Environmental Stresses in Crop Sciences

University of Birjand

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

https://doi.org/10.22077/escs.2026.8946.2342

Original article

Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and salicylic acid application on physiological and growth traits of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under drought stress

Mohammad Hadi Shirazi Hajmiriha[1], Daryush Talei[2*], Farnaz Rafiei[3], Mojgan Imtiaz Jo[4]

1. PhD student in Ecophysiology, Islamic Azad University, North Branch, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Faculty, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran
4. Full Professor, Faculty, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received 13 February 2025; Revised 18 March 2025; Accepted 23 March 2025

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

Drought stress is a major constraint on crop production, inducing oxidative stress and significantly impairing plant growth and yield. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are among the most important drivers of soil ecosystem dynamics. AMF have the potential to improve plant growth and development by modulating key hormonal pathways, thereby reducing the adverse effects of abiotic stresses such as drought. Under drought stress conditions, nutrient availability in the soil undergoes significant changes. Therefore, effective management of plant nutrition under stress conditions is essential for successful crop production. One of these strategies is the use of AMF. AMF are beneficial microorganisms that support plant nutritional requirements, promote plant growth, and contribute to overall plant health. Considering previous reports, the objective of this study was to evaluate the effects of AMF inoculation and salicylic acid application on enhancing drought stress tolerance in spinach plants.

Materials and methods

To investigate the effects of AMF inoculation and salicylic acid application on antioxidant traits and proline content in spinach plants under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with three replications. Experimental treatments consisted of three factors, each at two levels: AMF inoculation (non-inoculated and inoculated with AMF), salicylic acid application (without and with salicylic acid), and drought stress (100% field capacity as non-stress and 50% field capacity as drought stress).

Results and discussion

Based on the results, morphological traits of spinach, including plant height, leaf number, and leaf area index, were significantly influenced by the experimental treatments. In particular, AMF inoculation and salicylic acid application enhanced these traits by 36%, 41%, and 66%, respectively, compared with drought stress conditions. Analysis of variance revealed that AMF inoculation, drought stress, and their interaction significantly affected proline content, soluble protein content, malondialdehyde concentration, antioxidant enzyme activities (catalase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase), and root colonization percentage. Antioxidant enzyme activity was affected by drought stress, such that increasing drought stress led to enhanced enzyme activity, contributing to the reduction of reactive oxygen species. The highest activities of catalase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase were recorded under drought stress conditions in combination with AMF inoculation and

* Corresponding author: Daryush Talei; E-Mail: d.talei1348@gmail.com

© 2026, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

salicylic acid application. In this study, the highest percentage of root colonization was observed under non-drought stress conditions with salicylic acid application, whereas the lowest colonization percentage occurred under drought stress conditions without salicylic acid application. The highest proline content was recorded under drought stress conditions in combination with AMF inoculation and salicylic acid application, representing a 23% increase compared with the control treatment. The results further indicated that AMF inoculation and salicylic acid application significantly affected the percentage of root colonization. The combined application of AMF and salicylic acid under drought stress conditions resulted in a 34% increase in protein content compared with non inoculated plants without salicylic acid application.

Conclusion

The results of this study demonstrated that AMF inoculation and salicylic acid application had significant effects on most of the measured traits, including antioxidant enzyme activities, proline content, soluble protein content, and malondialdehyde concentration. These findings suggest that AMF inoculation and salicylic acid application are effective strategies for improving plant tolerance to drought stress.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge all individuals whose valuable contributions supported this research.

Keywords: Antioxidant enzymes, colonization, malondialdehyde, proline

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2026.8946.2342

مقاله پژوهشی

اثر توأم تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و برخی صفات رشد در گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) در شرایط تنش خشکی

محمد هادی شیرازی‌حاجی‌میری‌ها[1]، داریوش طالعی[2*]، فرناز رفیعی[3]، مژگان امتیازجو[4]

۱. دانشجوی دکتری اکوفیزیولوژی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال، تهران
۲. دانشیار مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران
۳. استادیار، هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی،واحد تهران شمال، تهران
۴. استاد، هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی،واحد تهران شمال، تهران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان
کلونیزاسیون
پرولین
مالون دی‌آلدئید

