

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. Akbari¹, V. Rabiei², 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



and Se. Fruits were harvested with the change of calyx and fruit color from green to orange and total fruit yield estimated as a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Also, chlorophyll and carotenoid contents of leaf, fruit carotenoid, titratable acidity, soluble solids contents, vitamin C and 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 ($11419.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) 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 $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 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

اثر محلول پاشی فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم بر عملکرد و کیفیت میوه عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) تحت تنش سرما

آرزو اکبری^۱، ولی ربیعی^۲، طاهر برزگر^{۳*}

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	چکیده
واژه‌های کلیدی:	دما به‌عنوان یکی از عوامل محیطی اصلی برای محدودیت در پراکنش، بهره‌وری و بقای گیاهان محسوب می‌شود.
اسید آمینه	به‌منظور ارزیابی اثر دمای پایین در مرحله نشاء، بر رشد و عملکرد و همچنین کیفیت میوه عروسک پشت پرده
دمای پایین	(<i>Physalis peruviana</i> L.) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام
کارتنوئید	شد. تیمار تنش سرمایی به مدت ۴۸ ساعت در دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد در مرحله نشاء در سردخانه تحقیقاتی
عملکرد	دانشگاه زنجان و تیمار شاهد فاقد تنش سرمایی بود. تیمارهای محلول‌پاشی شامل اسیدهای آمینه فنیل آلانین
ویتامین ث	(۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار)، سیستئین (۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار)، سلنیوم (۰/۵، ۱ و ۱ میلی‌گرم در لیتر سلمات
تاریخ دریافت:	سدیم) به همراه شاهد بود. نتایج نشان داد که تنش دمای پایین محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، کارتنوئید و میوه
۱۴۰۲/۰۴/۱۳	اسید قابل تیتراسیون را کاهش داد و باعث افزایش مواد جامد محلول کل میوه شد، ولی بر عملکرد و محتوای ویتامین
تاریخ پذیرش:	ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه تأثیری نداشت. کاربرد برگی فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم به‌طور معنی‌داری
۱۴۰۲/۰۶/۰۴	عملکرد و شاخص‌های کیفی میوه را در گیاهان تحت تنش سرما و فاقد تنش افزایش دادند. بیشترین عملکرد
تاریخ انتشار:	(۱۱۴۱۹/۱۴ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سیستئین در گیاهان تحت تنش دمای پایین به دست آمد.
زمستان ۱۴۰۳	حداکثر مقدار ویتامین ث (۵۶/۸ و ۵۶/۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) به ترتیب با کاربرد فنیل آلانین ۱/۵ و ۰/۷۵
۱۷(۴): ۸۳۱-۸۱۵	میلی‌مولار در گیاهان تحت شرایط رشد نرمال به دست آمد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۵۶/۹ درصد) با
	کاربرد فنیل آلانین ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان فاقد تنش سرما نسبت به سایر تیمارها و گیاهان تحت تنش مشاهده
	شد؛ بنابراین کاربرد این ترکیبات بخصوص فنیل آلانین ۱/۵ میلی‌مولار، سیستئین ۰/۵ میلی‌مولار یا سلنیوم ۱ میلی-
	گرم 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 از جمله 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 مورد توجه قرار گرفته است (Muniz et al., 2014). سرما که به‌عنوان تنش سرمایی (15°C - 0°C) و تنش یخ‌زدگی (صفر $>^{\circ}\text{C}$) طبقه‌بندی می‌شود، به یک عامل محیطی اصلی تبدیل شده است که با تأثیر بر رشد گیاهان،

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 فنیل‌پروپانویید است که منجر به تشکیل ترکیبات اسید فنولیک، فلاونوئیدها و سایر فنول‌ها می‌شود (Yang et al., 2018). فنیل‌آلانین آمونیاک‌لیاز، آنزیم اولیه مسیر فنیل‌پروپانویید 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 غیرزنده و زنده محافظت می‌کنند (Yang et al., 2018). محلول‌پاشی آمینواسیدهایی مانند ال فنیل‌آلانین در مرحله قبل از برداشت در انگور (*Vitis vinifera* 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 annuum* 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 اسید آمینه 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 گلوکاتیون و برخی از ترکیبات دفاعی است (Sogvar et al., 2020). تیمار میوه لیچی (*Litchi chinensis*) با اسید آمینه 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). باین‌حال تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر تیمار قبل از برداشت فنیل‌آلانین و ال سیستئین 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-

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، از جمله 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 از جمله 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 از جمله 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 رویسکو 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).

