University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6547.2227

Original article

The effect of foliar spray of phenylalanine, cysteine and selenium on yield and fruit quality of Physalis (*Physalis peruviana* L.) under cold stress condition

A. Akbari[1], V. Rabiei[2], T. Barzegar[3*]

1. Ph.D. student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. 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

Received 4 July 2023; Accepted 26 August 2023

Extended abstract

Introduction

Physalis (*Physalis peruviana* L.) is a perennial plant belonging to the Solanaceae family, but it is grown commercially as an annual crop. Low temperature has been reported as one of the most restraining environmental factors for agricultural crops, particularly vegetables. Cold stress causes symptoms such as wilting, reduced growth and photosynthetic rate, chlorosis, necrosis, discoloration, abnormal ripening, increased susceptibility to diseases, ion leakage from cell membranes, and changes in respiration and ethylene production in plants. Amino acids are one of the possible approaches that induce cold stress tolerance in plants. Phenylalanine is one of the essential amino acids that is used as a nutritional enhancer, amino acid injection, and complex amino acid preparation. Foliar application of amino acids such as L-phenylalanine during plant growth increased anthocyanins and phenolic compounds contents in grape and strawberry fruits and cysteine also contains sulfur as an amino acid which is widely present in bacteria, yeast, plants, animals and certain single cells. Spraying amino acids on plants is one of the modern methods. Selenium (Se) and its salts protect plants against biotic (pathogens and herbivores) and abiotic (ultraviolet rays, heavy metals, arsenic) stresses. Also, the findings showed that selenium can effectively stimulate the phenylpropanoid metabolic pathway and it has been specifically determined that it protects plants against biological stresses.

Materials and methods

In order to investigate the effect of low temperature stress during seedling growth stage, and foliar application of amino acids L-phenylalanine (Phe), L-cysteine (Cys) and sodium selenite (Se) on yield and fruit quality of Physalis (*Physalis peruviana* L.), an experiment was conducted in greenhouse and field of University of Zanjan. The seeds of physalis were sown in seedling trays contain peat moss. The seedlings were grown under normal conditions (25±2 °C/day and 20±2 °C at night with 60-65% RH). The different concentrations of Phe (0.75, 1.5 and 2.5 mM), Cys (0.25, 0.5, and 0.75 mM) and Se (0.25, 0.5, and 1 $mg.L^{-1}$) was sprayed on the seedling at 4–5th true leaf stage and distilled water was used for control treatment. For the chilling stress treatment of seedlings, plants were transferred to the 4 °C climate chamber for 24 h and two days. The control group (plants without chilling stress) was grown under normal conditions (25±2 °C/day and 20±2 °C at night with 60-65% RH). Plants transplanted to the field and foliar sprayed three times (growth stage, flowering and fruit set stages) with amino acids

* Corresponding author: Taher Barzegar; E-Mail: tbarzegar@znu.ac.ir

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

and Se. Fruits were harvested with the change of calyx and fruit color from green to orange and total fruit yield estimated as a $kg.ha^{-1}$. Also, chlorophyll and carotenoid contents of leaf, fruit carotenoid, titratable acidity, soluble solids contents, vitamin C ant antioxidant activity were investigated.

Results and discussion

The results showed that low temperature significantly decreased total chlorophyll and carotenoid contents of leaves, titratable acidity (TA) and carotenoid contents of fruit, and caused increases in total soluble solid content of fruit, but had no significant difference on fruit yield, vitamin C content and antioxidant activity. Foliar application of Phe, Cys, and Se increased yield and fruit quality. The highest fruit yield (11419.1 $kg.ha^{-1}$) was obtained in with application of Cys 0.5 mM in plants under low temperature stress. The maximum vitamin C content was obtained in plants sprayed with Phe 0.75 and 1.5 mM under normal condition. Also, the highest fruit antioxidant activity (56.9%) was observed with application of Phe 0.75 mM in plants without cold stress compared to other treatments and plants under stress. The beneficial role of Se and amino acids in increasing antioxidant capacity might be attributed to enhancing antioxidant enzymes activity, phenolic compounds and carotenoids content, which have antioxidant activity.

Conclusion

Therefore, the use of these compounds specially Phe 1.5 mM, Cys 0.5 mM and Se 1 $mg.L^{-1}$ are suggested to improve the performance and quality of the fruit under low temperature stress or non-stress conditions.

Keywords: Amino acid, Carotenoid, Low temperature, Vitamin C, Yield

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6547.2227

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر عملکرد و کیفیت میوه عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) تحت تنش سرما

آرزو اکبری[1]، ولی ربیعی[2]، طاهر برزگر[3*]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
۲. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
۳. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اسیدآمینه
دمای پایین
کارتنوئید
عملکرد
ویتامین ث

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۶/۰۴

چکیده

دما به‌عنوان یکی از عوامل محیطی اصلی برای محدودیت در پراکنش، بهره‌وری و بقای گیاهان محسوب می‌شود. به‌منظور ارزیابی اثر دمای پایین در مرحله نشاء، بر رشد و عملکرد و همچنین کیفیت میوه عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمار تنش سرمایی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد در مرحله نشاء در سردخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان و تیمار شاهد فاقد تنش سرمایی بود. تیمارهای محلول‌پاشی شامل اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین (۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار)، سیستئین (۰/۵ و ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار)، سلنیوم (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم) به همراه شاهد بود. نتایج نشان داد که تنش دمای پایین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارتنوئید و میوه اسید قابل تیتراسیون را کاهش داد و باعث افزایش مواد جامد محلول کل میوه شد، ولی بر عملکرد و محتوای ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه تأثیری نداشت. کاربرد برگی فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم به‌طور معنی‌داری عملکرد و شاخص‌های کیفی میوه را در گیاهان تحت تنش سرما و فاقد تنش افزایش دادند. بیشترین عملکرد (۱۱۴۱۹/۱۴ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سیستئین در گیاهان تحت تنش دمای پایین به دست آمد. حداکثر مقدار ویتامین ث (۵۶/۸ و ۵۶/۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) به ترتیب با کاربرد فنیل‌آلانین ۱/۵ و ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان تحت شرایط رشد نرمال به دست آمد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۵۶/۹ درصد) با کاربرد فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان فاقد تنش سرما نسبت به سایر تیمارها و گیاهان تحت تنش مشاهده شد؛ بنابراین کاربرد این ترکیبات بخصوص فنیل‌آلانین ۱/۵ میلی‌مولار، سیستئین ۰/۵ میلی‌مولار یا سلنیوم ۱ میلی‌گرم در لیتر در جهت بهبود عملکرد و کیفیت میوه عروسک پشت پرده در شرایط تنش دمای پایین و یا غیر تنش پیشنهاد می‌گردد.

مقدمه

عروسک پشت‌پرده (*Physalis peruviana* L.) از خانواده Solanaceae است که در مناطق نیمه‌گرمسیری و گرمسیری گیاهی چندساله و در مناطق سردسیر به‌صورت یک‌ساله کشت می‌شود (Moura et al., 2016). میوه‌های این گیاه با داشتن ارزش غذایی و دارویی بالا ازجمله آنتی‌اکسیدان‌ها، اسیدهای چرب اشباع‌نشده، ویتامین‌های A، B، C، E و K1، فیتواسترول‌ها و مواد معدنی ضروری (آهن و فسفر)، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها در سراسر جهان بسیار موردتوجه قرار گرفته است (Muniz et al., 2014).

سرما که به‌عنوان تنش سرمایی (۰-۱۵°C) و تنش یخزدگی (صفر> °C) طبقه‌بندی می‌شود، به یک عامل محیطی اصلی تبدیل شده است که با تأثیر بر رشد گیاهان،

* نگارنده پاسخگو: طاهر برزگر. پست الکترونیک: tbarzegar@znu.ac.ir

چرخه‌های زندگی و پراکنش جغرافیایی گیاهان، نمو و زمان گلدهی و همچنین عملکرد محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Eom et al., 2022). تنش سرما یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی است که باعث تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی قابل‌توجهی در گیاهان در حال رشد می‌شود، ازجمله کاهش ظهور گیاهچه، آغازش برگ، اختلال در تقسیم سلولی و افزایش طول ریشه می‌شود. کاهش رشد ریشه همچنین منجر به کاهش جذب آب و مواد مغذی می‌شود که منجر به کاهش کارایی مصرف مواد مغذی می‌شود (Vega et al., 2020).