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳

چکیده

تنش خشکی یکی از تهدیدهای جدی برای تولید محصولات زراعی است. ایجاد استرس اکسیداتیو باعث کاهش قابل‌توجه رشد و عملکرد محصول می‌شود. قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AMF) یکی از مهم‌ترین محرک‌های پویایی اکوسیستم خاک هستند. AMF رشد و نمو گیاهان را با کاهش اثرات نامطلوب تنش غیرزیستی بهبود می‌بخشد. به‌منظور بررسی اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین در گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دو سطح تنش خشکی (عدم تنش و تنش خشکی) و دو سطح قارچ مایکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ مایکوریزا) و کاربرد سالیسیلیک اسید در دو سطح (مصرف، عدم مصرف) با سه تکرار انجام گرفت. بر اساس نتایج صفات مرفولوژیکی اسفناج از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ و شاخص سطح برگ تحت‌تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند. به‌طوری که تنش خشکی باعث کاهش صفات مذکور شده و کاربرد قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید تا حدودی این کاهش را جبران کرد. نتایج همچنین نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش پرولین باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی شدند. بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز (۲/۱، ۲/۵ و ۲/۸ واحد آنزیم بر دقیقه بر میلی-گرم پروتئین) نیز در شرایط تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید و تلقیح با قارچ مایکوریزا به دست آمد. در این پژوهش همچنین کاربرد قارچ مایکوریزا تا حد قابل مشاهده‌ای محتوای مالون دی‌آلدئید را کاهش داد.

مقدمه

مبارزه با تغییرات اقلیمی به دلیل پیامدهای مخرب تغییر اقلیم برای محیط‌زیست، اقتصاد بین‌المللی و امنیت غذایی در سال‌های اخیر به یک اولویت جهانی تبدیل شده است (Bilali et al., 2020; Lin et al., 2022). در این زمینه، خطر تنش خشکی در مناطق سراسر جهان مشاهده شده است (Morote et al., 2019; Pulido-Velazquez et al., 2022). خشکسالی عامل اصلی غیرزیستی مسئول کاهش بهره‌وری کشاورزی در سرتاسر جهان است که بر رشد گیاهان در حدود ۴۵ درصد از کل زمین‌های زیر کشت تأثیر می‌گذارد (Chieb and Gachomo, 2023). تنش خشکی باعث کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهی می‌شود که منجر به محدودیت‌های رشد و تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیک می شود (Abedi and Pakniyat, 2010). در مطالعه‌ای روی گیاه اسفناج، تنش خشکی باعث کاهش یکسری از شاخص-های مرفولوژیکی این گیاه از جمله شاخص سطح برگ و وزن تر اندام‌های این گیاه شد (Karić et al., 2024).

در واقع تنش خشکی تقریباً تمام مراحل رشد و نمو را در طول چرخه زندگی گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد، که باعث

* نگارنده پاسخگو: داریوش طالعی. پست الکترونیک: d.talei1348@gmail.com

کاهش چشمگیر فتوسنتز، ناهنجاری‌های گلدهی، عقیم‌سازی سنبلچه، عملکرد دانه و افت کیفیت می‌شود (Kadam et al., 2014). برخی از پژوهش‌گران نیز گزارش کرده‌اند که کمبود آب بر روی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال جذب به دانه، گسترش سلول و تقسیم و ذخیره و انتقال مواد مغذی تاثیر می‌گذارد (Devnarain et al., 2016). تنش خشکی با ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث ایجاد استرس اکسیداتیو می‌شود که برای گیاه اثر سمی داشته و باعث آسیب به کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و DNA می‌شود، و در نهایت از طریق کاهش متابولیسم طبیعی در گیاهان باعث مرگ سلول می‌شود (Gill and Tuteja, 2010). علاوه بر این پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تولید غلظت بالایی از مالون‌دی‌آلدئید در اثر تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد (Tandzi et al., 2018). کاک سو و همکاران (Khakshu et al., 2011) نشان دادند که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر جوانه‌زنی و صفات مرفولوژی از قبیل شاخص سطح برگ و وزن تر و خشک ساقه و ریشه دارد. به‌منظور محافظت از خود، گیاهان توانایی سنتز آنتی اکسیدان‌هایی مانند کاروتنوئیدها، آسکوربات و گلوتاتیون را دارند و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند POD، CAT و APX را افزایش می‌دهند (Rajput et al., 2021).

