



The Effect of Silver Nanoparticles Application on the Physico-Biochemical Responses of French Marigold (*Tagetes patula* L.) Under Salinity Stress conditions

Khatoun Behzad¹ | Abdollah Ehtesham Nia^{2✉} | Mohamadreza Raji³ | Hasan Mouvand⁴ | Majid Alikhani⁵

1. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran . E-mail: khatoonbehzad@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
3. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: raji.m@lu.ac.ir
4. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: h.mouvand@gmail.com
5. Department of Plant medicine, Faculty of Agriculture, Saravan University, Saravan, Iran. E-mail: alikhanimajid@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Salinity is one of the main environmental stresses that affect the establishment of seedlings and the growth and yield of plants. Many studies have shown that applying silver nanoparticles improves plants' tolerance against stresses. This study aimed to investigate the effect of foliar application of silver nanoparticles on some morphological, physiological, and biochemical traits of French marigolds under salinity conditions. Therefore, a factorial experiment was conducted as a completely randomized design with four replications. Seeds were planted in pots containing soil, manure, and sand, in the greenhouse condition. Salinity treatment was applied at 4 levels (0, 25, 50, and 100 mM NaCl), and foliar application of silver nanoparticles at 4 levels (0, 10, 50, and 100 ppm. The use of silver nanoparticles in concentrations of 10 and 50 ppm in the condition of no salinity resulted in the highest Fv/Fm (0.820) and increased the morphological characteristics of French marigolds, including the number of flowers. (27.27 %), flower diameter (10.27 %) and flower life (5.75 days). Based on the results, French marigolds is sensitive to high concentrations of sodium chloride (100 mM) as the morpho-physiological characteristics were negatively affected at this level of salinity. Nevertheless, the use of silver nanoparticles in two concentrations of 10 and 50 ppm showed positive effects on reducing the adverse effects of stress, but the concentration of 100 ppm of silver nanoparticles not only did not reduce the effects of stress but also had negative effects on most the measured characteristics. Therefore, the use of silver nanoparticles in concentrations of 10 and 50 ppm can be recommended to reduce the adverse effects of salinity stress in French marigold.
Article history: Received: 17 November 2023 Received in revised form: 20 January 2024 Accepted: 16 February 2024 Published online: Summer 2024	
Keywords: <i>Catalase enzyme activity,</i> <i>Moderator,</i> <i>Nanoparticles,</i> <i>Sodium chloride.</i>	

Cite this article: Behzad, Kh., Ehtesham Nia, A., Raji, M. R., Mouvand, H. & Alikhani, M. (2024). The Effect of Silver Nanoparticles Application on the Physico-Biochemical Responses of French Marigold (*Tagetes patula* L.) Under Salinity Stress conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (2), 313-330. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367845.2132>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367845.2132>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Salinity is one of the main environmental stresses that affect the establishment of seedlings and the growth and yield of green space plants. Salinity stress reduces the intensity of photosynthesis due to several factors

such as dehydration of the cell membrane and as a result reduction in CO₂ penetration, toxicity by salt, and reduction in the amount of CO₂ due to the closing of the stomata. Salinity stress also accelerates the aging process and changes the activity of enzymes. Many studies have shown that the application of silver nanoparticles can improve plants' tolerance against abiotic stresses. This study aimed to investigate the effect of silver nanoparticles on flower traits and some physio-biochemical characteristics of French marigold under salinity stress conditions.

Materials and Methods

This experiment was conducted in May 2021 in a greenhouse condition. French marigold seeds (*Tagetes patula* L.) were planted in plastic pots containing a soil mixture including soil, rotted manure, and sand with a weight ratio of 2:1:1. The experiment was conducted as a factorial in the form of a completely randomized design with 4 replications. The first factor was salinity treatment at 3 levels (25, 50, and 100 mM NaCl, respectively equivalent to 0.067, 2.450, 5.440, and 9.520 ds/m) and the second factor was the foliar application of silver nanoparticles at 3 levels (10, 50, and 100 ppm). Some physio-biochemical traits such as flower life, chlorophyll content, proline content, enzyme activity and Fv/Fm were measured and LSD test was used to compare the differences between treatments.

Results and Discussion

The results showed that in plants exposed to the different concentrations of sodium chloride the amount of all examined traits significantly decreased, except the amount of proline, which increased by increasing the concentration of sodium chloride. Application of silver nanoparticles in concentrations of 10 and 50 ppm significantly improved the evaluated parameters under salinity stress conditions. The maximum quantum efficiency of photosystem II (0.820) was obtained in both 10 and 50 ppm concentrations of silver nanoparticles. The increase in the ornamental characteristics of French marigolds including the number of flowers (27.27%), flower diameter (10.27%) and flower life (5.75 days),) were observed under salt stress conditions. Chlorophyll a (16.50 mg/g FW), chlorophyll b (8.06 mg/g FW), total chlorophyll (24.66 mg/g FW) and carotenoids (3.13 mg/gr FW) also increased under salinity stress. According to the results, the examined enzymes showed the lowest activity in the following treatments: catalase (1.14 units/gr of FW) in the treatment without sodium chloride and foliar spraying of 50 ppm silver nanoparticles; peroxidase (1.40 units/gr of FW) in the treatment without sodium chloride and application of 10 ppm silver nanoparticles, and ascorbate (0.377 units/gr of FW) in the treatment without sodium chloride and 10 ppm silver nanoparticles. Salinity stress caused a significant decrease in the maximum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), which is caused by the disturbance in the activity of photosystem II. The adverse effect of salinity on the efficiency of photosystem II is due to its role in inhibiting electron transfer, it also destroys the reaction centers in photosystem II. Salinity stress hurts the activity of enzymes involved in the process of photosynthesis and electron transport chains. It ultimately leads to a decrease in the maximum efficiency of photosystem II (Fv/Fm). Accumulation of toxic ions in chloroplast during salinity stress causes chlorophyll destruction by creating oxidative stress. Also, salt stress by stimulating the glutamate ligase enzyme causes more conversion of glutamate to proline and as a result, the production of chlorophyll decreases.

Conclusion

The results of this study indicated that salinity stress, particularly at the concentration of 100 mM sodium chloride, had undesirable effects on the physiological, biochemical, and ornamental characteristics of French marigolds. Many of these adverse effects can be alleviated by utilizing silver nanoparticles at 10 and 50 ppm concentration. Based on the results of this research, it can be stated that the application of silver nanoparticles in the form of foliar spraying at the concentration of 10 and 50 ppm can have a positive effect on the growth and yield of flowers both in salt stress and normal conditions.

اثر محلول پاشی نانوذرات نقره بر پاسخ‌های فیزیکیوشیمیایی گل جعفری فرانسوی (*Tagetes patula* L.) در شرایط تنش شوری

خاتون بهزاد^۱ | عبدالله احتشام نیا^۲ | محمدرضا راجی^۳ | حسن مومیوند^۴ | مجید علیخانی^۵

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: khatoonbehzad@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: raji.m@lu.ac.ir
۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: h.mumivand@gmail.com
۵. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران. رایانامه: alikhanimajid@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	شوری یکی از اصلی‌ترین تنش‌های محیطی است که استقرار گیاهچه و عملکرد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که کاربرد نانوذرات نقره، تحمل گیاهان را در برابر تنش‌ها بهبود می‌بخشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر نانوذرات نقره بر ویژگی‌های گل و برخی ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی گل جعفری فرانسوی در شرایط تنش شوری کلرید سدیم بود. به این منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلدان‌های حاوی خاک، کود دامی و ماسه در گلخانه انجام شد. تیمار شوری در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و کاربرد برگی نانوذرات نقره در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۵۰، و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اعمال شد. کاربرد نانوذرات نقره در غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط عدم شوری، بیش‌ترین کارایی کوانتومی فتوسیستم II (820/0) را به خود اختصاص داد و موجب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیکی گل جعفری از جمله تعداد گل (۲۷/۲۷ درصد)، قطر گل (۱۰/۲۷ درصد) و عمر گل (۵/۷۵ روز) گردید. براساس نتایج، گل جعفری نسبت به شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) حساس است، چنانکه ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی در این سطح شوری تحت تاثیر منفی قرار گرفت. با این وجود، کاربرد نانوذرات نقره در دو غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، اثرات مثبتی بر تقلیل اثرات تنش نشان داد، اما غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات نقره نه تنها موجب کاهش اثرات تنش نشد، بلکه بر اکثر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری، اثرات منفی گذاشت. بنابراین، می‌توان نانوذرات نقره در غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را برای کاهش اثر تنش شوری در گیاه جعفری فرانسوی توصیه نمود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۳	
کلیدواژه‌ها: تعدیل‌کننده، فعالیت آنزیم کاتالاز، کلرید سدیم، نانوذرات.	