سبزی‌های فصل گرم در مراحل مختلف رشد و نمو ازجمله جوانه‌زنی، رشد رویشی و زایشی به سرمازدگی (صفر تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد) حساس هستند (Yadav, 2010). بیشتر صدمات وارده به گیاهان که در اثر تنش سرمایی ایجاد می‌شود، با آسیب اکسیداتیو در سطح سلول همراه است (Matysiak et al., 2020) که ازجمله تغییرات بیوشیمیایی ناشی از تنش دمایی تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است (Nasibi et al., 2013).

در برخی از سال‌ها به دلیل نوسانات دمایی ممکن است نشاء سبزی‌ها پس از کاشت در مزرعه برای چند روز در معرض دمای پایین‌تر از حد بهینه و شرایط سرمازدگی قرار بگیرند و این شرایط ممکن است رشد و گلدهی را به تأخیر بیندازد، عملکرد کل و کیفیت را کاهش دهد و حتی گیاهان را از بین ببرد (Sayyari et al., 2013). مطالعات پیشین گزارش کردند که گیاهچه‌های خیار (*Cucumis sativus* L.) که در معرض دمای پایین قرار گرفتند کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و محتوای کلروفیل و افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسیداسیون لیپید را در مقایسه با گیاهان شاهد نشان دادند (Liang et al., 2009).

تلاش‌های زیادی مانند اصلاح برای افزایش تحمل سرمازدگی، مهندسی ژنتیک، اصلاح روش‌های مدیریت محصول و کاربرد مواد شیمیایی برای افزایش تحمل به سرمازدگی و جلوگیری از آسیب سرمایی انجام شده است (Kang et al., 2003). اسیدهای آمینه مانند گلوتامات، سیستئین، فنیل‌آلانین و گلیسین ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در کاهش تنش‌های اکسیداتیو گیاه عمل کنند؛ بنابراین کاربرد آن‌ها در بذر یا برگ ممکن است جایگزینی برای کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو باشد که گیاهان در اثر آن آسیب می‌بینند (Teixeira et al., 2017).

اسیدهای آمینه موادی هستند که باعث تحریک سوخت‌وساز و فرآیندهای متابولیکی گیاه در جهت افزایش کارایی آن‌ها می‌شوند (Faten et al., 2010).

ال فنیل‌آلانین به‌عنوان یکی از اسیدهای آمینه ضروری، پیش‌ماده مسیر فنیل‌پروپانوئید است که منجر به تشکیل ترکیبات اسید فنولیک، فلاونوئیدها و سایر فنول‌ها می‌شود (Yang et al., 2018). 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. درنتیجه این محصولات از گیاهان در برابر تنش‌های مختلف غیرزنده و زنده محافظت می‌کنند (Yang et al., 2018). محلول‌پاشی آمینواسیدهایی مانند ال فنیل‌آلانین در مرحله قبل از برداشت در انگور (*Vitis venifera* L.)، موجب افزایش ترکیبات معطر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، لیگنین، آنتوسیانین، ترکیبات فنولی و ترکیبات اصلی دیواره سلولی مانند سلولز شد (Portu et al., 2015). کاربرد اسیدهای آمینه در گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) افزایش معنی‌داری در طول میوه، قطر میوه، درصد میزان ماده خشک میوه، میزان اسید اسکوربیک و عملکرد قابل‌عرضه به بازار نسبت به شاهد داشت (Sarojnee et al., 2009).

ال سیستئین یک اسیدآمینه حاوی گوگرد است که به‌طور گسترده در باکتری‌ها، مخمرها، گیاهان، حیوانات و برخی از پروتوزوئاها وجود دارد. ال سیستئین در سیتوزول، پلاستیدها و میتوکندری از سرین سنتز می‌شود و پیش‌ماده پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، کوفاکتورها، آنتی‌اکسیدان‌ها مانند گلوتاتیون و برخی از ترکیبات دفاعی است (Sogvar et al., 2020). تیمار میوه لیچی (*Litchi chinensis*) با اسیدآمینه سیستئین موجب افزایش محتوای مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون و اسید اسکوربیک گردید (Ali et al., 2016). نتایج نشان داد که کاربرد ال سیستئین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در کلم بروکلی (*Brassica oleracea* L. var. italica)، سطح برگ، وزن تازه شاخه‌ها، وزن خشک ریشه را افزایش داد (Shekari and Javanmardi, 2017). بااین‌حال تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر تیمار قبل از برداشت فنیل‌آلانین و ال‌سیستئین بر سرمازدگی میوه‌ها و سبزی‌ها در دسترس نیست.

سلنیوم یک عنصر مفید برای گیاهان است و کاربرد آن می‌تواند برای رژیم غذایی انسان مفید باشد (Quiterio-

Gutierrez et al., 2019). سلنیوم از لحاظ خاصیت، به گوگرد شباهت نزدیکی دارد و می‌تواند در سیستم‌های بیوشیمیایی نقش گوگرد را داشته باشد (Puccinelli et al., 2017). یافته‌ها نشان می‌دهد که سلنیوم در غلظت‌های کم (۵ و ۱۰ میکرومولار) می‌تواند به‌طور مؤثری مسیر متابولیک فنیل پروپانوئید را تحریک کند و به‌طور خاصی مشخص شده است که از گیاهان در برابر تنش‌های زیستی محافظت می‌کند. جالب‌ترین اثرات سلنیوم بر متابولیت‌های ثانویه در پوست میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicon* L.) مشاهده شد که ازنظر رشد و بیوسنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پاسخ به تنش‌ها تأثیرات سودمندی بر روی گیاه گوجه‌فرنگی داشت. باید دانست که سلنیوم بر میزان اسیدهای فنولیک موجود در پوست، به‌ویژه مشتقات اسیدسینامیک که اثرات آنتی‌اکسیدانی مهم دیگری بر سلامتی دارند، تأثیر می‌گذارد (Schiavon et al., 2013). محلول‌پاشی با سلنیوم باعث کاهش میزان فتوسنتز خالص و مقدار کلروفیل شد و محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن برگ توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa*) تحت تنش سرما را افزایش داد. تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر محلول سلنیت سدیم بیشترین اثرات کاهش‌دهنده تنش را داشت (Huang et al., 2018).

اما به‌طورکلی، راهبردهای کارآمدی برای جلوگیری از آسیب سرمایی وجود ندارد. بااین‌حال، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر روی گیاهان یکی از روش‌های جدیدی است که کاربرد آن‌ها باعث بهبود رشد و بهره‌وری گیاه شده و نقش مستقیمی در افزایش محتوای پروتئین‌ها و آنزیم‌های ضروری برای ساماندهی فرآیندهای متابولیک یا فعال‌سازی آنتی‌اکسیدان‌ها دارد (Shehata and Abdel-Wahab, 2018). علیرغم اطلاعاتی درباره اثر مثبت ترکیبات حاوی اسیدآمینه‌ها بر روی سبزی‌ها، اطلاعات کمی در مورد اثر مستقل آن‌ها بر سبزی‌ها بخصوص عروسک پشت پرده وجود دارد. بر همین اساس پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم در مرحله نشاء گیاه عروسک پشت‌پرده تحت تنش سرمایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان با طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۹۶ متر از سطح دریا، در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. فاکتور اول شامل تیمارهای اسیدآمینه فنیل‌آلانین در سطوح (۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار)، سیستئین (۰/۵ و ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار)، سلنیوم (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم) و شاهد بدون محلول‌پاشی و فاکتور دوم شامل تیمار تنش دمای پایین (۴ درجه سانتی‌گراد) در مرحله نشاء بود (Aghdam et al., 2019; Puccinelli et al., 2019). بذر عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) از شرکت پاکان بذر تهیه گردید. بذرها در سینی‌های کشت حاوی پیت ماس در گلخانه تحقیقاتی در اسفندماه ۱۳۹۹ کشت شدند. گلخانه دارای شرایط دمایی ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ۶۵-۶۰ درصد و نور طبیعی بود. تیمار اسیدهای آمینه و سلنیوم در مرحله ۵-۴ برگ حقیقی انجام شد و سپس به‌منظور اعمال تنش سرمازدگی نشاها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد در سردخانه قرار گرفتند و گیاهان شاهد فاقد تنش سرمایی بودند (Guo et al., 2020). نشاها در اول خردادماه با فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ و بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در زمین اصلی کشت شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول یک آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Physical and chemical properties of the Experiment soil