در شرایط تنش خشکی در دسترس بودن عناصر غذایی در خاک تحت شرایط تنش خشکی نیز دستخوش تغییرات قابل توجهی می‌شود (Abedi and Pakniyat, 2010). در نتیجه، مدیریت موثر شرایط تغذیه تحت تنش برای تولید موفق گیاه بسیار مهم است (Zhang et al., 2020). بنابراین برای بهبود تحمل به تنش های غیر زیستی از جمله تنش خشکی بایستی به دنبال راهکارهایی برای افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین افزایش عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بود. از جمله این راهکارها می‌توان به استفاده از مایکوریزا اشاره کرد. میکوریزاها میکروب‌های مفیدی هستند که از نیازهای تغذیه‌ای گیاهان پشتیبانی می‌کنند، رشد گیاه را ارتقا می‌دهند و به سلامت گیاه کمک می‌کنند، که از طریق رابطه همزیستی بین گیاهان و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار (AMF) ایجاد می‌شود (Jabborova et al., 2022). عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز با استفاده از قارچ‌های میکوریز افزایش می‌یابد (Ebrahim and Saleem, 2017; Aslani et al., 2023). در مطالعه‌ای کاربرد قارچ مایکوریزا باعث بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه اسطوخودوس شد (Haghaninia et al., 2024). همچنین کاربرد قارچ مایکوریزا باعث بهبود رشد در گیاهانی از جمله اسفناج (Jabborova et al., 2021a)، برنج (Wen et al., 2022) و سویا (Jabborova et al., 2021b) شد.

کاربرد ترکیبات فنلی از جمله سالیسیلیک اسید (SA) نیز از جمله راهکارهای مقاومت به تنش می‌باشد. این ترکیب فنلی ضروری است که به طور گسترده در قلمرو گیاهی توزیع شده است ، فرآیندهای رشد گیاه را در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده تنظیم می‌کند (Wani et al., 2017; Fathi et al., 2019; Maruri-Lopez et al., 2019). سالیسیلیک اسید با کاهش مالون‌دی‌آلدئید (MDA) توانایی بازسازی فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، پایداری غشاء (MS) و محافظت کننده‌های اسمزی و سم‌زدایی اثرات منفی ROS را دارد (Saleem et al., 2022; Zainab et al., 2021). گیاه اسفناج یک سبزی با ارزش غذایی بالایی از خانواده Chenopodiaceae است که در سراسر جهان توزیع و کشت می‌شود. این گیاه حاوی مواد فعال زیستی، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد (Roberts and Moreau, 2016). چندین ترکیب فعال زیستی موجود در اسفناج با شیمی درمانی سرطان، ضد چاقی، کاهش قند خون و فعالیت‌های کاهش چربی مرتبط است (Gil et al., 1999). هدف از این تحقیق استفاده از پتانسیل قارچ مایکوریزا (AMF) و سالیسیلیک اسید بر میزان تحمل به تنش خشکی در گیاه اسفناج و انتخاب بهترین ترکیب برای افزایش مقاومت به تنش در اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه و آزمایشگاه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد، تهران، ایران در سال ۱۴۰۲ انجام شد. به‌منظور بررسی اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین در گیاه اسفناج در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: تلقیح با قارچ مایکوریزا در دو سطح (عدم تلقیح ، تلقیح با قارچ مایکوریزا) و کاربرد سالیسیلیک اسید در دو سطح (عدم مصرف و مصرف) و تنش خشکی در دو سطح (عدم تنش خشکی (۱۰۰ ٪ ظرفیت زراعی) و تنش