استناد: بهزاد، خاتون؛ احتشام نیا، عبدالله؛ راجی، محمدرضا؛ مومیوند، حسن و علیخانی، مجید (۱۴۰۳). اثر محلول پاشی نانوذرات نقره بر پاسخ‌های فیزیکیوشیمیایی گل جعفری فرانسوی (*Tagetes patula* L.) در شرایط تنش شوری. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۵ (۲)، ۳۳۰-۳۱۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367845.2132>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.367845.2132>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

گل جعفری فرانسوی یک گیاه زینتی پرکاربرد در فضای سبز، متعلق به تیره کاسنیان^۱ بوده و پراکنش آن بیشتر در مناطق معتدله و حاره‌ای می‌باشد (Funk *et al.*, 2007). این گل به‌عنوان گل پاکوتاه با ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر شناخته شده است (Romagnoli *et al.*, 2005). گل جعفری در فضای سبز شهری با داشتن تنوع رنگ گل و داشتن ارقام پاکوتاه و پابلند به‌صورت گسترده کشت می‌شود به همین علت بررسی واکنش گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است. شوری عبارت است از حضور بیش از اندازه نمک‌های حل شده و عناصر معدنی محلول در آب و خاک که منجر به انباشت نمک در ناحیه ریشه و ایجاد اختلال در جذب آب کافی از محلول خاک می‌شود (Mosa *et al.*, 2017). شوری از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات کشاورزی و رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شور شدن آب فرآیندی اجتناب‌ناپذیر بوده و از مشکلات اساسی مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود (Esfandyari-Sabzevar *et al.*, 2023). تنش شوری بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در گیاهان را در پی دارد و یکی از دلایل اصلی آن اثرات منفی یون‌های کلر و سدیم بر قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه است (Rajaie, 2022). تنش شوری به دلیل عوامل متعددی نظیر دهیدراتاسیون غشاء سلول و در نتیجه کاهش نفوذ CO₂، سمیت ناشی از نمک، کاهش میزان CO₂ به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، تسریع فرایند پیری و تغییر در فعالیت آنزیم‌ها به دلیل تغییرات ساختاری در سیتوپلاسم باعث کاهش شدت فتوسنتز می‌گردد (Theriappan *et al.*, 2011). گیاهان راهکارهای مختلف بیوشیمیایی و مولکولی برای مقابله با شوری دارند. واکنش‌های بیوشیمیایی متعددی به صورت همزمان عمل می‌کنند که منجر به بهبود تحمل شوری می‌شوند. راهکارهای مدیریتی مقابله با شوری شامل کنترل جذب یون‌ها از ریشه و انتقال آن‌ها به برگ‌ها، تجمع و خروج کنترل شده یون‌ها، سنتز مواد سازگار، تغییر در مسیر فتوسنتزی، جایگزینی ویژه یون‌ها در سلول و کل گیاه، تغییر در ساختار غشایی، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و تولید هورمون‌های گیاهی است (Kafi *et al.*, 2011). در حال حاضر از ترکیباتی استفاده می‌شود که مقاومت گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش داده و موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شوند. نانوذرات از محرک‌های غیرزیستی هستند که به طور غیرمستقیم موجب القای تولید متابولیت‌ها در گیاهان می‌شوند. این مواد با اندازه کوچک‌تر و عدم تجمع برای این کاربرد خاص از مزیت و اهمیت بالایی برخوردار هستند (Faizi *et al.*, 2019). محققان نشان داده‌اند که در تکنولوژی نانو، اولین اثر مربوط به اندازه ذرات و افزایش سطح است، به طوری که افزایش نسبت سطح به حجم موجب می‌شود تا واکنش‌پذیری نانوذرات به شدت افزایش یابد. علاوه بر این، افزایش سطح، فشار سطحی را تغییر داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات با فاصله بین اتم‌های آن‌ها می‌شود (Shahraki *et al.*, 2021). یکی از این ترکیبات، نانوذرات نقره است که به صورت گسترده در سال‌های اخیر برای بسیاری از فرآیندهای کشاورزی استفاده می‌شود. نانوذرات نقره از طریق القای پاسخ‌های دفاعی باعث بیوستز و انباشت متابولیت‌های ثانویه می‌شوند و روی بسیاری از فرایندهای مورفولوژی و فیزیولوژی گیاهان اثر می‌گذارند. این ذرات نانویی به خاطر اندازه کوچک آنها، به سرعت به درون سلول نفوذ کرده و منجر به افزایش میزان پروتئین و بیان ژن در سلول‌های گیاهی می‌شوند (Bondarian *et al.*, 2013). همچنین، گزارش شده است که نانوذرات به واسطه خاصیت آبدوستی که دارند با آزاد کردن کم‌کم ذرات آب به گیاه کمک می‌نمایند تا در شرایط تنش به خوبی عمل کند (Sabertanha *et al.*, 2017). بنابراین بکارگیری البیسیتور زیستی نسبت به البیستورهای شیمیایی به عنوان تکنیکی در جهت بهبود کیفیت محصول در صنعت کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد (Hassanvand *et al.*, 2023).

پیشینه پژوهش

اثر تنش شوری بر فرایندهای رشدی و فیزیولوژیکی در بسیاری از گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است. در یک بررسی تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نمک باعث کاهش زیست‌توده گیاه و اندازه گیاه (ارتفاع) در جعفری فرانسوی شد و اثر منفی بر

1. *Tagetes patula* L.

2. Asteraceae

فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند بسته شدن روزنه و محتوای کلروفیل داشت. همچنین، موجب افزایش پلی فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاروتنوئیدها و کاهش آنتوسیانین شد (Chrysargyris *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای تأثیر باکتری محرک گیاهی کوماموناس و نانوذرات نقره در مقابله با تنش شوری در گیاه کتان بررسی شد نتایج نشان دهنده افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر استفاده از نانوذرات نقره بود. همچنین، این ترکیبات منجر به افزایش قندهای محلول، پرولین و پروتئین‌های محلول شدند. پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید کاهش یافت در حالی که آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی در پاسخ به نانو ذرات افزایش یافتند (Khalofah *et al.*, 2021). بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر تحمل شوری گیاه مرزه در طول جوانه‌زنی درون شیشه‌ای نیز نشان داد که استفاده از نانوذرات نقره در بهبود تحمل به شوری در گیاهچه مرزه مفید می باشد و کاربرد آن مکانیسم‌های دفاعی گیاهان را در برابر سمیت نمک تحریک می‌کند (Nejatzadeh, 2021). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که محلول پاشی نانوذرات نقره موجب بهبود ویژگی‌های رشد از جمله وزن بوته، وزن تر و خشک ریشه، تعداد و طول برگ و همچنین ویژگی‌های فیزیولوژیکی از قبیل فلاونوئیدها، فنول و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه آرتیشو شد. همچنین، نتایج نشان داد میزان کربوهیدرات و پرولین در تنش شوری بدون نانوذرات نقره به ترتیب ۰/۵۱ میکرومول برگرم وزن تر و ۰/۵۹ گلوکز بر گرم وزن تر افزایش یافت و به‌طور کلی نشان دادند که نانوذرات نقره مقاومت گیاه در مقابل تنش شوری را افزایش می‌دهد (Shahraki *et al.*, 2021). استفاده از نانوذرات نقره در زعفران با افزایش پتاسیم و کاهش سدیم (تعادل در سدیم و پتاسیم) سبب افزایش مقاومت گیاه به شوری و افزایش میزان فسفر شده است (Karimijafari *et al.*, 2020). در پژوهشی، ویژگی‌های رشد گیاه زینتی *Duranta erecta* در شرایط تنش شوری و کاربرد نانوذرات نقره و سیلیس بررسی شد، مشخص گردید که در تیمارهای نانوذرات نقره در دو غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، میزان پتاسیم برگ و محتوای پرولین در بالاترین سطح نسبت به سایر تیمارها قرار داشت و میزان سدیم برگ در تیمارهای نانوذرات نقره کاهش یافت (Aly *et al.*, 2023). همچنین، تیمار نانوذرات نقره در گیاه ارزن مرواریدی تحت تنش شوری بهبود رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را سبب شد. اگرچه، پاسخ گونه‌های گیاهی مختلف وابسته به غلظت نانوذرات می باشد (Khan *et al.*, 2023). بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده تاکنون اثر نانوذرات نقره به عنوان تعدیل کننده اثر تنش شوری روی گیاه جعفری گزارش نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر تعدیل کننده‌های نانوذرات نقره بر پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی گل جعفری فرانسوی تحت شرایط تنش شوری انجام شد.