دارد. بر همین اساس پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر اسیدهای آمینه فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم در مرحله نشاء گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش سرمایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت 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 فنیل آلانین 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 سلات سدیم) و شاهد بدون محلول پاشی 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 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد در روز و 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ۶۵-۶۰ درصد و نور طبیعی بود. تیمار اسیدهای آمینه و سلنیوم در مرحله ۴-۵ برگ حقیقی انجام شد و سپس به منظور اعمال تنش سرمازدگی نشاءها به مدت ۴۸ ساعت در دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد در سردخانه قرار گرفتند و گیاهان شاهد فاقد تنش سرمایی بودند (Guo et al., 2020). نشاءها 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.

(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 پروپانویید 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 از نظر 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). محلول پاشی 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 به‌طور کلی، راهبردهای کارآمدی برای جلوگیری از آسیب سرمایی وجود ندارد. با این حال، محلول پاشی 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

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

بار در مرحله رشد رویشی (۸ تا ۱۰ برگی)، آغاز گلدهی و ظهور اولین میوه با فاصله ۱۵ روز انجام شد. آبیاری مزرعه

دو هفته پس از استقرار کامل گیاهان، محلول پاشی برگی فنیل آلانین، سیستئین و سلات سدیم با همان غلظت‌ها، سه

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

= فعالیت آنتی‌اکسیدانی

$100 \times \text{جذب DPPH} / \text{جذب نمونه} - \text{جذب DPPH}$

[۴]

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 تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نشاها در مرحله ۴-۵ 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 4 ± 1 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.

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):

= کلروفیل کل

$[20.2 (A645) + 8.02 (A663)] \times V / (W \times 1000)$

[۱]

= کارتنوئید

$[7.6 (A480) - 1.49 (A510)] \times V / (W \times 1000)$

[۲]

A: جذب طول موج ویژه؛ V: حجم نهایی کلروفیل در استون
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 تیتراژ با سدیم هیدروکسید استفاده گردید. درنهایت حجم هیدروکسید مصرفی ثبت گردید (AOAC, 2000). مقدار اسید کل به‌صورت درصد سیتریک اسید (معادله ۳) محاسبه گردید.

[۳] $100 \times [E \times N \times S \times F / C] = \text{اسید قابل تیتراسیون} \%$

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

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



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 فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم بر عملکرد و محتوای کلروفیل و کارتنوئیدهای برگ عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین

Table 2. Variance analysis (Mean of Squares) 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

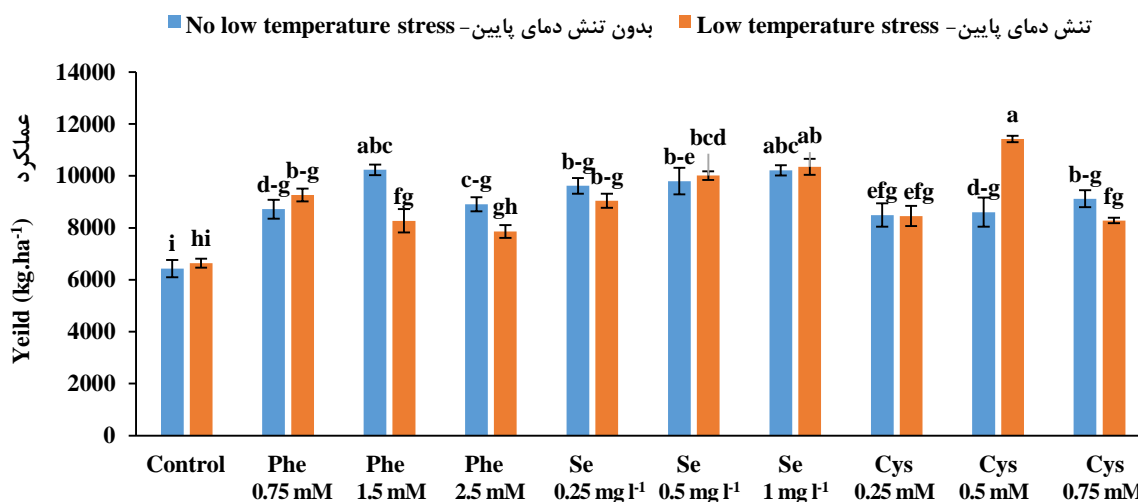
ns غیر معنی دار، ** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد
ns not significant, **significant at one percent probability level, *significant at five percent probability