نسخه پیش از انتشار

خشکی (۵۰ ٪ ظرفیت زراعی) بود. بذرهای مورد استفاده در این آزمایش از موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج، ایران تهیه شد و رقم مورد اسفناج در این آزمایش از نوع هم خاردار مشهدی بود. قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید به ترتیب از از شرکت فوکا کشت پارسه و مرک آلمان تهیه شدند. در این تحقیق گلدان‌ها با ارتفاع ۳۰ و ۲۵ سانتی-متر حاوی ۶ کیلو گرم از ترکیبی از ماسه، خاک زراعی و کود دامی کاملا" پوسیده شده به نسبت ۱:۳:۱ پر شدند. رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی ۲۸ درصد بود. سپس تنش خشکی که شامل تنش آبیاری معمولی (۱۰۰٪ FC)، تنش خشکی (۵۰٪ FC) اعمال شد. با توزین کردن روزانه گلدان‌ها میزان آب از دست رفته از طریق تعرق مشخص شده و آبیاری براساس تیمارها تا رسیدن به FC مورد نظر انجام گرفت (Soltani et al., 2017). دما، رطوبت نسبی و شدت نور درگلخانه توسط سنسورهایی که به سیستم مرکزی گلخانه متصل می‌باشد کنترل گردید. به طوری که دما در شب ۱۸ و در روز ۲۲ درجه سانتی‌گراد تعین و رطوبت نسبی در محدوده ۴۰ ٪ حفظ شد. مدت و شدت تابش نور هم با استفاده از پرده‌هایی که در سقف گلخانه تعبیه شده وهمچنین لامپ‌های بخار سدیم ۴۰۰ واتی قابل کنترل بود. به صورتی که در طی دوره انجام این آزمایش طول دوره روشنایی ۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت تنظیم گردید. در پایان فصل رشد از هر گلدان چند بوته به طور تصادفی انتخاب شد و صفات مرفولوژیکی از جمله ارتفاع بوته، وزن ریشه، تعداد برگ و شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شد. از هر گلدان نمونه‌های برگی برای تخمین صفات فیزیولوژیکی گیاه به طور تصادفی جمع‌آوری شد و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر در دمای ۸۰- در یخچال نگه‌داری شد.

محتوای پرولین

مقدار ۰/۵ گرم برگ با استفاده از اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد (۵ میلی لیتر) آسیاب شد و عصاره به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ گرم سانتریفیوژ شد. ۲ میلی لیتر از مایع رویی را با اسید نین هیدرین و اسید استیک اضافه شد و مخلوط واکنش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت انکوبه شد. سپس واکنش در حمام یخ پایان یافته و پرولین با استفاده از تولوئن جدا شد. شدت رنگ در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973).

محتوای مالون دی‌آلدئید (MDA)

پراکسیداسیون لیپیدی با استفاده از روش تیوباربیتوریک اسید (TBA) تعیین شد (Dhindsa et al., 1981). جذب مایع رویی در طول‌موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر تعیین شد. محتوای MDA با فرمول زیر محاسبه شد:

$$MDA_{(nmol/g.fwt)} = [(A_{532}-A_{600})/155]/1000 \times \text{ضریب رقت} \quad [۱]$$

محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برای سنجش محتوای پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ابتدا باید عصاره‌گیری انجام شود. برای تهیه عصاره ابتدا ۰/۵ گرم از بافت گیاهچه‌ها را با ۲ میلی لیتر از بافر استخراج رفرنس به‌صورت همگن در آمد و بعد از سانتریفیوژ (۱۵۰۰۰ دور در ۱۰ دقیقه) بخش روی محلول را به میکروتیوب‌های جدید انتقال داده و برای تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی و محتوای پروتئین استفاده شد. از تکنیک برد فورد (Bradford, 1976) براساس اتصال معرف رنگی کوماسی بریلیانت بلو (G-250) با پروتیئن عصاره گیاهی در محیط اسیدی و در طول موج ۵۹۵ برای تعیین میزان پروتئین گیاهچه‌های کینوا استفاده شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) از روش بیر و فریدوویک (Beyer and Fridovic, 1987) انجام شد. در این روش یک میلی‌لیتر از محلول تهیه شده سوپراکسید دیسموتاز که حاوی ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=7/8)، ۷۵ میکرومولار NBT، ۱۳ میلی‌مولار آل- متیونین، ۰/۱ مولار EDTA و ۲ میکرومولار ریبوفلاوین است را با ۵۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده از گیاهچه‌ها مخلوط کرده و بر اساس توانایی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در توقف احیای نیترو تترازولیوم (NBT) در حضور ریبوفلاوین در نور در طول‌موج ۶۵۰ نانومتر صورت گرفت.

