez-Espla, A., Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Valero, D. (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.
50. Sanikhani, M., Akbari, A., & Kheiry, A. (2020). Effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological characteristics in colocynth (*Citrullus colocynthis* L.). *Journal of Plant Process and Function*. 9 (35), 317-328. [In Persian]
51. Zhou, R., Kong, L., Yu, X., Ottosen, C. O., Zhao, T., Jiang, F., & Wu, Z. (2019). Oxidative damage and antioxidant mechanism in tomatoes responding to drought and heat stress. *Acta Physiologiae Plantarum.* 41, 1-11.
52. 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.
53. Huang, C., Qin, N., Sun, L., Yu, M., Hu, W., & Qi, Z. (2018). Selenium improves physiological parameters and alleviates oxidative stress in strawberry seedlings under low-temperature stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 19 (7), 1913.