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 معنی داری بر عملکرد کل گوجه فرنگی نداشت. کاربرد فنیل آلانین 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 میلی مولار اسید آمینه سیستئین در گیاهان تحت تنش به دست آمد که با سایر تیمارها تفاوت معنی داری 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 اسید آمینه‌ای می‌توانند جذب مواد مغذی و آب را بهبود بخشند و در نتیجه سرعت فتوسنتز و تقسیم ماده خشک را افزایش دهند و از این رو عملکرد محصول را افزایش می‌دهند که عملکرد فلفل (Sarojnee et al., 2009) و خیار (Shehata et al., 2016) نیز تحت تأثیر اسیدهای آمینه افزایش معنی داری نشان داد. سلنیوم از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده از جمله نور ماوراء بنفش، فلزات سنگین و آرسنیک و تنش‌های زنده از جمله عوامل بیماری‌زا و گیاهخواران محافظت می‌کند. همچنین با مهار پراکسیداسیون لیپیدها تنش اکسیداتیو را خنثی می‌کند و فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز را افزایش می‌دهد (Puccinelli et al., 2017). بر اساس یافته‌ها وزن و تعداد میوه در گوجه فرنگی با کاربرد تیمارهای سلنیوم افزایش یافت (Lee et al., 2007). اثر مثبت سلنیوم بر رشد و عملکرد در گوجه فرنگی (Haghighi et al., 2014)، پیاز

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).

(Pöldma 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 مورد استفاده بود (Djanaguiraman et al., 2010). با توجه به نتایج مطالعات قبلی می‌توان گفت که سلنیوم در



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.

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). باین‌حال، 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).

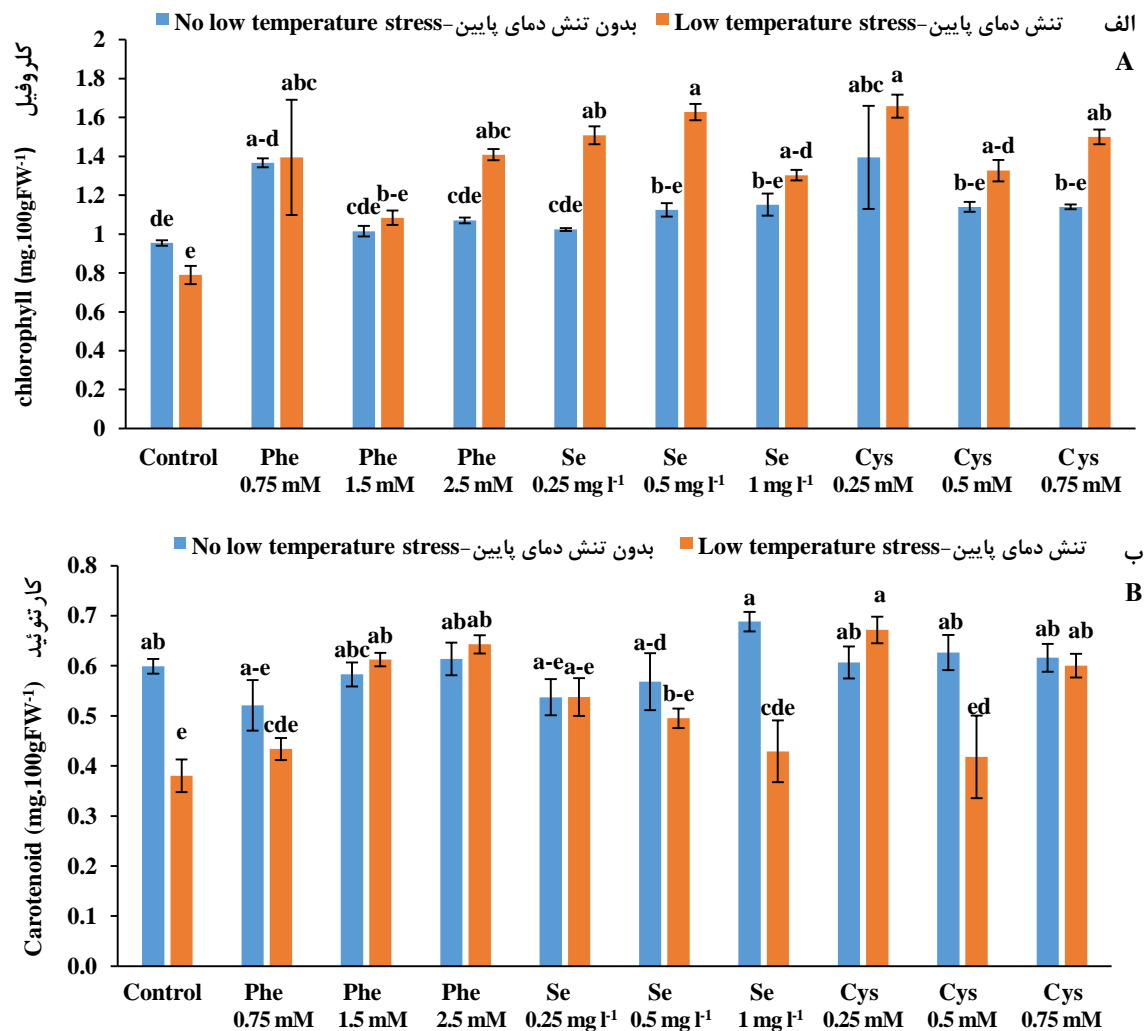
رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برگ