روش‌شناسی پژوهشی

آماده‌سازی مواد گیاهی و شرایط رشد

این آزمایش در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ در گلخانه گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم آباد، استان لرستان انجام شد. بذره‌های گل جعفری فرانسوی از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد و در گلدان‌های پلاستیکی حاوی مخلوط خاک لوم رسی، کود دامی پوسیده و ماسه با نسبت وزنی ۲:۱:۱ کشت شد (جدول ۱). پیش از کشت، بستر کاشت با اضافه کردن ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از محلول قارچ‌کش تیوفانات متیل در یک لیتر آب ضدعفونی شد و سپس در هر گلدان ۳ عدد بذر کشت شد. پس از استقرار بوته‌ها با حذف بوته‌های اضافی و نگهداری یک بوته در هر گلدان، اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا زمان استقرار کامل گیاه هر دو روز یکبار به‌صورت دستی صورت گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل تیمار شوری در سه سطح (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، به ترتیب ۲/۴۵، ۵/۴۴۰ و ۹/۵۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور دوم کاربرد

1 *Comamonas testosteroni*

2 *Pennisetum glaucum* L.

برگی تعدیل کننده نانوذرات نقره در سه سطح (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و شاهد بود. تیمار شوری پس از استقرار گیاهان در گلدان بصورت تدریجی با کاربرد غلظت کم نمک شروع شد. برای اعمال تیمار شوری، غلظت‌های مورد نظر تهیه و به صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار گرفت. محلول پاشی نانوذرات نقره به صورت هفتگی ۳ مرتبه تا مرحله گلدهی اعمال شد. پس از ۳ مرحله کاربرد آب شور، یک بار آبشویی انجام گرفت و بلافاصله تیمار شوری مربوطه نیز اعمال گردید. محلول پاشی برگی با نانوذرات نقره در ۳ مرحله، چهار برگی، رشد کامل و گلدهی انجام گردید. پیش از کاربرد نانوذرات نقره محلول‌ها، به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از دستگاه اولتراسونیک مدل هیلشر ساخت کشور آلمان همگن شدند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده.

شوری (دسی- نیتروژن)	فسفر (میلی- گرم بر لیتر)	پتاسیم (میلی- گرم بر لیتر)	آهن (میلی- گرم بر لیتر)	منگنز (میلی- گرم بر لیتر)	روی (میلی- گرم بر لیتر)	مس (میلی- گرم بر لیتر)	کربن (درصد)	بافت خاک
۰/۰۷	۷/۸	۳۴۶	۳/۹۵	۲/۳	۰/۷۳	۰/۲۸	۱/۰۲	رسی-لومی

اندازه‌گیری ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی

قطر، تعداد و عمر گل: قطر گل با استفاده از کولیس دیجیتالی و بر حسب سانتی‌متر، تعداد گل توسط شمارش و بر حسب تعداد گل در بوته و عمر گل بر حسب روز از زمان باز شدن غنچه تا زمانی که گل پلاسیده و پژمرده شد گزارش شد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

مقدار ۰/۱ گرم برگ تازه در هاون چینی با ازت مایع خرد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد، مخلوط گردید و پس از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه)، با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل مایپادا ساخت کشور چین، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. استون به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری استفاده گردید. میزان کلروفیل a (C_A)، کلروفیل b (C_B)، کلروفیل کل ($C_{(A+B)}$) و کارتنوئید ($C_{(X+C)}$) بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، به ترتیب از طریق رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه شدند (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{رابطه ۱)} \quad CA = (11.24 \times A662) - (2.04 \times A640)$$

$$\text{رابطه ۲)} \quad CB = (20.13 \times A645) - (4.19 \times A662)$$

$$\text{رابطه ۳)} \quad C(A + B) = (7.05 \times A662) + (18.9 \times A645)$$

$$\text{رابطه ۴)} \quad C(X + C) = 1000 \times [(A470 - 1.90 CA - 63.14 CB)] / 214$$

محتوای پرولین

نمونه‌های برگي توسط ازت مایع در هاون چینی پودر شد. سپس به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه شد. عصاره حاصل به فالكون ۱۵ میلی‌لیتری منتقل شد. فالكون‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره صاف شده روشناور با دو میلی‌لیتر شناساگر ناین هیدرین و دو میلی‌لیتر استیک اسید خالص مخلوط گردید و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. بعد از سرد شدن لوله‌های آزمایش (در حمام یخ) ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه ورتکس شدند تا دو فاز جداگانه تشکیل شد. سپس میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. جهت کالیبره کردن

1 Hielscher UP400s, Teltow, Germany

2 UV-3200, MAPADA, Shanghai-China

دستگاه اسپکتوفتومتر از تولوئن استفاده شد. در نهایت مقدار پرولین بر اساس نمودار استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ با استفاده از رابطه ۵ به دست آمد (Bates et al., 1973):

$$\text{Proline} = [(\mu\text{gr Proline/ml} \times \text{ml toluene}/115.5)]/[(\text{gr samples}/5)] \quad \text{رابطه ۵}$$

فعالیت آنزیم کاتالاز

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز، ابتدا به ۰/۳ گرم بافت برگ پودر شده ۱/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی PVP^۱ (۲ درصد) و EDTA^۲ (۵۰ میلی مولار) اضافه شد، سپس سوسپانسیون حاصل سانتیفریوژ شد (۲۰ دقیقه با دور ۱۴۰۰۰ و دمای ۴ درجه سلسیوس). فعالیت آنزیم در طول موج ۲۴۰ نانومتر (تغییرات جذب نوری به فواصل ۱۰ ثانیه) قرائت شد و میزان فعالیت آنزیم بر حسب میزان آب اکسیژنه غیر فعال شده در یک دقیقه در هر گرم بافت برگ محاسبه شد (Chance & Maheli, 1995).

فعالیت آنزیم پراکسیداز

مقدار ۱/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم به ۰/۳ گرم بافت برگ پودر شده اضافه گردید. سوسپانسیون حاصل سانتیفریوژ شد (در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس). برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به مدت دو دقیقه در طول موج ۴۷۵ نانومتر قرائت و در نهایت مقدار فعالیت آنزیم بر حسب میزان آب اکسیژنه غیر فعال شده در یک دقیقه در هر گرم وزن تازه بافت بیان شد (Mac-Adam et al. 1992).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

جهت استخراج آنزیم آسکوربات پراکسیداز یک میلی لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی مولار به ۰/۱ گرم بافت برگ اضافه گردید و سانتیفریوژ (در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس) شد. اساس کار این روش کاهش جذب نور در طول موج ۲۹۰ نانومتر است که ناشی از اکسید شدن آسکوربات می باشد. هر واحد فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب اکسید شدن یک میکرومول آسکوربات در دقیقه می شود. مقدار فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول بر میلی لیتر آسکوربات اکسید شده در دقیقه در میلی لیتر عصاره قرائت شد (Nakano & Asada, 1981).

کارایی کوانتومی فتوسیستم II

بعد از اعمال تنش شوری، برگ‌های انتهایی کاملاً توسعه یافته به مدت ۲۰ دقیقه توسط گیره‌های مخصوص در تاریکی قرار گرفت و میزان کلروفیل فلورسانس آن‌ها با استفاده از دستگاه فلوریمتر ساخت کشور انگلستان ثبت گردید (Maxwell & Johnson, 2000).

نسبت پتاسیم به سدیم

به منظور تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری عناصر پتاسیم و سدیم، ۰/۵ گرم از اندام هوایی خشک (به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و آسیاب شد و سپس در کوره با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت خشک گردید و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند. سپس ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به هر نمونه اضافه و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانیده شد. این عصاره به‌طور مستقیم جهت اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم توسط دستگاه فلیم‌فوتومتری (مدل FP8800، شرکت کراس آلمان) استفاده شد (Wahing et al., 1989).