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

دو هفته پس از استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی برگی فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنات سدیم با همان غلظت‌ها، سه بار در مرحله رشد رویشی (۸ تا ۱۰ برگی)، آغاز گلدهی و ظهور اولین میوه با فاصله ۱۵ روز انجام شد. آبیاری مزرعه

به‌صورت نواری قطره‌ای با دور آبیاری دو روز یک‌بار بود. کنترل علف‌های هرز به روش دستی در طول دوره رشد انجام شد. یادداشت از صفات رشدی و برداشت میوه در دو مرحله اواخر شهریور و مهرماه هم‌زمان با رسیدن میوه‌ها و تغییر رنگ کالیکس و میوه از سبز به نارنجی انجام شد. در پایان دوره رشد، میوه‌های هر بوته پس از برداشت توزین گردید و عملکرد کل میوه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

برای سنجش محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید از بافت تازه برگ استفاده شد. درنهایت غلظت آن‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر با استفاده از معادله ۱ و ۲ محاسبه گردید (Arnon, 1949):

$$\text{کلروفیل کل} = [20.2\,(A645) + 8.02\,(A663)] \times V/(W \times 1000) \quad [1]$$

$$\text{کارتنوئید} = [7.6\,(A480) - 1.49\,(A510)] \times V/(W \times 1000) \quad [2]$$

A: جذب طول‌موج ویژه؛ V: حجم نهایی کلروفیل در استون ۸۰٪؛ W: وزن‌تر بافت استخراج‌شده

اسید قابل تیتراسیون در هر گیاه بر اساس اسید آلی غالب اندام گیاهی اندازه‌گیری می‌شود. به‌منظور اندازه‌گیری اسید کل از روش تیتر با سدیم هیدروکسید استفاده گردید. درنهایت حجم هیدروکسید مصرفی ثبت گردید (AOAC, 2000). مقدار اسید کل به‌صورت درصد سیتریک اسید (معادله ۳) محاسبه گردید.

$$\text{اسید قابل تیتراسیون٪} = [E \times N \times S \times F/C] \times 100 \quad [3]$$

E: اکی والان اسید موردنظر، N: نرمالیته محلول سدیم هیدروکسید، S: مقدار سدیم هیدروکسید مصرف‌شده (میلی‌لیتر)، F: فاکتور NaOH، C: مقدار عصاره

محتوای مواد جامد محلول میوه با استفاده از دستگاه رفرکتومتر مدل (DBR-92) اندازه‌گیری شد و میزان مواد جامد محلول برحسب درصد بریکس بیان شد (Jalili Marandi, 2004).

برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک (ویتامین ث) میوه از روش (AOAC, 2000) استفاده شد. غلظت اسید آسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف اسید آسکوربیک در حضور دی کلرواندوفنل محاسبه شد.

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Dphenyl- Picryl-Hydrazyl) استفاده شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها از رابطه زیر به دست آمد (Dehghan and Khoshkam, 2012).

$$\text{فعالیت آنتی‌اکسیدانی} = (\text{جذب DPPH} - \text{جذب نمونه}) / \text{جذب DPPH} \times 100 \quad [4]$$

آنالیز داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS, V9 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نشاها در مرحله ۵-۴ برگ حقیقی با غلظت‌های مختلف اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین و سیستئین و سلنات سدیم تیمار شدند و ۴۸ ساعت پس از محلول‌پاشی ترکیبات، به‌منظور اعمال تنش سرمازدگی نشاها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد در سردخانه قرار گرفتند و گیاهان شاهد فاقد تنش سرمایی بودند. پس از اعمال تنش سرمایی، نشاها به گلخانه منتقل شدند و پس از ۲۴ ساعت اثرات ظاهری خسارت سرمازدگی بر روی گیاهان به‌صورت رنگ‌پریدگی و زردی برگ‌ها مشاهده شد (شکل ۱).

عملکرد میوه

نتایج نشان داد که اثر ساده تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم و اثر متقابل آن‌ها با تنش دمای پایین بر عملکرد کل میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی تنش دمای پایین اثر معنی‌داری بر عملکرد گیاهان نشان نداد (جدول ۲).

مدت و شدت تنش سرما در مرحله نشاء می‌تواند تأثیر بسزایی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان داشته باشد. در این آزمایش فاصله بین سرمازدگی در مرحله نشاء تا زمان برداشت به‌اندازه‌ای زیاد بود که تأثیر آن‌چنانی بر عملکرد میوه نداشته باشد هرچند که ممکن است بر خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه مؤثر باشد و مهم‌ترین عامل مدت‌زمان تنش و دمایی است که گیاه تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد.

نسخه پیش از انتشار

شکل ۱. کیفیت ظاهری گیاهان شاهد (الف) و گیاهان تحت تنش سرما (ب)

Fig. 1. Visual quality of control plants (A) and plants under cold stress (B)

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر عملکرد و محتوای کلروفیل و کارتنوئیدهای برگ عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین

Table 2. Variance analysis (Mean ofSquares) the effect of phenylalanine, cysteine, and selenium on yield and chlorophyll and carotenoids contents of Physalis under low temperature.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی Df	عملکرد میوه Fruit yield	کلروفیل Chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids
Block	**بلوک**	2	48582	0.0060	0.0068
Low temperature (LT)	**دمای پایین**	1	46046^{ns}	0.7407**	0.0816**
Treatments (T)	**تیمارها**	9	6975137**	0.1990**	0.0193**
LT × T	**دمای پایین × تیمارها**	9	2382476**	0.0665*	0.0205**
Error	**خطا**	38	328110	0.0238	0.0040
C.V (%)	**ضریب تغییرات**	-	*6.3*	*13.4*	*11.4*

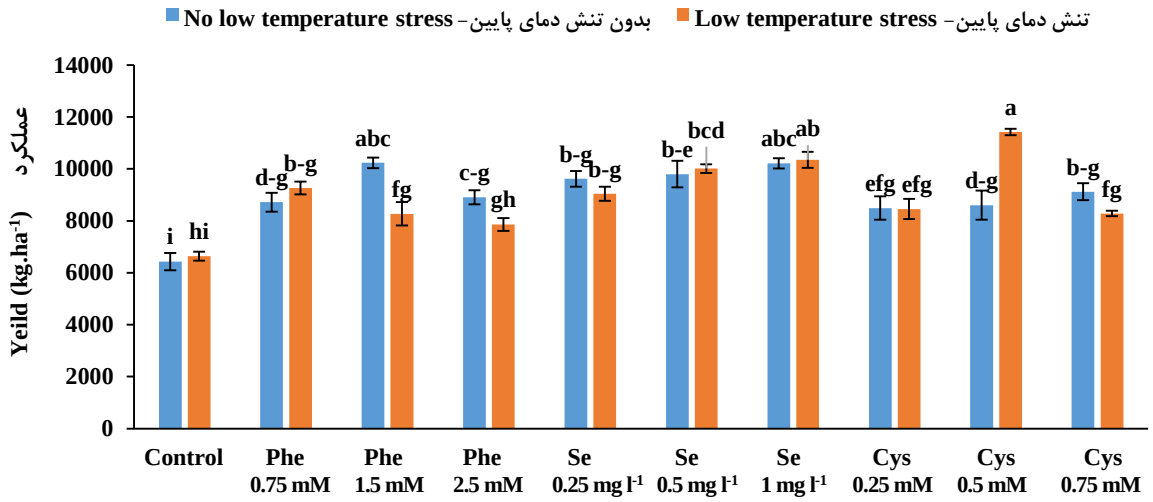
ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

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

اگر گیاه در زمان کوتاهی تحت تنش قرار گیرد تأثیر تنش کم و نامحسوس خواهد بود. نتایج ما با نتایج مسا و همکاران (Mesa et al., 2022) همخوانی دارد که گزارش کردند اعمال تنش سرما در مرحله نشاء، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کل گوجه‌فرنگی نداشت. کاربرد فنیل‌آلانین و سیستئین و سلنیوم در نشاهای تحت تنش دمای پایین و غیر تنش باعث افزایش عملکرد میوه شدند. بیشترین عملکرد کل (۱۱۴۱۹/۱۴ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار اسیدآمینه سیستئین در گیاهان تحت تنش به دست آمد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت و عملکرد را ۴۳/۶ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش داد (شکل ۲). اسیدهای آمینه، نقش‌های متمایزی در گیاهان دارند مانند تأثیر آن‌ها در بیوسنتز پروتئین‌ها که نقش اساسی آن‌ها را در مسیرهای مختلف بیوسنتزی و اثر حیاتی در واکنش به تنش‌های مختلف در گیاهان را نشان می‌دهند (Rahmani Samani et al., 2019). محرک‌های اسیدآمینه‌ای می‌توانند جذب مواد مغذی و آب را بهبود بخشند و در نتیجه سرعت فتوسنتز و تقسیم ماده خشک را افزایش دهند و ازاین‌رو عملکرد محصول را افزایش می‌دهند که عملکرد فلفل (Sarojnee et al., 2009) و خیار (Shehata et al., 2016) نیز تحت تأثیر اسیدهای آمینه افزایش معنی‌داری نشان داد.