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 کاروتنوئید 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 وزن تر برگ) در تیمار سیستئین ۰/۲۵ میلی‌مولار نسبت به شاهد (۰/۷۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در گیاهان تحت تنش سرما به دست آمد (شکل ۳-الف). همچنین بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۶۹ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) 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

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 کارتنوئید پس از مصرف سلنیوم تغییر معنی‌داری نداشت (Hawrylak-Nowak et al., 2010).

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



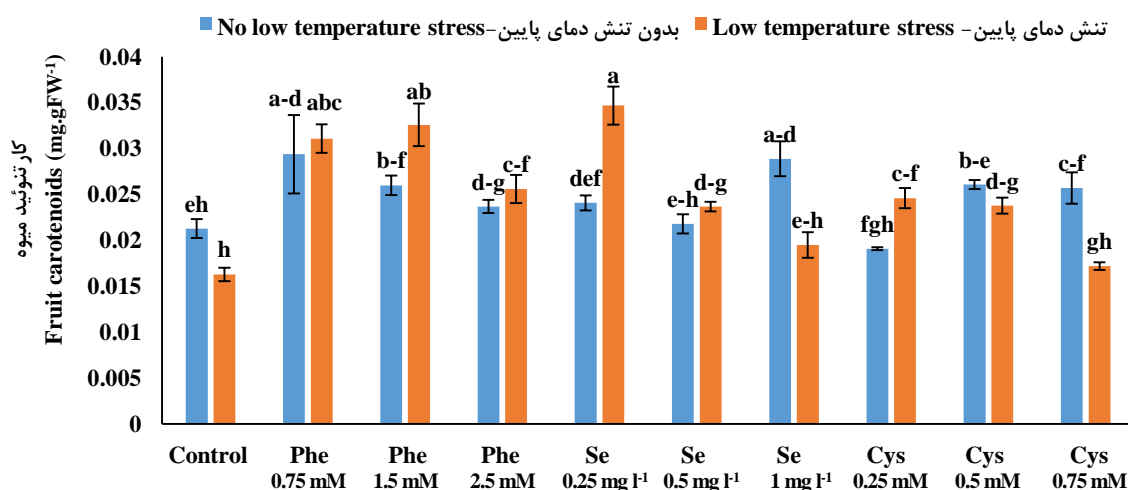
شکل ۳. تأثیر تیمارهای فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم بر محتوای کلروفیل (الف) و کارتنوئید (ب) برگ گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

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

میوه‌های غنی‌شده با سلینیوم 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 از نظر انبارمانی و نگهداری در پس از برداشت نیز هست (Pezzarossa et al., 2014). کاهش قابل توجه بتاکاروتن و افزایش جزئی در لیکوپن در تیمار یک میلی‌گرم در لیتر سلینیوم نشان می‌دهد که مسیر بیوسنتتیک کاروتنوئیدها توسط سلینیوم 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 سلینیوم (۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، محتوای آن ۲۵/۲ درصد کاهش یافت.