1 Polyvinylpyrrolidone

2 Ethylenediaminetetraacetic acid

3 Fluorimeter (Pocket PEA)

4 Kruss

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه آماری از نرم افزارهای SAS Version 9.4 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

یافته‌های پژوهش

اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات نقره بر صفات مورفوفیزیولوژیکی جعفری زینتی

نتایج تجزیه واریانس برای تعداد گل نشان دهنده معنی دار بودن اثر اصلی تنش و تعدیل کننده نانوذرات نقره در سطح یک درصد و اثر متقابل دو تیمار در سطح پنج درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر تعداد گل (شکل ۱-a) نشان داد که با افزایش سطوح شوری تعداد گل در بوته کاهش یافت. تیمار تعدیل کننده نانوذرات نقره در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر سبب افزایش این ویژگی در هر دو شرایط عدم تنش و تنش شوری شد به طوری که بیشترین تعداد گل (۱۱ عدد) در شرایط عدم تنش شوری (شاهد) و تحت محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره مشاهده گردید. کاربرد نانوذرات نقره تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در تنش شدید سبب کاهش تعداد گل شد، به طوری که کمترین تعداد گل (۴ عدد) در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار و تحت محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده گردید (شکل ۱-a). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عمر گل جعفری به طور معنی دار تحت تاثیر اثر اصلی و متقابل تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر عمر گل نشان داد که با افزایش سطوح شوری عمر گل کاهش معنی داری داشت، در حالی که غلظت‌های پایین تعدیل کننده نانوذرات نقره هم در سطح شاهد (بدون تنش) و هم سطوح شوری، سبب افزایش عمر گل شد. بیشترین عمر گل (۱۲/۲۵ روز) در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره بدون تنش شوری (شاهد) مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد که کمترین عمر گل (۵/۷۵ روز) در بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و تیمار محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره مشاهده شد (شکل ۱-b). براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش شوری و نانوذرات نقره بر قطر گل جعفری در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل دو تیمار معنی دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری قطر گل کاهش معنی داری داشت. به طوری که قطر گل در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم نسبت به سطح شاهد (عدم تنش شوری) به ترتیب ۱۰/۳۸، ۱۵/۳۴ و ۲۱/۸۰ درصد کاهش یافت و در غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، کمترین قطر گل (۴/۱۷۸ سانتی متر) به ثبت رسید (شکل ۲-i). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تعدیل کننده نانوذرات نقره بر قطر گل نشان داد که با افزایش سطح محلول پاشی قطر گل به ترتیب ۸/۵، ۱۸/۲۰ و ۶/۲۲ درصد افزایش یافت و در غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر، بیشترین قطر گل (۵/۱۴۲ سانتی متر) مشاهده گردید (شکل ۲-j).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات گل جعفری در تیمار شوری NaCl و نانوذرات نقره.

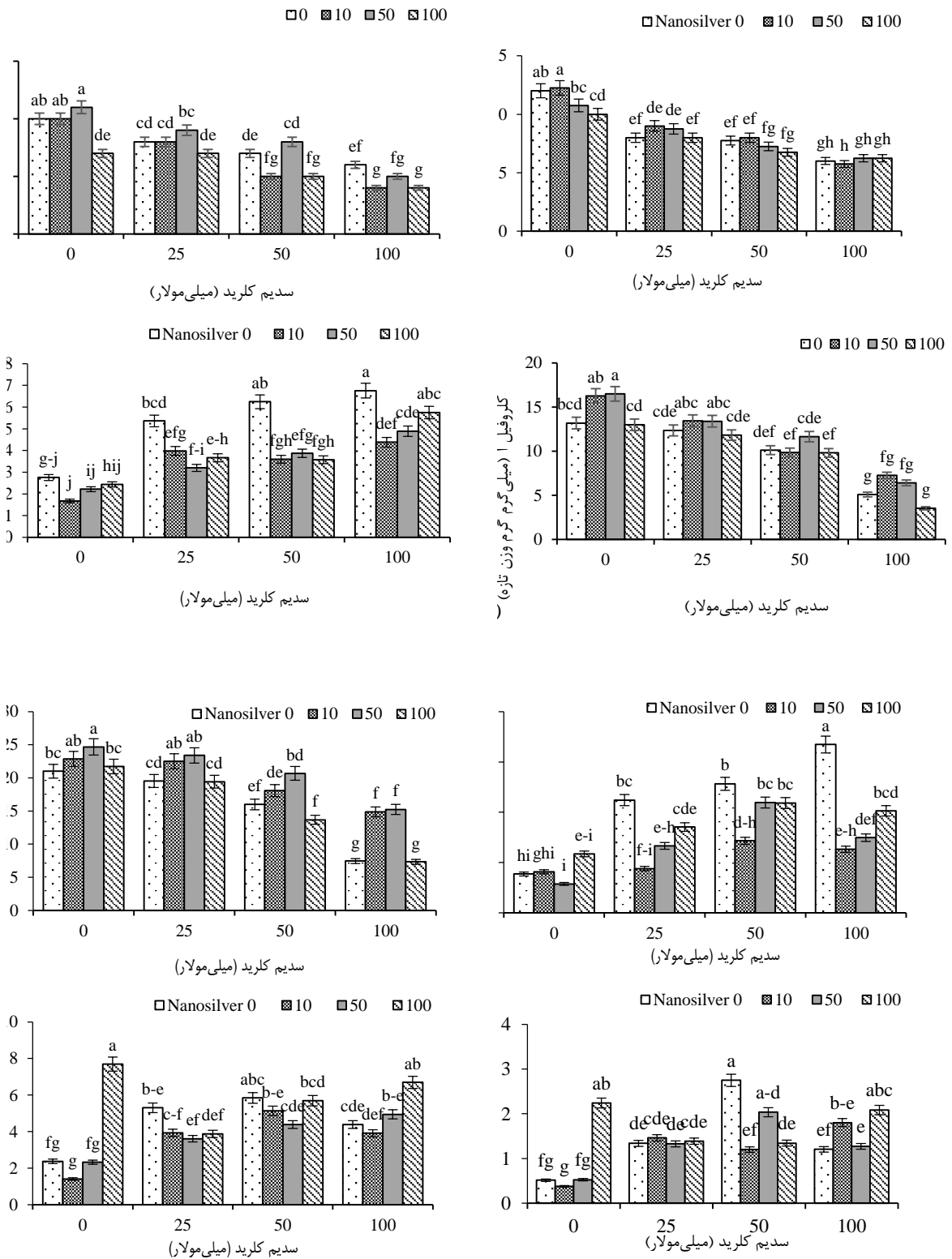
میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	قطر گل	تعداد گل	عمر گل	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
تنش	۳	۳/۸۱۱**	۶۸/۳۳**	۷۷/۱۸**	۲۱۳/۶۱**	۳۱/۶۱**	۴۱۵/۳۶**	۷/۷۶**
نانونقره	۳	۱/۷۳۳**	۱۹/۶۶**	۲/۸۰**	۵۲/۰۸**	۱۸/۵۴**	۱۴/۶۶**	۲/۵۶**
تنش×نانونقره	۹	۰/۰۴۷ ^{ns}	۲/۵۵*	۴/۵۷**	۴/۷۳**	۵/۴۲ ^{ns}	۸/۶۲*	۰/۶۸ ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۱۲۱	۱/۱۶	۰/۳۰۷	۱/۴۹	۳/۰۸۲	۳/۹۴	۰/۶۰۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۴۳	۱۵/۱۷	۷/۶۶	۷/۲۲	۶/۷۱	۷/۴۳	۱۷/۴۱

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار.

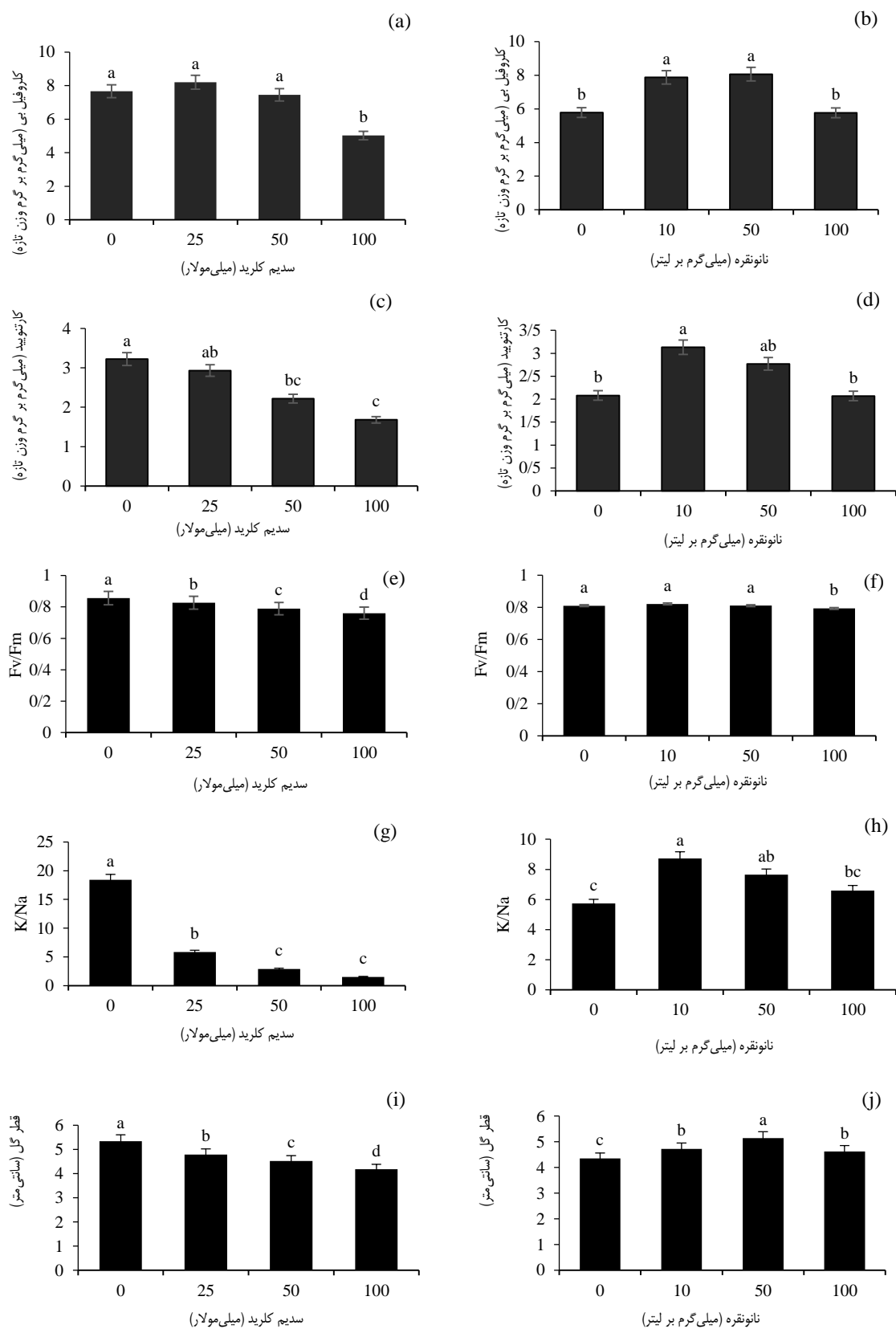
اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات نقره بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه جعفری زینتی