سلنیوم از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده ازجمله نور ماوراءبنفش، فلزات سنگین و آرسنیک و تنش‌های زنده ازجمله عوامل بیماری‌زا و گیاهخواران محافظت می‌کند. همچنین با مهار پراکسیداسیون لیپیدها تنش اکسیداتیو را خنثی می‌کند و فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز را افزایش می‌دهد (Puccinelli et al., 2017). بر اساس یافته‌ها وزن و تعداد میوه در گوجه‌فرنگی با کاربرد تیمارهای سلنیوم افزایش یافت (Lee et al., 2007). اثر مثبت سلنیوم بر رشد و عملکرد در گوجه‌فرنگی (Haghighi et al., 2014)، پیاز

(Põldma et al., 2013) و سیر (Cheng et al., 2016) گزارش شده است. در چندین مورد عنوان شد که افزایش صفات مربوط به عملکرد و رشد با کاربرد سلنیوم، وابسته به غلظت مورداستفاده بود (Djanaguiraman et al., 2010). با توجه به نتایج مطالعات قبلی می‌توان گفت که سلنیوم در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان نقش مهمی دارد و افزایش غلظت سلنیوم به میزان معینی باعث افزایش محتوای سلنیوم در محصولات مختلف می‌شود و در نتیجه با محافظت از کلروفیل باعث افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Ramos et al., 2010).



شکل ۲. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر عملکرد میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 2. The effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on fruit yield of Physalis under low temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.

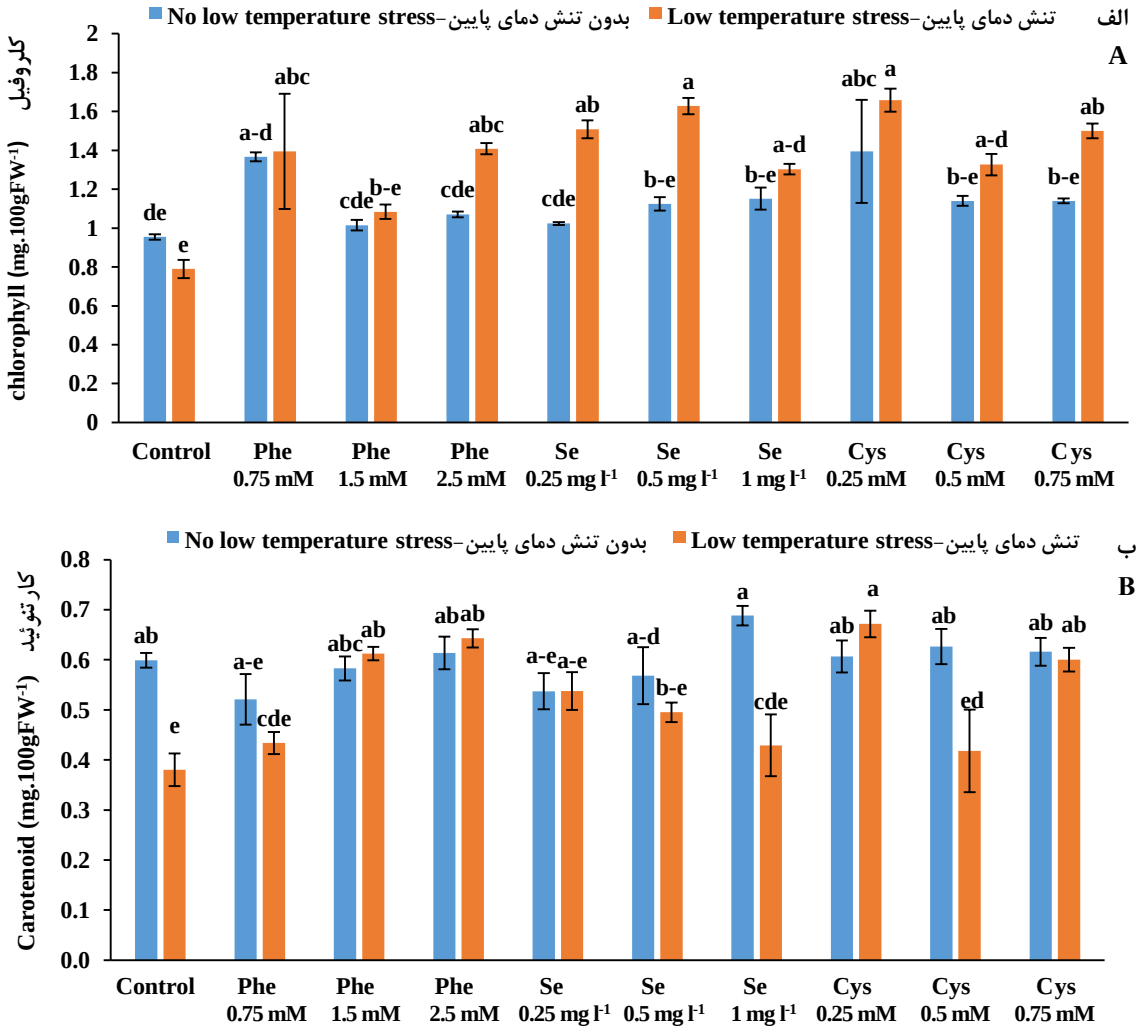
رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برگ

اعمال تنش دمای پایین، محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و کاربرد فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم موجب تعدیل اثرات منفی تنش دمای پایین شده و محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید را نسبت به گیاهان تیمار نشده در هر دو شرایط تنش سرما و غیر تنش افزایش دادند (جدول ۲ و شکل ۳). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیشترین میزان کلروفیل (۱/۶ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) در تیمار سیستئین ۰/۲۵ میلی‌مولار نسبت به شاهد (۰/۷۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) در گیاهان تحت تنش سرما به دست آمد (شکل ۳-الف). همچنین بیشترین میزان کارتنوئید (۰/۶۹ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر) با کاربرد سلنیوم ۱ میلی‌گرم در لیتر در گیاهان فاقد تنش در مقایسه با گیاهان شاهد مشاهده شد (شکل ۳-ب).

کاهش رشد گیاه و کاهش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از علائم رایج گیاهانی است که در شرایط تنش رشد می‌کنند (Hawrylak-Nowak et al., 2010). مطالعه بر روی نشاءهای ذرت نشان داد که تنش سرما، محتوای کلروفیل را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد (Erdal, 2012). در مطالعه بر روی چند توده مختلف گیاه گوجه‌فرنگی گزارش شد گیاهانی که در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد رشد کرده بودند در مقایسه با دمای ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، محتوای کلروفیل بالاتری را داشتند (Sherzod et al., 2019).

تنش دمای پایین باعث افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در مسیرهای متابولیک گیاه می‌شود، تجزیه کلروفیل را در برگ‌ها تسریع می‌کند، متابولیسم گیاه را کاهش می‌دهد و بنابراین، منجر به کاهش محتوای کلروفیل برگ می‌شود (Zhang et al., 2020). بااین‌حال، برخلاف یافته‌های قبلی، در گیاهان چای که طی پنج روز در معرض دمای پایین قرار داشتند محتوای کلروفیل بیشتر از گیاهان رشد کرده در دمای معمولی بود (Yang et al., 2016) که ممکن است به دلیل تغییرات در سطوح هورمون‌های درون‌زا، انتقال اطلاعات و تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه در گونه تحت تنش کوتاه‌مدت در دمای پایین باشد (Kurepin et al., 2015).