نتایج نشان داد که تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلینیوم بر محتوای کاروتنوئید میوه در گیاهان تحت تنش دمایی پایین و غیر تنش در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند و تنش دمایی پایین باعث کاهش محتوای کاروتنوئید میوه گردید (جدول ۳ و شکل ۴). بیشترین مقدار کاروتنوئید (۰/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار سلینیوم ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت، کمترین مقدار آن (۰/۱۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر 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. در واقع،



شکل ۴. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلینیوم بر محتوای کاروتنوئید میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمایی 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.

میزان اسید قابل تیتراسیون در گیاهان شاهد سرمازده به دست آمد (شکل ۵-الف). کاربرد فنیل‌آلانین، سیستئین و سلینیوم بر نشاها تحت شرایط تنش دمایی 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

اسید قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) تنش دمایی 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

هستند که به عنوان بافرهایی عمل می کنند که به حفظ ارزش مطلوب pH در سلول گیاهی کمک می کنند (Belal et al., 2016). محلول پاشی اسیدهای آمینه بر گیاه توت فرنگی در مرحله قبل از برداشت تأثیر مثبتی بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه ها نشان داد (Bidaki et al., 2018). کاربرد کودهای حاوی اسید آمینه بر پنج رقم گوجه فرنگی گلخانه ای بیشترین مقدار درصد اسید قابل تیتراسیون را نشان داد (Javanmardi and Sattar, 2016).

نشده مشاهده شد. مواد جامد محلول در تیمارهای بدون سرما نتایج بهتری نسبت به گیاهانی که تحت تنش بوده اند داشته است. میزان اسید قابل تیتراسیون یکی از ویژگی های مهمی است که به طور قابل توجهی بر طعم و همچنین مشخصات تغذیه ای میوه تأثیر می گذارند (Ali et al., 2016). استفاده از اسیدهای آمینه نه تنها باعث افزایش رشد می شود بلکه همچنین باعث افزایش کیفیت و مقدار محصول می شود. همچنین، اسیدهای آمینه حاوی هر دو گروه اسیدی و پایه

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

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

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

غیر معنی دار، ** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد

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

(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.