رنگیزه‌های فتوسنتزی

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل تنش و تعدیل کننده نانوذرات نقره برای کلروفیل a و کل به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد، درحالی‌که اثر هیچیک از تیمارها بر محتوای کلروفیل b و کارتنوئید معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر مقدار کلروفیل a (شکل ۱-d) نشان داد که تنش شوری سبب کاهش این ویژگی شد، درحالی‌که نانوذرات نقره سبب کاهش اثر منفی شوری شد. بیشترین مقدار کلروفیل a (۱۶/۵۰ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار محلول پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره در سطح عدم تنش شوری مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد که علاوه بر افزایش سطوح شوری، با افزایش سطح نانوذرات نقره تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز مقدار کلروفیل a در گیاه کاهش یافت، به طوری که کمترین مقدار آن (۳/۵۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار تحت محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره در سطح تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری بر مقدار کلروفیل b نیز نشان داد که تنش شوری در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار مقدار آن شد، به طوری که نسبت به سطح شاهد ۳۴/۴۲ درصد کاهش یافت، اما بین سطوح ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲-a). درحالی‌که تنش شوری مقدار کلروفیل b را کاهش داد، اما محلول پاشی نانوذرات نقره سبب افزایش این ویژگی شد، به طوری که در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد به ترتیب مقدار کلروفیل b ۳۶/۱۵ و ۳۹/۴۴ درصد افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل b (۸/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، به دست آمد (شکل ۲-b). تنش شوری، میزان کلروفیل کل را نیز کاهش داد (شکل ۱-e)، در حالی که کاربرد تعدیل کننده نانوذرات نقره اثر منفی تنش شوری را کاهش داد و موجب افزایش کلروفیل کل در تیمار شاهد و سطوح تنش شد. بیشترین میزان کلروفیل کل (۲۴/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمارهای بدون تنش شوری و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعدیل کننده مشاهده شد. در تمام سطوح تنش، محلول پاشی سطوح مختلف نانوذرات نقره موجب افزایش کلروفیل کل شد. در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، کمترین میزان کلروفیل (۷/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در شرایط بدون کاربرد نانوذرات نقره و بالاترین سطح (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نانوذرات نقره مشاهده شد (شکل ۱-e). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری بر مقدار کارتنوئید گیاه نشان داد که تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار این رنگدانه شد، به طوری که نسبت به شاهد در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۹، ۳۱/۰۵، ۴۷/۸۲ درصد این ویژگی کاهش یافت و در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، کمترین میزان کارتنوئید (۱/۶۸ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) مشاهده گردید (شکل ۲-c). اثر اصلی تعدیل کننده نانوذرات نقره نیز نشان داد که این ماده سبب افزایش کارتنوئید شد، به طوری که در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد به ترتیب مقدار کارتنوئید ۵۹/۳۷ و ۳۳/۱۷ درصد افزایش یافت. بیشترین میزان کارتنوئید (۳/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره ثبت شد (شکل ۲-d).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات نقره بر صفات مورفوفیزیولوژیکی جعفری زینتی. (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات نقره بر صفات مورفوفیزیولوژیکی جعفری زینتی. (منبع: یافته‌های تحقیق)

حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی تنش شوری و نانوذرات نقره بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل دو تیمار بر این ویژگی معنی دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری و تعدیل کننده بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (شکل ۲-e) نشان داد که افزایش سطح تنش شوری سبب کاهش این ویژگی شد، به طوری که در شدیدترین سطح تنش (۱۰۰ میلی مولار سدیم) و شاهد (صفر میلی مولار) به ترتیب کمترین (۰/۷۶) و بیشترین (۰/۸۵) کارایی کوانتومی فتوسیستم II، مشاهده گردید. اثر اصلی تیمار نانوذرات نقره نیز نشان دهنده افزایش کارایی فتوسیستم II با کاربرد غلظت های ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره بود و غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر، بیشترین میزان (۰/۸۲۰) را به خود اختصاص داد (شکل ۲-f).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات گل جعفری در تیمار شوری سدیم کلرید و نانوذرات نقره.

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	کارایی کوانتومی فتوسیستم II	پرولین	کاتالاز	پراکسیداز	نسبت پتاسیم به سدیم
تنش	۳	۰/۰۲۸۱**	۲۷/۶۱**	۱۸/۷۳**	۳۳/۱۱**	۹۵۲/۰۱**
نانونقره	۳	۰/۰۰۲۰**	۱۱/۸۳**	۱۷/۵۹**	۱۰/۳۰**	۲۶/۸۶**
تنش × نانونقره	۹	۰/۰۰۰۱۸ ^{NS}	۱/۱۶**	۲/۵۱**	۳/۴۰**	۰/۴۶ ^{NS}
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۴۸	۰/۲۴	۰/۲۶۸	۰/۵۶۸	۳/۴۹
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۷/۱۴	۴/۳۲	۴/۳۳	۵/۳۵	۶/۵

NS، *، ** به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار.

محتوای پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و متقابل تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده نانوذرات نقره بر محتوای پرولین نشان داد که تنش شوری به تنهایی به طور معنی داری سبب افزایش مقدار پرولین شد، در حالی که محلول پاشی تعدیل کننده نانوذرات نقره سبب کاهش آن شد. بیشترین محتوای پرولین (۶/۷۵ میکرومول بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) و سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده گردید. همچنین، کمترین محتوای پرولین (۱/۶۷ میکرومول بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد (عدم تنش شوری) و سطح محلول پاشی ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره مشاهده گردید (شکل ۱-c).

نسبت پتاسیم به سدیم

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش شوری و تیمار نانوذرات نقره در سطح احتمال یک درصد بر نسبت سدیم به پتاسیم معنی دار شد، اما اثر متقابل دو تیمار بر این ویژگی معنی دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی گیاه نشان داد که تنش شوری سبب کاهش معنی دار این نسبت شد، به طوری که در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب ۶۸/۱۷، ۸۴/۲۵ و ۹۱/۷۵ درصد کاهش یافت. کمترین میزان این نسبت (۱/۵۱ درصد) در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار به دست آمد (شکل ۲-g). نتایج همچنین نشان داد که کاربرد نانوذرات نقره در سطوح ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به سطح شاهد (عدم محلول پاشی)، نسبت پتاسیم به سدیم را به ترتیب ۵۲/۱۹، ۳۳/۳۱ و ۱۵/۰۸ درصد افزایش داد و در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر، بیشترین میزان پتاسیم به سدیم (۸/۷۲ درصد) مشاهده شد (شکل ۲-h).

اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات نقره بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جعفری زینتی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد که تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم (۶/۶۹ واحد در گرم وزن تازه) در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و تیمار شاهد تعدیل‌کننده (بدون محلول پاشی نانوذرات نقره) مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد که محلول پاشی نانوذرات نقره سبب کاهش اثر فعالیت این آنزیم در هر دو شرایط تنش شوری و عدم تنش شوری شد، به طوری که کمترین فعالیت آنزیم (۱/۱۴ واحد در گرم وزن تازه) در سطح شاهد (بدون تنش شوری) و تحت تنش شوری) و تحت محلول پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۱-f). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (شکل ۱-g) دلالت بر این داشت که تنش شوری و محلول پاشی در سطوح بالای (۱۰۰ میلی‌گرم لیتر) نانوذرات نقره به طور معنی‌داری سبب افزایش فعالیت این آنزیم شد، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۲/۳۶ واحد در گرم وزن تازه) در سطح شاهد (بدون تنش شوری) و محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد که محلول پاشی نانوذرات نقره در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سبب کاهش فعالیت این آنزیم در هر دو شرایط تنش شوری و عدم تنش شوری شد، به طوری که کمترین فعالیت این آنزیم (۱/۴۰ واحد در گرم وزن تازه) در سطح شاهد (بدون تنش شوری) و تحت محلول پاشی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۱-g). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده نانوذرات نقره بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نشان داد که تنش شوری و محلول پاشی در سطوح بالای (۱۰۰ میلی‌گرم لیتر) نانوذرات نقره به طور معنی‌داری سبب افزایش فعالیت آن شد، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۲/۰۳ واحد در گرم وزن تازه) در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) مشاهده گردید، همچنین کمترین میزان فعالیت آنزیم (۰/۳۷۷ واحد در گرم وزن تازه) در شرایط بدون تنش شوری و غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات نقره به ثبت رسید (شکل ۱-h).

بحث

تنش شوری باعث کاهش تقسیم و طولیل شدن سلول‌ها می‌گردد که با کاهش کیفیت و عملکرد همراه است. به دلیل کاهش تقسیم سلولی، جذب آب، اختلال در جذب عناصر و تعادل یونی، تاثیر یون‌های سمی به ویژه سدیم، اختلال در جذب احیا و متابولیسم نیتروژن و پروتئین، بسته شدن روزنه‌ها و سایر عوامل محدود کننده، رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Parida & Das, 2005). تنش شوری باعث کاهش بیان ژن‌های دخیل در گلدهی می‌شود. از طرفی، کاهش رشد نیز موجب کاهش ذخایر انرژی گیاه می‌شود که متاثر از کاهش و اختلال در فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی گیاه می‌باشد (Dehghan & Rahim Malek, 2018). گزارش شده است که تنش شوری سبب کاهش تعداد گل و قطر گل نرگس شهلا (Nasari Moghadam et al., 2019) و قطر و تعداد گل در مریم گلی (Bahadoran & Salehi, 2015) و گل حنا (Rozbahani et al., 2019) شد که با نتیجه پژوهش حاضر هم‌سو می‌باشد. همان‌طور که نتایج نشان داد تنش شوری سبب کاهش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید شد. تنش شوری در گیاه قرنفل (Ghasemi et al., 2023) نیز موجب کاهش میزان کلروفیل و کارتنوئید گردید که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. علت کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری، سنتز آنزیم‌هایی از جمله کلروفیل‌از و خسارت به دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (Dogan, 2011). از دیگر دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری، تخریب کمپلکس‌های پروتئینی رنگیزه‌های گیاهی و تداخل نمک در سنتز پروتئین‌ها و اجزای سازنده کلروفیل می‌باشد (Jaleel et al., 2008). تجمع یون‌های سمی در کلروپلاست، طی تنش شوری با ایجاد تنش

اکسیداتیو موجب تخریب کلروفیل می‌شود. هم‌چنین، تنش شوری با تحریک آنزیم لیگاز گلوتامات، موجب تبدیل بیش‌تر گلوتامات به پرولین شده و در نتیجه تولید کلروفیل کاهش می‌یابد (Rahdari & Hoseini, 2012). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که نانوذرات می‌توانند در غلظت‌های کم سبب افزایش میزان کلروفیل a و در غلظت‌های بالا موجب کاهش این رنگدانه‌ها شوند (Ghorbanli & Kiapour, 2012). در پژوهشی، غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات نقره در شرایط تنش شوری باعث افزایش محتوای کلروفیل در گیاه ماش شد (Najafi & Jamei, 2014). همچنین کاربرد نانوذرات نقره موجب افزایش کلروفیل a و b و کل و کارتنوئید در زنبق مردابی (Pourbeyrami Hir *et al.*, 2021) و مرزه خوزستانی (Nejatzadeh, 2021) شد که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد. تنش شوری باعث کاهش قابل توجه حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) شد که ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌باشد. اثر نامطلوب شوری بر کارایی فتوسیستم II به دلیل نقش آن در مهار انتقال الکترون می‌باشد، همچنین مراکز واکنش در فتوسیستم II را از بین می‌برد. تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرآیند فتوسنتز و زنجیره‌های انتقال الکترون تأثیر منفی گذاشته و در نهایت منجر به کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) می‌شود (Helali Soltanahmadi *et al.*, 2018). کاهش کارایی فتوسنتز به دلیل کاهش محتوای کلروفیل و آسیب به سیستم فتوشیمیایی می‌باشد. تیمار نانوذرات نقره با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، می‌تواند کارایی کوانتومی فتوسیستم را افزایش دهد، اما افزایش غلظت این ماده تحت شرایط تنش، می‌تواند باعث آسیب به دستگاه فتوسنتزی شود (Zare *et al.*, 2022). نتایج بدست آمده از تاثیر تیمار نانو بر شاخص فلورسنس مطابق نتایج بدست آمده در گیاهان کلم، گندم و عدسک آبی می‌باشد (Vishwakarma *et al.*, 2017; Dewez *et al.*, 2018; Rastogi *et al.*, 2019). در شرایط تنش شوری، بیان ژن آنزیم دلتا-۱-پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز افزایش یافته که این آنزیم نقش کلیدی در سنتز پرولین دارد. در نتیجه افزایش فعالیت این آنزیم، سنتز و تجمع پرولین را در اندام‌های گیاهی افزایش می‌دهد (Khosravian *et al.*, 2022). همچنین، افزایش سنتز پرولین در اثر تنش شوری، ناشی از تحریک سنتز آن از اسیدگلوتامیک، کاهش انتقال آن از آوند آبکش و نیز جلوگیری از اکسیداسیون پرولین در زمان تنش می‌باشد (Zhang *et al.*, 2021). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز تحت تنش شوری یک پدیده رایج سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد اکسیژن محسوب می‌شود. افزایش غلظت سدیم در بافت گیاهان منجر به افزایش شدت تنش و میزان اسمولیت‌ها می‌شود که در این شرایط گیاه قادر به افزایش مقاومت نیست (Koca *et al.*, 2007). از طرفی، نانوذرات نقره به سطح غشای سلول نمی‌چسبند بلکه به درون سلول نفوذ می‌کنند. این ذرات با نفوذ به داخل سلول گیاهی، سبب فعال شدن آنزیم‌های پاداکسایشی شده که سبب کاهش تولید پراکسید هیدروژن می‌گردد، در نتیجه سبب بهبود رشد گیاه می‌شوند. کاتالاز یکی از آنزیم‌های دفاعی موثر است که در شرایط تنشی در همه گیاهان تولید می‌شود. این آنزیم با تاثیر مستقیم بر پراکسید هیدروژن، موجب کاهش اثر سمی آن می‌گردد. درواقع می‌توان این‌گونه بیان نمود که کاتالاز از پراکسید هیدروژن به‌عنوان پیش‌ماده استفاده کرده و با تجزیه سریع آن، اثرهای مخرب را مهار می‌نماید (Broetto *et al.*, 2007). افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ناشی از کاربرد نانوذرات نقره، نوعی مکانیسم حفاظتی در مقابل افزایش تولید ROS می‌باشد (Sharma *et al.*, 2009). فعالیت آنزیم‌ها در شرایط کاربرد نانو ذرات ممکن است متغیر باشد که به غلظت، نوع نانو ذرات و مدت زمانی که تحت تاثیر آن قرار می‌گیرد بستگی دارد (Koca *et al.*, 2007). فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی در گیاه بادرنجبویه با کاربرد نانوذرات نقره افزایش یافت (Shahvalibar & Esmailzadeh, 2019). افزایش تنش شوری سبب افزایش سدیم در محیط رشد ریشه و در نتیجه افزایش جذب آن می‌گردد. در نتیجه جذب سایر کاتیون‌های موثر در گیاه از جمله پتاسیم و کلسیم کاهش می‌یابد. پتاسیم یکی از کاتیون‌های پرمصرف در گیاهان می‌باشد که نقش مهمی در رشد سلول، تحرکات برگ، سازش‌های متابولیک، جوانه‌زنی، تنظیم اسمزی و حرکات روزنه‌ای در برابر تنش شوری (سدیم) دارد. در شرایط تنش شوری نقش اصلی با یون‌های یک‌ظرفیتی بوده و به‌طور کلی یون سدیم مهم‌ترین عامل موثر در ایجاد تنش است، از آنجایی که یون سدیم از فعالیت بسیاری آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند، بنابراین مقدار این یون در سیتوپلاسم باید در میزان حداقلی نگه‌داشته شود (Summart *et al.*, 2010). کاربرد نانوذرات نقره غلظت پتاسیم برگ زعفران را نیز در شرایط