برای سنجش آنزیم کاتالاز از روش دیندسا و همکاران استفاده شد (Dhindsa et al., 1981). در این روش ۵ میکرولیتر از عصاره استخراج شده را با یک میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری کاتالاز که شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات پتاسیم (pH=۷) و ۱۵ میلی‌مول پراکسید هیدروژن (H_2O_2) است، مخلوط شد. سپس جذب آن را در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۴ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

فعالیت آسکوربات پراکسیداز طبق روش آماکو و همکاران (Amako et al., 1994) با اندازه‌گیری کاهش ۲۹۰ نانومتری

نسخه پیش از انتشار

در جذب ناشی از اکسیداسیون آسکوربات در مدت ۱ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

درصد کلونیزاسیون

ریشه‌های هر تیمار با استفاده از آب مقطر برای حذف خاک چسبیده و زباله‌ها به طور کامل شسته شد. پس از آن، بخش-های ریشه به طول ۱ سانتی‌متر خرد شده و متعاقباً با استفاده از تریپان بلولاکتوفنول رنگ آمیزی شدند (Zubek et al., 2012). قطعات ریشه رنگ‌آمیزی شده (۵۰ در هر تکرار) در زیر میکروسکوپ کامپیوتری دیجیتال (مدل DP-72) مشاهده شد. قطعات ریشه رنگ‌آمیزی شده (۵۰ در هر تکرار) در زیر میکروسکوپ کامپیوتری دیجیتال (مدل DP-72، Olympus) با بزرگنمایی ۲۰ به‌منظور ارزیابی کلونیزاسیون AMF ریشه‌ها مشاهده شد. سطح کلونیزاسیون AMF بر حسب آربوسکول، وزیکول و میسلیوم ثبت شد که توسط هاشیم و همکاران (Hashem et al., 2016) توصیف شد.

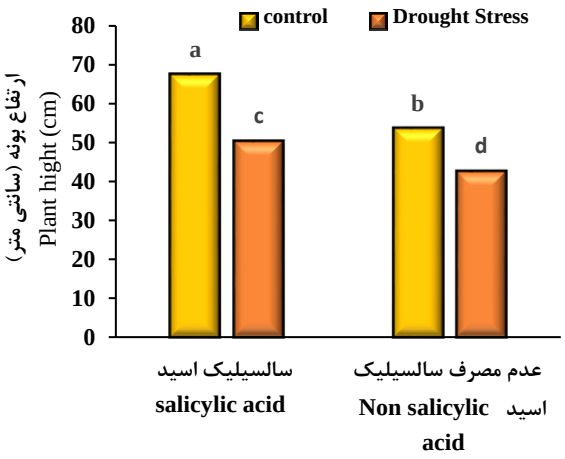
تجزیه آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته اسفناج تحت تنش خشکی

نتایج جدول شماره ۱ حاکی از معنی داری تیمارهای تنش خشکی، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید و اثر بر همکنش دوگانه این تیمارها بر ارتفاع بوته اسفناج بود (جدول ۱). در مطالعه حاضر با افزایش سطوح تنش خشکی شاهد کاهش ارتفاع بوته بودیم به طوری که بیشترین ارتفاع بوته در گیاه اسفناج در شرایط عدم تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۱).

تنش خشکی می‌تواند ارتفاع گیاه را از طریق تأثیر آن بر تقسیم سلولی و ازدیاد طول، کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب CO2 در نتیجه بسته‌شدن روزنه کاهش دهد (Ostadi et al., 2022; Das et al., 2023). تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع در گیاه اسطوخودوس شد، بااین‌حال تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش نسبت به شاهد شد (Haghaninia et al., 2024). این نتایج تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر روی گیاه اسفناج است.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته. حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig.1. Comparison of the mean interaction effect of drought stress × salicylic acid on plant height. Different letters indicate the significant difference between the treatments.

اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر وزن تر ریشه و تعداد برگ اسفناج تحت تنش خشکی

در مطالعه حاضر تیمارهای تنش خشکی، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید و اثر بر همکنش دوگانه این تیمارها بر وزن تر ریشه و تعداد برگ اثر معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱). بیشترین وزن تر ریشه در شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد افزایشی ۲۸ درصدی را نشان داد. تلقیح با قارچ مایکوریزا اثر مثبتی بر تعداد برگ در اسفناج نشان داد به‌طوری که بیشترین تعداد برگ در این گیاه در شرایط عدم تنش خشکی و تلقیح با قارچ مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۲). بر اساس مطالعه‌ای وزن تر کل اندام‌های گیاه اسفناج تحت‌تأثیر خشکی قرار گرفت. به‌طوری که بیشترین وزن تر در تیمار شاهد (بدون تنش) و کمترین آن در گیاهان اسفناج در معرض تنش شدید خشکی به دست آمد (Karić et al., 2024). شرایط کاهش توده تازه در گیاهان اسفناج به دلیل خشکسالی نیز قبلاً در مطالعات متعدد گزارش شده است (Ors and Suarez, 2017; Yavuz et al., 2022). در بررسی اثر قارچ مایکوریزا بر تعداد برگ، عرض برگ، وزن تر اندام هوایی و ریشه نتایج نشان داد تلقیح با این قارچ باعث بهبود صفات مذکور می‌شود (Jabborova et al., 2022).