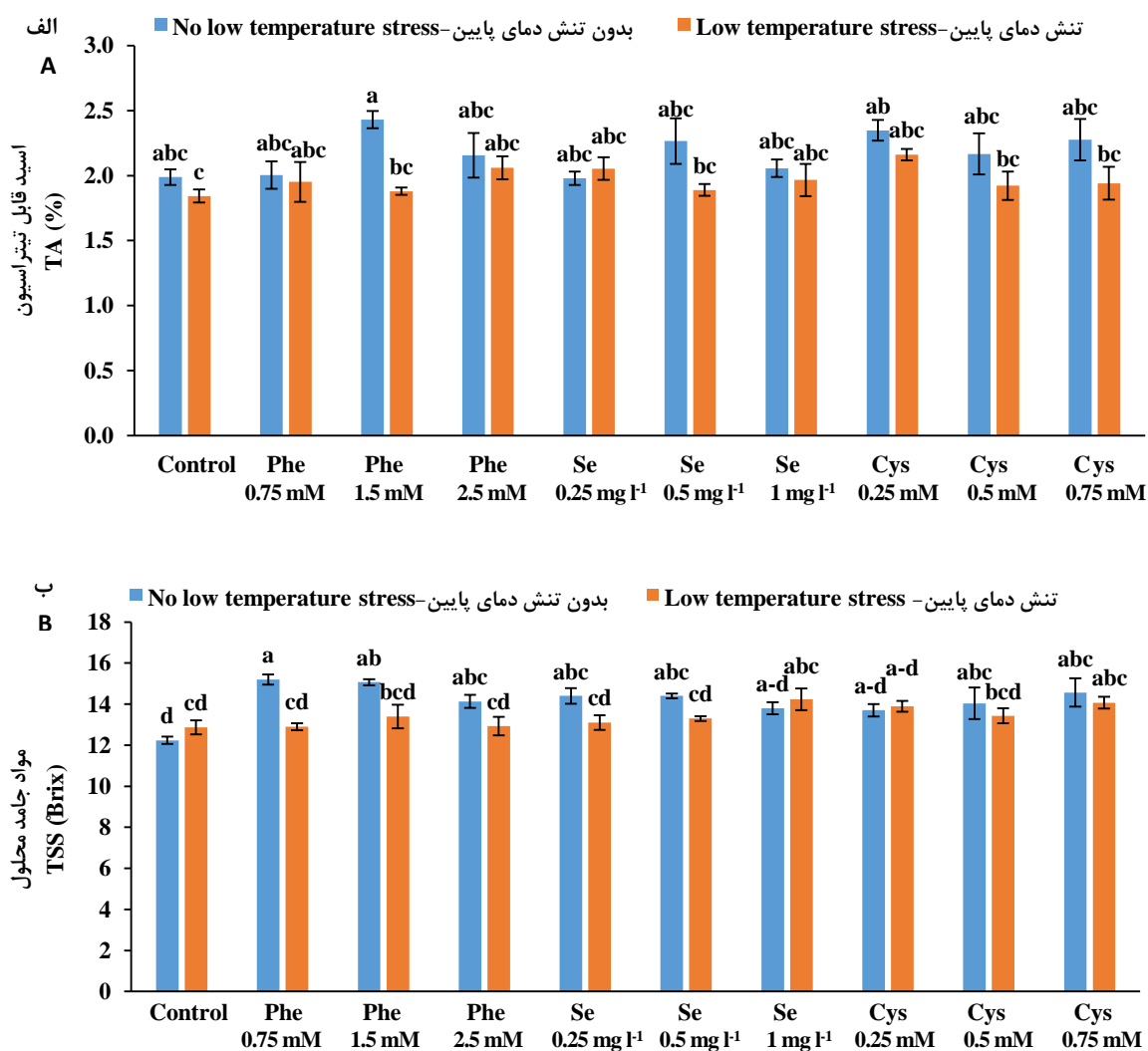
ویتامین ث

نتایج نشان داد اثرات ساده تیمار محلول پاشی و اثرات متقابل تنش دمایی پایین و تیمار محلول پاشی بر صفت ویتامین ث در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۳) و اعمال تنش دمایی پایین در مرحله نشاء باعث کاهش ویتامین ث شد. طبق نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین ها، بیشترین مقدار ویتامین ث با کاربرد فنیل آلانین ۱/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار در گیاهان تحت شرایط رشد نرمال به دست آمد (شکل ۶). محلول پاشی فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم بر نشاء تحت شرایط رشدی غیر تنش، میزان ویتامین ث میوه را به طور

برخی از اسیدهای آمینه ضروری مانند فنیل آلانین به کیفیت غذایی و طعم میوه کمک می کنند (Li et al., 2018). اسیدهای آمینه به عنوان محرک های زیستی و موادی که باعث رشد گیاه، بهبود در دسترس بودن مواد مغذی و افزایش کیفیت گیاه می شوند، نه تنها برای کاهش آسیب های ناشی از تنش های غیرزیستی محبوب هستند، بلکه به عنوان پیش سازهای هورمونی نیز عمل می کنند، به گونه ای که رشد بهتر ریشه با افزودن اسیدهای آمینه می تواند تثبیت نیتروژن را تقویت کند و باعث افزایش سطح ریشه برای جذب مواد مغذی شود (Khan et al., 2019). نتایج نشان داد که با محلول پاشی اسیدهای آمینه بر روی گیاه خیار (Shehata et al., 2016) مقدار مواد جامد محلول میوه به طور قابل توجهی افزایش یافت. در توت فرنگی (Bidaki et al., 2018) و گوجه فرنگی گلخانه ای (Javanmardi and

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 annuum* L.) منجر به افزایش معنی‌دار میزان اسید اسکوربیک نسبت به شاهد شد (Sarojnee et al., 2009).

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 (Smirnof and Wheeler, 2000). کاربرد فنیل‌آلانین منجر به تجمع فنول و فلاونوئیدهای ناشی از فعالیت بالای آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) با تجمع