تنش شوری افزایش و غلظت سدیم را کاهش داد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Karimi Jafari & Hosseinzadeh, 2020).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه مشخص نمود که تنش شوری به خصوص در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، اثر منفی بر واکنش‌های فیزیولوژی، بیوشیمی و ویژگی‌های زینتی گل جعفری فرانسوی داشت. همچنین، مشخص شد که با کاربرد نانوذرات نقره به‌عنوان تعدیل‌کننده، اثر منفی ناشی از تنش شوری کاهش و ویژگی‌های زینتی بهبود می‌یابد. به طوری که غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر توانست بیشترین اثر را در هر دو شرایط تنش و عدم تنش شوری بر صفات مورد مطالعه داشته باشد، اما غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، موجب بهبود شرایط تنش نشد. براساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان بیان نمود که کاربرد نانوذرات نقره به‌صورت محلول پاشی در سطوح ۱۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر می‌تواند در شرایط تنش شوری و هم عدم تنش شوری اثر مثبتی بر رشد و عملکرد گل جعفری زینتی داشته باشد و برای مناطق دارای آب شور قابل توصیه می‌باشد. درحالی که غلظت‌های بالاتر نانوذرات نقره (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) احتمالاً به دلیل سمیت یون نانوذرات نقره برای بهبود رشد و گلدهی این گیاه در مناطق شور پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

- اسفندیاری سبزواری، تهمینه؛ تاتاری، مریم؛ خسرویاری، سوسن؛ غورات، فرشته و صالحی، معصومه (۱۴۰۲). تاثیر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی سه رقم کینوا. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۲)، ۳۴۱-۳۵۲.
- پوربیرامی هیر، یونس؛ مهری، شیمیا؛ چمنی، اسماعیل و ملکی لاجپور، حسن (۱۴۰۰). تأثیر نانوذرات نقره بر خواص مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی زنبق مردابی در شرایط آزمایشگاهی. *مجله زیست شناسی گیاهی ایران*، ۱۳ (۵۰)، ۱-۱۴.
- حسنوند، عارفه؛ سعادت‌مند، سارا؛ لاری یزدی، حسین و ایرانبخش، علیرضا (۱۴۰۲). ارزیابی رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص‌های فلورسانس، تبادل گاز و برخی از مواد فلاونوئیدی فعال بنفشه (*Viola tricolor L.*) تحت تأثیر نانوذرات نقره. *مجله فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۹ (۱)، ۱۰۹-۱۲۲.
- خسرویاری، زهره؛ رنجبر، منیره و احدی، علی محمد (۱۴۰۱). بررسی اثر کیتوزان بر بیان ژن، فعالیت آنزیم p5CS و محتوای پروتئین در کلزا تحت تنش شوری. *مجله بیوتکنولوژی کشاورزی*، ۱۴ (۴)، ۱۸۱-۲۰۰.
- دهقان، ابودر و رحیم ملک، مهدی (۱۳۹۷). اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی و میزان اسانس ژنوتیپ‌های بومادران هزاربرگ ایرانی و خارجی. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۹ (۲)، ۲۳-۳۷.
- رجایی، مجید (۱۳۹۱). اثر متقابل تنش شوری و سولفات آمونیوم بر رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه پرتقال والنسیا پیوندی روی لیمو. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۳ (۲)، ۳۲۱-۳۳۱.
- روزبهرانی، فاطمه؛ موسوی فرد، صادق و رضایی‌نژاد، عبدالحسین (۱۳۹۹). تأثیر پرولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم گل حنا تحت تنش شوری. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۱ (۳)، ۵۳۷-۵۵۰.
- زارع، ضرغام؛ پیشکار، لیلی؛ ایرانبخش، علیرضا و طالعی، داریوش (۱۳۹۱). اثرات نانوذرات نقره بر رشد، ظرفیت تبادل گاز و عملکرد فتوسنتز II در گیاهان خرفه. *مجله تحقیقات گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)*، ۳۵ (۴)، ۷۹۹-۸۰۹.
- شاهولی‌بر، آسیه و زاده بهابادی، اسمعیل (۱۳۹۸). تاثیر نانوذرات نقره سنتز شده به روش زیستی بر رشد، شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بادرنجبویه. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸ (۳۲)، ۳۴-۱۹.
- شهرکی، هانیه؛ مهدی نژاد، نفیسه و فاخری، براتعلی (۱۳۹۸). تاثیر نانوذرات نقره سنتز شده از عصاره گیاهی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و خواص آنتی‌اکسیدانی کنگر فرنگی (*Cynara scolymus L.*) تحت تنش شوری. *تولیدات گیاهی*، ۴۴ (۱)، ۱۱۴-۱۰۳.

فیضی، حسن؛ عظیمی، ریحانه و کیانیان، محمدکیان (۱۳۹۹). پژوهش‌های نانوتکنولوژی گیاهان زراعی، غیرزراعی، دارویی و زینتی. انتشارات تربت حیدریه: انتشارات دانشگاه تربت حیدریه.

قاسمی، وحید؛ احتشام نیا، عبدالله؛ رضایی نژاد، عبدالحسین و مومیوند، حسن (۱۴۰۲). تأثیر سطوح مختلف تنش شوری و رقم بر خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی قرنفل. *مجله پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۱)، ۱۹-۱.

کریمی جعفری، آزاده؛ و حسین زاده نمین، منیر (۱۳۹۹). تأثیر شوری و نانونقره بر رشد و بیوشیمی بنه زعفران در شرایط خیساندن. *زیست شناسی کاربردی*، ۲۹ (۱)، ۱۷۴-۱۵۹.

ناصری مقدم، علی؛ بیات، حسن؛ امینی فرد، محمدحسین و مرادی نژاد، فرید (۱۳۹۹). اثر تنش‌های خشکی و شوری بر کیفیت گل، تغییرات زیست شیمیایی و غلظت یون‌ها در گل نرگس شهلا. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۷ (۱)، ۲۰۷-۲۲۱.

REFERENCES

- Abou-Zeid, H., & Ismail, G. (2018). The Role of Priming with biosynthesized silver nanoparticles in the response of *Triticum aestivum* L to salt stress. *Egyptian Journal of Botany*, 58(1), 73-85.
- Aly, M. A., Zabat, R. M. O., & Gaber, M. K. (2023). The efficiency of the foliar application using silica and silver nanoparticles on *Duranta erecta* under salinity conditions. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany*, 14(1), 55-68.
- Bahadoran, M., & Salehi, H. (2015). Growth and flowering of two tuberoses (*Polianthes tuberosa* L.) cultivars under deficit irrigation by saline water. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(2), 415-426.
- Bates, L. S., Waldren, R.P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
- Bondarian, F., Omidi, M., & Torabi, S. (2013). *The effect of nano elicitors on alkaloid production of Papaver somniferum in suspension cell culture*. [MSc thesis Azad University of Tehran, Iran]. (In Persian).
- Broetto, F., Monteiro Duarte, H., & Lüttge, U. (2007). Responses of chlorophyll fluorescence parameters of the facultative halophyte and C3-CAM intermediate species *Mesembryanthemum crystallinum* to salinity and high irradiance stress. *Journal of Plant Physiology*, 164, 904-912.
- Chance, B., & Maehly, A.C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2(764-775).
- Chrysargyris, A., Tzionis, A., Xylia, P., & Tzortzakos, N. (2018). Effects of salinity on tagetes growth, physiology, and shelf life of edible flowers stored in passive modified atmosphere packaging or treated with ethanol. *Frontiers in Plant Science*, 9,1765. Doi: 10.3389/fpls.2018.01765.
- Dehghan, A., & Rahim Malek, M. (2018). Effect of salinity stress on morphological traits and essential oil content of Iranian and foreign yarrow (*Achillea millefolium*) genotypes. *Journal of Science and Techniques of Greenhouse Cultivation*, 9(2), 23-38. (In Persian).
- Dewez, D., Goltsev, V., Kalaji, H. M., & Oukarroum, A., (2018). Inhibitory effects of silver nanoparticles on photosystem II performance in *Lemna gibba* probed by chlorophyll fluorescence. *Current Plant Biology*, 16, 15-21.
- Dogan, M. (2011). Antioxidative and proline potentials as a protective mechanism in soybean plants under salinity stress. *African Journal of Biotechnology*, 10(32), 5972-5978.
- Esfandyari-Sabzevar, T., Tatari, M., Khosroyar, S., Ghorat, F., & Salehi, M. (2023). Effect of salinity stress on some biochemical characteristics of three Quinoa varieties. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54(2), 341-352. DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2023.350720.2071>. (In Persian).
- Faizi, H., Azimi, R., & Kayanian, M. K. (2019). *Nanotechnology research on crops, non-crops, medicinal and ornamental plants*. Torbat Heydarieh Publications: Torbat Heydarieh University, page 213. (In Persian).
- Funk, V. A., Chan, R., & Holland, A. (2007). *Cymbonotus* (Compositae: Arctotideae, Arctotidinae): an endemic Australian genus embedded in a southern African clade. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 153(1), 1-8.
- Ghasemi, V., Ehtesham Nia, A., Rezaei Nejad, A., & Mumivand, H. (2023). The effect of different levels of salinity stress and cultivar on biochemical and physiological characteristics and nutrient concentration of William Sweet (*Dianthus barbatus*). *Journal of Plant Production Research*, 30 (1), 1-19. (In Persian).
- Ghorbanli, M., & Kiapour, A. (2012). Copper-induced changes on pigments and activity of non-enzymatic and enzymatic systems in *Portulaca oleracea* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(2), 235-247.
- Hassanvand, A., Saadatmand, S., Lari Yazdi, H., & Iranbakhsh, A. R. (2023). Evaluation of photosynthetic pigments, fluorescence indexes, gas exchange, and some active flavonoid substances Pansy (*Viola tricolor* L.) under the effect of Bio-Silver Nanoparticles. *Journal of Plant Environmental Physiology*,