خاوری‌نژاد و همکاران (Khavari Nezhad et al., 2010) گزارش کردند که کاربرد سلنیوم بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مؤثر بوده و باعث افزایش این رنگیزه‌ها در گیاه گوجه‌فرنگی شده است. همچنین در بررسی‌ها بر روی فلفل تند تحت محلول‌پاشی سلنیوم، محتوای رنگدانه‌های کلروفیلی افزایش معنی‌داری را نشان دادند، محققان این اثرگذاری را به افزایش جذب منیزیم به علت حضور سلنیوم در بافت‌های گیاهی نسبت داده و احتمال داده‌اند که بر جذب سایر یون‌ها در گیاه نیز تأثیر داشته باشد (Shekari et al., 2016). در مطالعات قبلی تأثیر کاربرد سلنیوم بر افزایش شدت فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کارتنوئید) در درختان گلابی (*Pyrus bretschneider*) توسط لیو و همکاران (Liu et al., 2011) و همچنین بر بوته‌های انگور (*Vitis vinifera* cv. Fakhri) توسط مظفری و همکاران (Mozaffari et al., 2020) گزارش شده است. در میوه‌های گوجه‌فرنگی، سلنیوم ممکن است باعث افزایش محتوای رنگدانه‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شود. برخلاف نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش گزارش شد محتوای کلروفیل و کاروتنوئید پس از مصرف سلنیوم تغییر معنی‌داری نداشت (Hawrylak-Nowak et al., 2010).

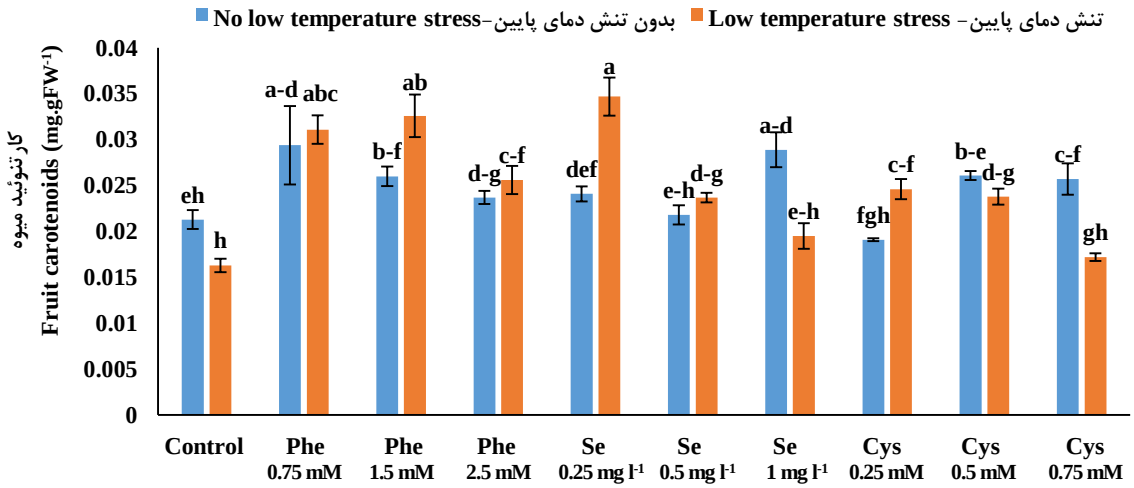


شکل ۳. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر محتوای کلروفیل (الف) و کارتنوئید (ب) برگ گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 3. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on chlorophyll (A) and carotenoid (B) contents of physalis plant leaves under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.

کارتنوئید میوه

نتایج نشان داد که تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر محتوای کاروتنوئید میوه در گیاهان تحت تنش دمای پایین و غیر تنش در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند و تنش دمای پایین باعث کاهش محتوای کارتنوئید میوه گردید (جدول ۳ و شکل ۴). بیشترین مقدار کارتنوئید (۰/۰۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در تیمار سلنیوم ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت، کمترین مقدار آن (۰/۰۱۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر میوه) در تیمار شاهد تحت تنش دمایی به دست آمد. آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنولی، پرولین و کاروتنوئیدها برخی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مولکولی کوچک مهم در گیاهان هستند (Radyuk et al., 2009) که نقش مهمی در دفاع از گیاهان در شرایط تنش دارند. درواقع، میوه‌های غنی‌شده با سلنیوم میزان تغییر رنگ را نشان می‌دهند که تأیید می‌کند فرآیندهای مربوط به رسیدن، مانند تخریب کلروفیل و سنتز کاروتنوئیدها، تحت تأثیر این عنصر قرار می‌گیرند که مزیت بالقوه‌ای ازنظر انبارمانی و نگهداری در پس از برداشت نیز هست (Pezzarossa et al., 2014). کاهش قابل‌توجه بتاکاروتن و افزایش جزئی در لیکوپن در تیمار یک میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان می‌دهد که مسیر بیوسنتتیک کاروتنوئیدها توسط سلنیوم تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Pezzarossa et al., 2014). در مطالعه خالوفه (Khalofah et al., 2021)، بر روی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) محتوای کاروتنوئیدها در غلظت کم (۵ درصد) به میزان ۱۲۷ درصد افزایش یافت، درحالی‌که در غلظت بالاتر سلنیوم (۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، محتوای آن ۲۵/۲ درصد کاهش یافت.



شکل ۴. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر محتوای کارتنوئید میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 4. 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.

اسید قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) تنش دمای پایین تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار اسید قابل تیتراسیون میوه عروسک پشت پرده داشت. طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون (۲/۴۳ درصد) با کاربرد فنیل‌آلانین ۱/۵ میلی‌مولار در گیاهان تحت شرایط رشد نرمال و کمترین میزان اسید قابل تیتراسیون در گیاهان شاهد سرمازده به دست آمد (شکل ۵-الف). کاربرد فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر نشاها تحت شرایط تنش دمای پایین و شرایط رشدی غیر تنش، مواد جامد محلول میوه را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۳ و شکل ۵-ب). بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۱۵/۴۰ درصد بریکس) در گیاهان تیمار شده با فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار تحت شرایط رشدی نرمال و کمترین مقدار مواد جامد محلول میوه در گیاهان شاهد تیمار

نشده مشاهده شد. مواد جامد محلول در تیمارهای بدون سرما نتایج بهتری نسبت به گیاهانی که تحت تنش بوده‌اند داشته است. میزان اسید قابل تیتراسیون یکی از ویژگی‌های مهمی است که به‌طور قابل‌توجهی بر طعم و همچنین مشخصات تغذیه‌ای میوه تأثیر می‌گذارند (Ali et al., 2016). استفاده از اسیدهای آمینه نه‌تنها باعث افزایش رشد می‌شود بلکه همچنین باعث افزایش کیفیت و مقدار محصول می‌شود. همچنین، اسیدهای آمینه حاوی هر دو گروه اسیدی و پایه هستند که به‌عنوان بافرهایی عمل می‌کنند که به حفظ ارزش مطلوب pH در سلول گیاهی کمک می‌کنند (Belal et al., 2016). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر گیاه توت‌فرنگی در مرحله قبل از برداشت تأثیر مثبتی بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه‌ها نشان داد (Bidaki et al., 2018). کاربرد کودهای حاوی اسیدآمینه بر پنج رقم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای بیشترین مقدار درصد اسید قابل تیتراسیون را نشان داد (Javanmardi and Sattar, 2016).