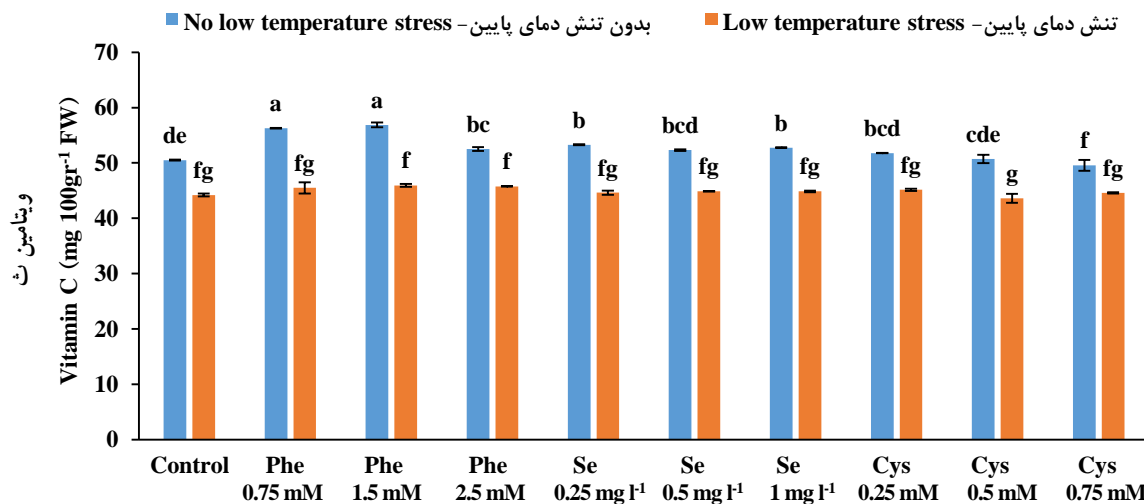
شکل ۵. تأثیر تیمارهای فنیل‌آلانین، سیستئین و سلنیوم بر اسید قابل تیتراسیون (الف) و مواد جامد محلول (ب) میوه عروسک پشت پرده تحت تنش دمای پایین. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

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

در برابر تنش‌های اکسیداتیو دارند (Bidaki et al., 2018). در مطالعات انجام شده اعلام شد که محلول پاشی گیاهان با اسیدهای آمینه مانند فنیل آلانین 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.

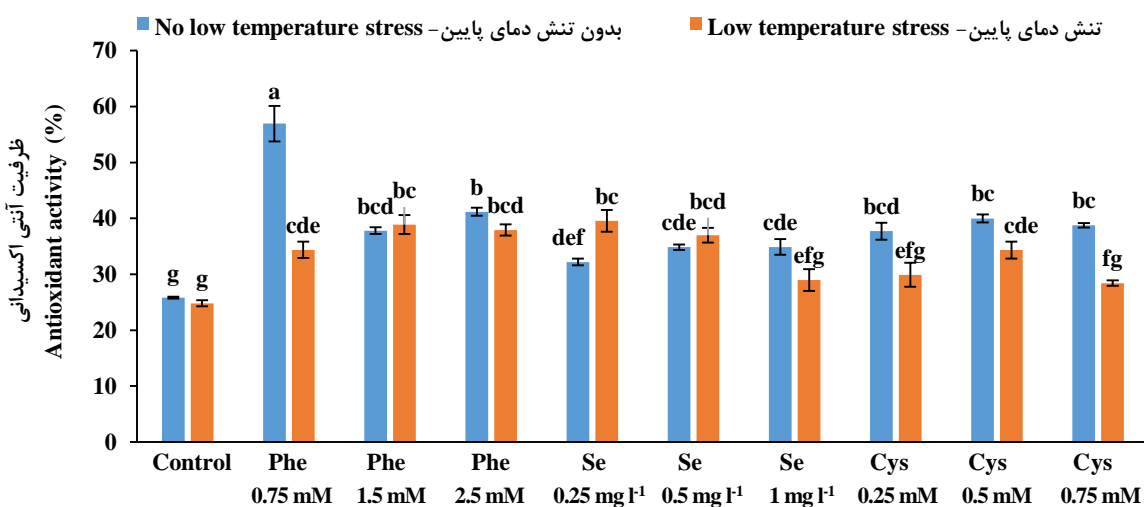
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

کاربرد تیمارهای فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم در گیاهان تحت تنش دمایی پایین و فاقد تنش، فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش دادند (جدول ۳ و شکل ۷). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۵۶/۹ درصد) با کاربرد فنیل آلانین 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



شکل ۶. تأثیر تیمارهای فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم بر ویتامین ث گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمایی 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 فنیل آلانین، سیستئین و سلنیوم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه عروسک پشت پرده تحت تنش دمایی 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

کلروفیل کل، کارتنوئید، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق بیان‌گر بهبود عملکرد و شاخص‌های کیفی میوه عروسک پشت‌پرده تحت تأثیر محلول پاشی 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.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که کاربرد تیمارهای اعمال‌شده بر گیاهان عروسک پشت‌پرده 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

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](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 H₂O₂-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](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 (*Lycopersicon 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 pruning 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 Selenium 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>
- Pöldma, 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 annum*). 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>