- 69(1), 109-122. (In Persian).
- Helali Soltanahmadi, F., Amerian, M. R., Ghiyasi, M., & Abbasdookht, H. (2018). Effects of seed priming on yield, yield components, and concentration of mineral phosphorus under drought stress in *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(4), 565-578.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Kishorekumar, A., Manivannan, P., Sankar, B., & Panneerselvam. (2008). Interactive effects of triadimefon and salt stress on antioxidative status and ajmalicine accumulation in *Catharanthus roseus*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(3), 287-295.
- Karimi Jafari, A., & Hosseinzadeh Namil, M. (2020). The effect of salinity and nanosilver on growth and biochemistry of saffron corms in soaking conditions. *Applied Biology*, 29(1), 159-174. doi: 10.22051/jab.2016.2474. (In Persian).
- Khalofah, A., Kilany, M., & Migdadi, H. (2021). Phytostimulatory influence of comamonas testosterone and silver nanoparticles on *Linum usitatissimum* L. under salinity stress. *Plants*, 10(4), 790.
- Khan, M. A., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Mujtaba, S. M., Islam, E., Mumtaz, S., Shereen, A., Sharma, V.K., Yngard, R.A., & Lin, Y. (2008). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 26, 2027-2038.
- Khan, I., Awan, S. A., Rizwan, M., Akram, M. A., Zia-ur-Rehman, M., Wang, X., & Huang, L. (2023). Physiological and transcriptome analyses demonstrate the silver nanoparticles mediated alleviation of salt stress in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L). *Environmental Pollution*, 318, 120863. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120863>.
- Khosravian, Z., Ranjbar, M., & Ahadi, A. M. (2022). Investigating the effect of chitosan on gene expression, p5cs enzyme activity, and proline content in rapeseed (*Brassica napus* L.) under salt stress. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 14(4), 181-200. DOI: 10.22103/jab.2022.18349.1348. (In Persian).
- Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F., & Türkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 344-351.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, (350-382).
- Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tall fescue. I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, 99(3), 872-878.
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence: a Practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 659-668.
- Mosa, K., Ismail, A., & Helmy, M. (2017). Introduction to Plant Stresses. In *Plant Stress Tolerance*, (pp. 1-19). Springer. https://doi.org/10.1007%2F978-3-319-59379-1_1.
- Najafi, S., & Jamei, R. (2014). Effect of silver nanoparticles and Pb (NO₃)₂ on the yield and chemical composition of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(1), 316-325.
- Nakano, V., & Asada, K. (1981). Hydrogen Peroxide is scavenged by ascorbate-specific Peroxidase in Spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867-880.
- Naseri Moghadam, A., Bayat, H., Amini Fard, M. H., & Moradinejad., F. (2019). Effect of drought and salinity stress on flower quality, biochemical changes and ion concentration in Shahla narcissus flower. *Plant Production Research Journal (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 27(1), 221-207. (In Persian).
- Nejatzadeh, F. (2021). Effect of silver nanoparticles on salt tolerance of *Satureja hortensis* L. during in vitro and in vivo germination tests. *Heliyon*, 7(2), e05981.
- Parida, A. K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349.
- Pourbeyrami Hir, Y., Mehri, S., Chamani, E., & Maleki Lajayer, H. (2021). The effect of silver nanoparticles on morphological and physiological properties of *Iris pseudacorus* under in vitro conditions. *Iranian journal of plant biology*, 13(50), 1-14. (In Persian).
- Rahdari, P., & Hoseini, S. M. (2012). Drought stress: A review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3, 443 -6.
- Rajaie, M. (2022). The interaction of salinity stress and ammonium sulfate on growth and nutrient concentration in Valencia orange plant grafted on Lemon. *Iranian Journal of Horticulture Science*, 53(2), 321-331 (In Persian).
- Rastogi, A., Zivcak, M., Tripathi, D. K., Yadav, S., & Kalaji, H. M. (2019). Phytotoxic effect of silver nanoparticles in *Triticum aestivum*: Improper regulation of photosystem I activity as the reason for

- oxidative damage in the chloroplast. *Photosynthetica*, 57(1), 209- 216.
- Romagnoli, C., Mares, D., Fasulo, M. P., & Bruni, A. (2005). Antifungal effects of α -terthienyl from *Tagetes patula* on five dermatophytes. *Phytotherapy Research*, 8(6), 332-336.
- Rozbahani, F., Mousavi Fard., S., & Rezaei-Najad., A. (2019). Effect of proline on some physiological and biochemical characteristics of two varieties of henna flower under salt stress. *Horticultural Sciences of Iran*, 51(3), 537-550. (In Persian).
- Sabertanha, B., Fakheri, B., Mahdinezhad, N., & Alizade, Z. (2017). Effects of silver nanoparticles elicitor and drought stress on the expression of beta-carotene hydroxylase (bch) gene on the yield of saffron carotenoid (*Crocus sativus* L.). *Crop Biotechnology*, 17, 1–13.
- Sharma, V. K., Yngard, R. A., & Lin, Y. (2009). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 145, 83-96.
- Shahraki, H., Mahdi Nezhad, N., Fakheri, B., & Haddadi, F. (2021). The effect of synthesis nanosilver by plant extract on morphological and antioxidant properties of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) under salinity stress. *Plant Productions*, 44(1), 103-114. (In Persian).
- Shahvalibar, E., & Esmailzadeh Bahabadi, S. (2019). The effect of biologically synthesized silver nanoparticles on the growth, physiological, and biochemical indicators of lemongrass. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32), 19-34. (In Persian).
- Summart, J., Thanonkeo, P., Panichajakul, S., Prathepha, P., & McManus, M. T. (2010). Effect of salt stress on growth, inorganic ion and proline accumulation in (*Thai aromatic*) rice, Khao Dawk Mali 105, callus culture. *African Journal of Biotechnology*, 9(2), 145-152.
- Theriappan, P., Gupta, A. K., & Dhasarrathan, P. (2011). Accumulation of proline under salinity and heavy metal stress in cauliflower seedlings. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15, 251-255.
- Vishwakarma, K., Shweta, Upadhyay, N., Singh, J., Liu, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., Tripathi, D. K., & Sharma, S. (2017). Differential phytotoxic impact of plant-mediated silver nanoparticles (AgNPs) and silver nitrate (AgNO₃) on *Brassica* sp. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1501.
- Wahing, I., Van, W., Houba, V. J. G., & Vander, J. J. (1989). *Soil and plant analysis: a series of syllabi. Plant analysis procedure*. Wageningen Agriculture University.
- Zare, Z., Pishkar, L., iranbakhsh, A., & Talei, D. (2022). Effects of silver nanoparticles on the growth, gas exchange capacity and photosystem II performance in purslane (*Portulaca oleracea* L.) plants. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(4), 799-809. (In Persian).
- Zhang, G., Wang, Y., Wu, K., Zhang, Q., Feng, Y., Miao, Y., & Yan, Z. (2021) Exogenous application of chitosan alleviate salinity stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*, 7, 342. doi.org/10.3390/horticulturae7100342.