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

Table 3. Variance analysis (Mean of Squares) the effect of phenylalanine, cysteine, and selenium on fruit quality of Physalis under low temperature stress.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	کارتنوئید میوه Fruit carotenoids	ویتامین ث Vitamin C	فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH	اسید قابل تیتراسیون (%) TA	مواد جامد محلول TSS (˚Brix)
بلوک Block	2	0.0000089	0.3724	9.2786	0.0091	0.6151
تنش دمای پایین Low temperature (LT)	1	0.0000021^{ns}	903.9**	316.7**	0.6022**	8.2140**
تیمارها Treatments (T)	9	0.000087**	12.65**	168.9**	0.0558^{ns}	1.4696**
تنش دمای پایین× تیمارها LT × T	9	0.000064**	5.4-20**	100.6**	0.0498^{ns}	1.3617**
خطا Error	38	0.0000072	0.5969	5.6785	0.0362	0.4425
ضریب تغییرات C.V (%)	-	*10.87*	*1.58*	*6.67*	*9.20*	*4.82*

غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

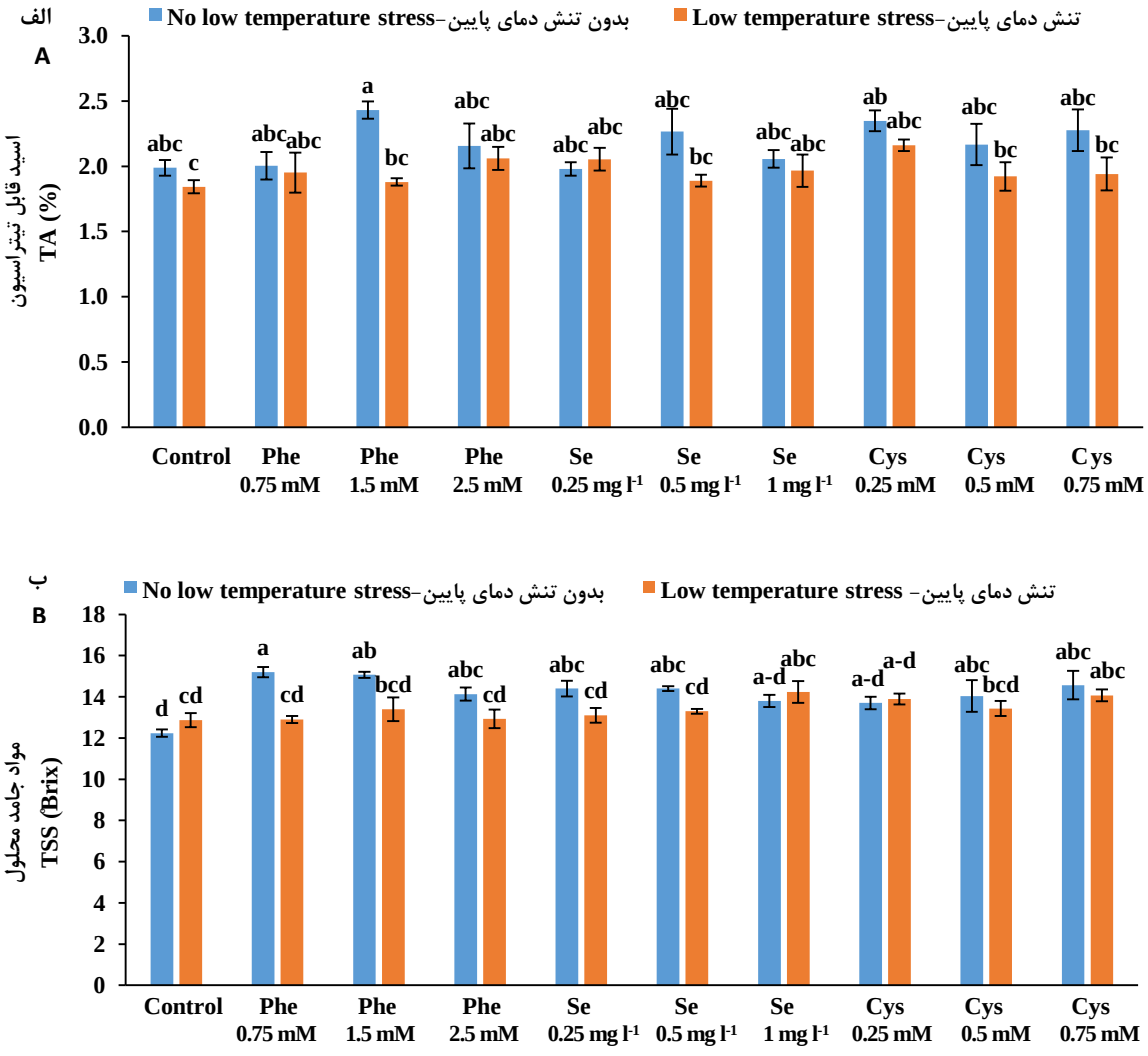
ns not significant, **significant at one percent probability level, *significant at five percent probability level

برخی از اسیدهای آمینه ضروری مانند فنیل‌آلانین به کیفیت غذایی و طعم میوه کمک می‌کنند (Li et al., 2018). اسیدهای آمینه به‌عنوان محرک‌های زیستی و موادی که باعث رشد گیاه، بهبود در دسترس بودن مواد مغذی و افزایش کیفیت گیاه می‌شوند، نه‌تنها برای کاهش آسیب‌های ناشی از تنش‌های غیرزیستی محبوب هستند، بلکه به‌عنوان پیش‌سازهای هورمونی نیز عمل می‌کنند، به‌گونه‌ای که رشد بهتر ریشه با افزودن اسیدهای آمینه می‌تواند تثبیت نیتروژن را تقویت کند و باعث افزایش سطح ریشه برای جذب مواد مغذی شود (Khan et al., 2019). نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر روی گیاه خیار (Shehata et al., 2016) مقدار مواد جامد محلول میوه به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. در توت‌فرنگی (Bidaki et al., 2018) و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (Javanmardi and Sattar, 2016) نیز تجمع مواد جامد محلول با کاربرد اسیدهای آمینه نتایج مثبتی را نشان داد که با نتایج حاصل از این آزمایش مشابه است.

ویتامین ث

نتایج نشان داد اثرات ساده تیمار محلول‌پاشی و اثرات متقابل تنش دمای پایین و تیمار محلول‌پاشی بر صفت ویتامین ث در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) و اعمال تنش دمای پایین در مرحله نشاء باعث کاهش ویتامین ث شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار ویتامین ث با کاربرد فنیل‌آلانین ۱/۵ و ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان تحت شرایط رشد نرمال به دست آمد (شکل ۶). محلول‌پاشی فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر نشاها تحت شرایط رشدی غیر تنش، میزان ویتامین ث میوه را به‌طور

معنی‌داری افزایش دادند. ویتامین ث، یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر انواع مختلف تنش‌ها است. ویتامین ث به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مهم در گیاهان، توانایی ترکیب شدن با انواع مختلف گونه‌های فعال اکسیژن را داشته و می‌تواند آسیب‌های ناشی از افزایش آن‌ها را کاهش دهد (Smirnoff and Wheeler, 2000). کاربرد فنیل‌آلانین منجر به تجمع فنول و فلاونوئیدهای ناشی از فعالیت بالای آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) با تجمع اسید اسکوربیک همزمان باعث افزایش ظرفیت مهار آنتی‌اکسیدانی می‌شود که ممکن است برای حفظ یکپارچگی غشا در گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما حیاتی باشد (Aghdam et al., 2019). مطالعات قبلی نشان داد که کاربرد اسیدهای آمینه در گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) منجر به افزایش معنی‌دار میزان اسید اسکوربیک نسبت به شاهد شد (Sarojnee et al., 2009).

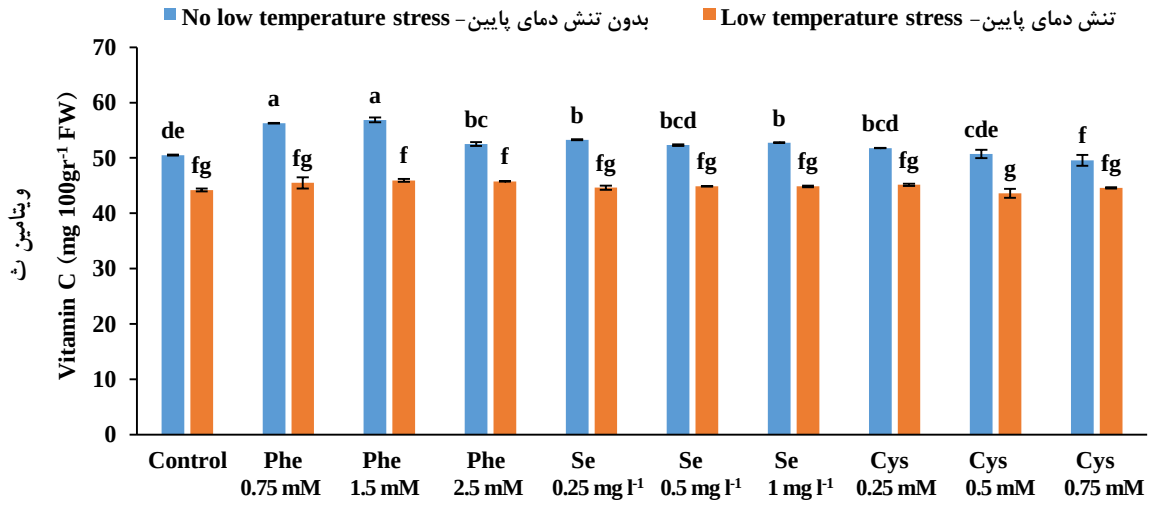


شکل ۵. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر اسید قابل تیتراسیون (الف) و مواد جامد محلول (ب) میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 5. Effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on titratable acidty (TA- A) and soluble solids (TSS- B) of Physalis fruit under low-temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.

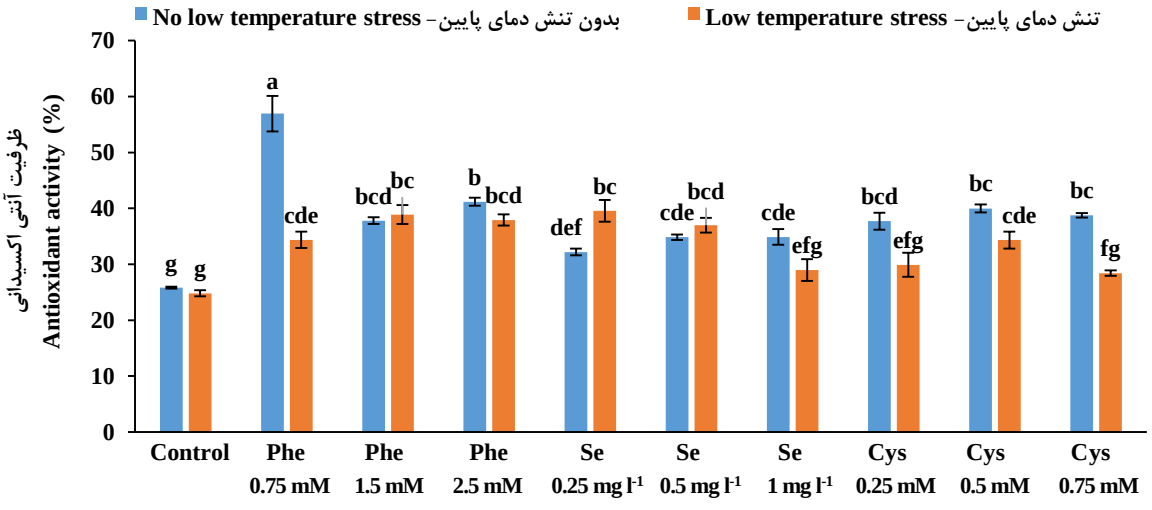
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

کاربرد تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم در گیاهان تحت تنش دمای پایین و فاقد تنش، فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش دادند (جدول ۳ و شکل ۷). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۵۶/۹ درصد) با کاربرد فنیل‌آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان فاقد تنش سرما نسبت به سایر تیمارها و گیاهان تحت تنش مشاهده شد. اسیدهای آمینه با خواص آنتی‌اکسیدانی که دارند نقش بسیار مهمی را در دفاع گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو دارند (Bidaki et al., 2018). در مطالعات انجام شده اعلام شد که محلول‌پاشی گیاهان با اسیدهای آمینه مانند فنیل‌آلانین موجب افزایش ترکیبات معطر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنولی و ترکیبات اصلی دیواره سلولی مانند سلولز شد (Portu et al., 2015). همچنین تأثیر مثبت اسیدهای آمینه بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی هندوانه ابوجهل در تحقیق ثانی‌خانی و همکاران (Sanikhani et al., 2020) و در چای ترش (Msh et al., 2015) نیز اعلام شده است.



شکل ۶. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر ویتامین ث گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 6. The effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on vitamin C of Physalis under low temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.



شکل ۷. 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.

Fig. 7. The effect of phenylalanine (Phe), cysteine (Cys), and selenium (Se) treatments on Antioxidant activity of Physalis under low temperature stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که کاربرد تیمارهای اعمال‌شده بر گیاهان عروسک پشت پرده در مرحله نشاء و بلوغ گیاه تحت تنش دمایی (سرما) می‌تواند گیاه را از خطرات احتمالی تنش محافظت نموده، همچنین اثرات آن را کاهش دهد. تنش دمایی در مرحله نشاء بر صفات کلروفیل کل، کارتنوئید، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق بیان‌گر بهبود عملکرد و شاخص‌های کیفی میوه عروسک پشت‌پرده تحت تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و سلنیوم بود و با کاربرد اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین و سیستئین و عنصر سلنیوم می‌توان در راستای افزایش عملکرد و کیفیت میوه و کاهش اثرات منفی دمای پایین گام برداشت.

منابع

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. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.074

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. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.07.015

AOAC. 2000. Official method of analysis of the association of official analytical chemists. Washington D.C. 12, 377-378.

Arnon, D., 1949. Copper enzymes isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24, 1-15.

Belal, B.E.A., El-Kenawy, M.A., Uwakiem, M.K., 2016. Foliar application of some amino acids and vitamins to improve growth, physical and chemical properties of flame seedless grapevines. Egyptian Journal of Horticulture. 43, 123-136. https://doi.org/10.21608/EJOH.2016.2831

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. 9,1-10. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.29252/ejgcst.9.2.1

Cheng, B., Lian, H.F., Liu, Y.Y., Yu, X.H., Sun, Y.L., Sun, X.D., Liu, S.Q., 2016. Effects of selenium and sulfur on antioxidants and physiological parameters of garlic plants during senescence. Journal of Integrative Agriculture. 15, 566-572. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61201-1

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

Djanaguiraman, M., Prasad, P. V., Seppanen, M., 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. Plant Physiology and Biochemistry. 48, 999-1007. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.09.009

Eom, S.H., Ahn, M.A., Kim, E., Lee, H.J., Lee, J.H., Wi, S.H., Kim, S.K., Lim, H.B., Hyun, T.K., 2022. Plant response to cold Stress: Cold stress changes antioxidant metabolism in heading type Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. Pekinensis). Antioxidants. 11, 700. https://doi.org/10.3390/antiox11040700

Erdal, S., 2012. Androsterone-induced molecular and physiological changes in maize seedlings in response to chilling stress. Plant Physiology and Biochemistry. 57, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.016

Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., Mahmoud, A.R., 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of Squash. Research Journal of Agriculture and Biological Science. 6, 583-588.

Guo, X., Li, J., Zhang, L., Zhang, Z., He, P., Wang, W., Wang, M., Wang, A., Zhu, J., 2020. Heterotrimeric G-protein α subunit (LeGPA1) confers cold stress tolerance to processing tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill).

BMC Plant Biology. 26; 20, 394. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02615-w

Haghighi, M., Abolghasemi, R., da Silva, J. A.T., 2014. Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. Scientia Horticulturae. 178, 231-240. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.006

Hawrylak-Nowak, B., Matraszek, R., Szymańska, M., 2010. Selenium modifies the effect of short-term chilling stress on cucumber plants. Biological Trace Element Research. 138, 307-315. https://doi.org/10.1007/s12011-010-8613-5

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, 1913. https://doi.org/10.3390/ijms19071913

Jalili Marandi, R., 2004. Postharvest physiology (Handling and storage of fruits, vegetables and ornamental plants). Publishers Jihad Urmia University (2nd ed.). p. 276. [In Persian]

Javanmardi, J., Sattar, H., 2016. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of five greenhouse tomato cultivars in response to fertilizers containing seaweed extract and amino acids. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 7, 121-130. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.1.121

Kang, G., Wang, C., Sun, G., Wang, Z., 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. Environmental and Experimental Botany. 50, 9-15. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00109-0

Khalofah, A., Migdadi, H., El-Harty, E., 2021. Antioxidant enzymatic activities and growth response of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) to exogenous selenium application. Plants. 10, 719. https://doi.org/10.3390/plants10040719

Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B.N., Wang, H., Liu, P., Jiang, W., 2019. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. Agronomy. 9, 266. https://doi.org/10.3390/agronomy9050266

Khavari Nezhad, R.A., Goshehgir, Z. Saadatmand, S., 2010. The effects of selenium-molybdenum interaction on contents of photosynthetic pigments in tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill.). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 5, 14-23. [In Persian with English abstract].

Kurepin, L.V., Ivanov, A.G., Zaman, M., Pharis, R.P., Allakhverdiev, S. I., Hurry, V., Hüner, N.P., 2015. Stress-related hormones and glycinebetaine interplay in protection of photosynthesis under abiotic stress conditions. Photosynthesis Research. 126, 221-235. http://doi.org/10.1007/s11120-015-0125-x

Lee, G.J., Kang, B.K., Kim, T.I., Kim, T.J., Kim, J.H., 2007. Effects of different selenium concentrations of the nutrient solution on the growth and quality of tomato fruit in hydroponics. International Symposium on Advances in Environmental Control. 761, 443-448. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.61

Liang, W., Wang, M., Ai, X., 2009. The role of calcium in regulating photosynthesis and related physiological indexes of cucumber seedlings under low light intensity and suboptimal temperature stress. Scientia Horticulturae. 123(1), 34-38. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.07.015

Liu, Q., Wang, D., Wu, G., Hao, G., Hao, Y., Sun, S. 2011. Effects of selenium on leaf senescence and antioxidase system in Pyrus bretschneider 'Dangshan Suli'. Acta Horticulturae Sinica. 38, 2059-2066.

Matysiak, K., Kierzek, R., Siatkowski, I., Kowalska, J., Krawczyk, R., Miziniak, W., 2020. Effect of exogenous application of amino acids l-arginine and glycine on maize under temperature stress. Agronomy. 10, 769. https://doi.org/10.3390/agronomy10060769

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

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, 367-374. http://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n213rc

Mozaffari, M., Razavi, F., Rabiei, V., Kheiry, A., Hassani, A., 2020. Effect of preharvest spraying of selenium on qualitative and biochemical characteristics of grape cv. Fakhri (*Vitis vinifera* cv. Fakhri). Journal of Horticultural Science. 34, 61-74. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V33I4.79017

MSh, S., Orabi, S.A., Bakry, A.B., 2015. Antioxidant properties, secondary metabolites and yield as affected by application of antioxidants and banana peel extract on Roselle plants. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 9, 93-104.

Muniz, J., Kretzschmar, A.A., Rufato, L., Pelizza, T.R., Rufato, A.D.R., Macedo, T.A.D., 2014. General aspects of physalis cultivation. Ciencia Rural. 44, 964-970. https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000600002

Nasibi, F., Heidari, T., Asrar, Z., Mansoori, H., 2013. Effect of arginine pre-treatment on nickel accumulation and alleviation of the oxidative stress in *Hyoscyamus niger*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 13, 680-689. https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000054

Pezzarossa, B., Rosellini, I., Borghesi, E., Tonutti, P., Malorgio, F., 2014. Effects of Se-enrichment on yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponics. Scientia Horticulturae. 165, 106-110. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.029

Põldma, P., Moor, U., Tõnutare, T., Herodes, K., Rebane, R., 2013. Selenium treatment under field conditions affects mineral nutrition, yield and antioxidant properties of bulb onion (*Allium cepa* L.). Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. 12, 167-181.

Portu, J., Gonzalez-Arenzana, L., Hermosín-Gutierrez, I., Santamaria, P., Garde-Cerdan, T., 2015. Phenylalanine and urea foliar applications to grapevine: Effect on wine phenolic content. Food Chemistry. 180, 55-63. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.008

Puccinelli, M., Malorgio, F., Pezzarossa, B., 2017. Selenium enrichment of horticultural crops. Molecules. 22, 933. https://doi.orG/10.3390/molecules22060933

Puccinelli, M., Malorgio, F., Terry, L.A., Tosetti, R., Rosellini, I., Pezzarossa, B., 2019. Effect of selenium enrichment on metabolism of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit during postharvest ripening. Journal of the Science of Food and Agriculture. 99, 2463-2472.

Quiterio-Gutiérrez, T., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Hernández-Fuentes, A.D., Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., 2019. The application of selenium and copper nanoparticles modifies the biochemical responses of tomato plants under stress by Alternaria solani. International Journal of Molecular Sciences. 20, 1950. https://doi.org/10.3390/ijms20081950

Radyuk, M., Domanskaya, I., Shcherbakov, R., Shalygo, N., 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. https://doi.org/10.1134/S1021443709020058

Rahmani Samani, M., Pirbalouti, A.G., Moattar, F., Golparvar, A.R. 2019. L-Phenylalanine and bio-fertilizers interaction effects on growth, yield and chemical compositions and content of essential oil from the sage (*Salvia officinalis* L.) leaves. Industrial Crops and Products.137,1-8. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.019

Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., ... Oliveira, C. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Plant, Soil and Environment. 56, 584-588. https://doi.org/10.17221/113/2010-PSE

Sanikhani, M., Akbari, A. and 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 with English summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.35.5.6

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, 414 - 424.

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, 67-73. https://doi.org/10.15835/nsb.5.1.8293

Schiavon, M., dall'Acqua, S., Mietto, A., Pilon-Smits, E.A., Sambo, P., Masi, A. Malagoli, M., 2013. Selenium fertilization alters the chemical composition and antioxidant constituents of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61, 10542-10554. https://doi.org/10.1021/jf4031822

Shehata, S.A., Abdel-Wahab, A., 2018. Influence of compost, humic acid and amino acids on sweet pepper growth, productivity and storage-ability. Middle East Journal of Applied Sciences. 8, 922-927.

Shehata, S.A., Hassan, H.A., Tawfik, A.A., Farag, M.F., 2016. Improving the productivity and quality of the cucumber crop grown under greenhouse conditions using some stimulants and spraying amino acids. Journal of Plant Production. 7, 385-392. https://doi.org/10.21608/JPP.2016.45373

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, 280. https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000280

Shekari, L., Kamelmanesh, M. M., Mozafarian, M., Sadeghi, F., 2016. Beneficial effects of selenium on some morphological and physiological trait of hot pepper (*Capsicum anuum*). Journal of Horticultural Science. 29, 594-600. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V29I4.32110

Sherzod, R., Yang, E.Y., Cho, M.C., Chae, S.Y., Kim, J.H., Nam, C.W., Chae, W.B., 2019. Traits affecting low temperature tolerance in tomato and its application to breeding program. Plant Breeding and Biotechnology. 7, 350-359. https://doi.org/10.9787/PBB.2019.7.4.350

Smirnoff, N., Wheeler, G.L., 2000. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. Critical reviews in biochemistry and molecular biology. 35, 291-314. https://doi.org/10.1080/07352680091139231

Sogvar, O., Razavi, F., Rabiei, V. Gohari, G., 2020. Postharvest application of L- cysteine to prevent enzymatic browning of "Stanley" plum fruit during cold storage. Journal of Food Processing and Preservation. 44, 14788. https://doi.org/10.1111/jfpp.14788

Teixeira, W.F., Fagan, E.B., Soares, L.H., Umburanas, R.C., Reichardt, K., Neto, D.D., 2017. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. Frontiers in Plant Science. 8, 327. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00327

Vega, J.C.D.L., Olmedo, V., Ortega, C.G., Lara, M.V., Espin, R.D.C., 2020. Conservation advances on *Physalis peruviana* L. and Spondia purpurea: a review. Food Science and Technology. (AHEAD). https://doi.org/10.1590/fst.27520

Yadav, S. K., 2010. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. Agronomy for Sustainable Development. 30, 515-527. https://doi.org/10.1051/agro/2009050

Yang, H., Chen, L., Zhou, C., Yu, X., Yagoub, A.E.A., Ma, H., 2018. Improving the extraction of l-phenylalanine by the use of ionic liquids as adjuvants in aqueous biphasic systems. Food Chemistry. 245, 346-352. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.110

Yang, Z.Q., Han, D., Wang, L., Jin, Z.F., 2016. Changes in photosynthetic parameters and antioxidant enzymatic activity of four tea varieties during a cold wave. Acta Ecologica Sinica. 36, 629-641.

Zhang, F., Lu, K., Gu, Y., Zhang, L., Li, W., Li, Z., 2020. Effects of low-temperature stress and brassinolide application on the photosynthesis and leaf structure of tung tree seedlings. Frontiers in Plant Science. 10, 1767. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01767