نسخه پیش از انتشار

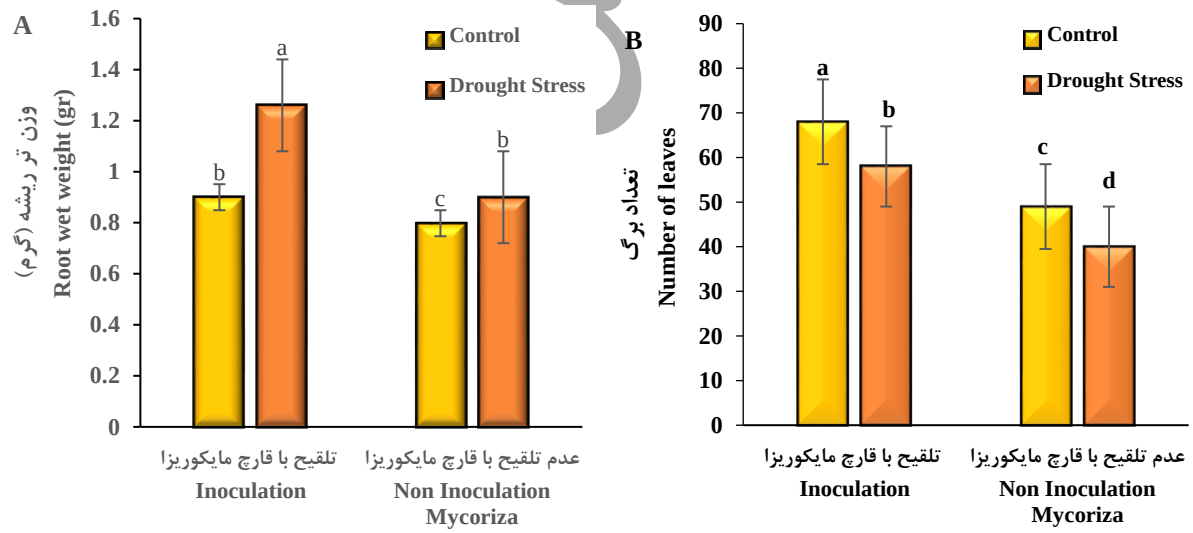
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مرفولوژیکی اسفناج تحت تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of the effect of inoculation with mycorrhizal fungi and salicylic acid on some morphological traits of spinach under drought stress

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی Df	ارتفاع بوته Plant Height	وزن تر ریشه Root fresh weight	تعداد برگ Number of leaf	شاخص سطح برگ LAI
Drought stress (a) تنش خشکی	1	2090.600**	0.320**	145.04**	243430.00**
Mycoriza (b) مایکوریزا	1	450.660**	0.338**	1305.33**	755663.00*
Salsylicacid (c) سالیسیلیک اسید	1	170.660**	0.226**	234.37**	40166.00**
a*b تنش خشکی×مایکوریزا	1	4.166*	0.100**	108.37*	79666.50**
a*c تنش خشکی×سالیسیلیک اسید	1	13.500**	0.041*	0.04 ns	1138.30 ns
b*c مایکوریزا×سالیسیلیک اسید	1	0.167ns	0.035 ns	1.04 ns	3998.70*
a*b*c تنش خشکی×مایکوریزا×سالیسیلیک اسید	1	0.001 ns	0.014 ns	0.042 ns	47905.00**
Error خطا	16	0.625	0.006	15.29	470.39
CV (%) ضریب تغییرات		*2.50*	*8.00*	*6.90*	*1.90*

*: Significant at the 5 % level and **: Significant at the 1% level

* معنی دار در سطح ۵ درصد و ** معنی دار در سطح ۱ درصد



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا بر وزن تر ریشه (A) و تعداد برگ اسفناج (B). حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig. 2. Comparison of the mean interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi on root fresh weight (A) and spinach leaf number (B). Different letters indicate the significant difference between the treatments.

اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر شاخص سطح برگ تحت تنش خشکی

بررسی شاخص سطح برگ اسفناج نتایج حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای تنش خشکی، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید و همچنین اثر بر همکنش دوگانه و سه‌گانه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۱). در این پژوهش بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط عدم تنش خشکی و تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد

سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۳). یانگ و همکاران (Yang et al., 2021) گزارش کردند کاهش سطح برگ عمدتاً به دلیل کاهش تقسیم و گسترش سلولی در شرایط خشکی است که منجر به کاهش عملکرد اسفناج می‌شود. این یافته‌ها به‌شدت از این فرضیه حمایت می‌کند که گیاه اسفناج برای حفظ رشد سریع اسفناج به آبیاری منظم نیاز دارند. در مقابل، اگر شرایط خشکسالی ادامه یابد، کمبود آب در برگ ها بر رشد سلول تأثیر منفی می‌گذارد و در نتیجه عملکرد اسفناج به طور چشمگیری کاهش می‌یابد (Sun et al., 2023). نتایج این مطالعه با چنین مشاهداتی مطابقت دارد.

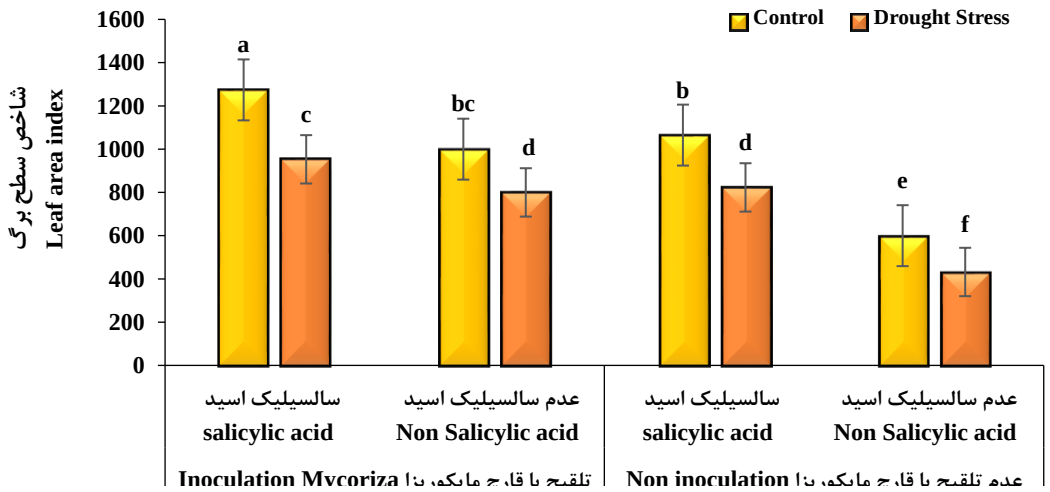
اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر محتوای پرولین اسفناج تحت تنش خشکی

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر ساده و اثر بر همکنش دوگانه تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا و اثر سه‌گانه تنش خشکی× قارچ مایکوریزا × سالیسیلیک اسید برای صفت محتوای پرولین بود (جدول ۲). بیشترین محتوای پرولین در این پژوهش در شرایط تنش خشکی و تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد خود دارای افزایشی ۲۳ درصدی بود. کمترین محتوای پرولین نیز در شرایط عدم تنش خشکی و عدم تلقیح با قارچ مایکوریزا و عدم استفاده از سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۴). پرولین یک محافظ اسمزی است که در شرایط تنش انباشته می‌شود (Javanmard et al., 2022).

یکی از استراتژی‌هایی که گیاهان برای فرار از تنش خشکی استفاده می‌کنند، تنظیم اسمزی است که توسط تجمع قابل‌توجهی از مواد اسمولیتیک، به‌ویژه پرولین، گلیسین بتائین، اسیدهای آلی و کل قندهای محلول ایجاد می‌شود (Choudhary et al., 2022). تحت تنش خشکی، غلظت بالای پرولین در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا منجر به افزایش محتوای آب برگ، افزایش فعالیت فتوسنتزی و تعدیل قابل‌توجه قندها می‌شود (Foyer et al., 2017). در این مطالعه کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید باعث افزایش بیشتر تجمع پرولین در گیاه اسفناج تحت تنش خشکی شد.

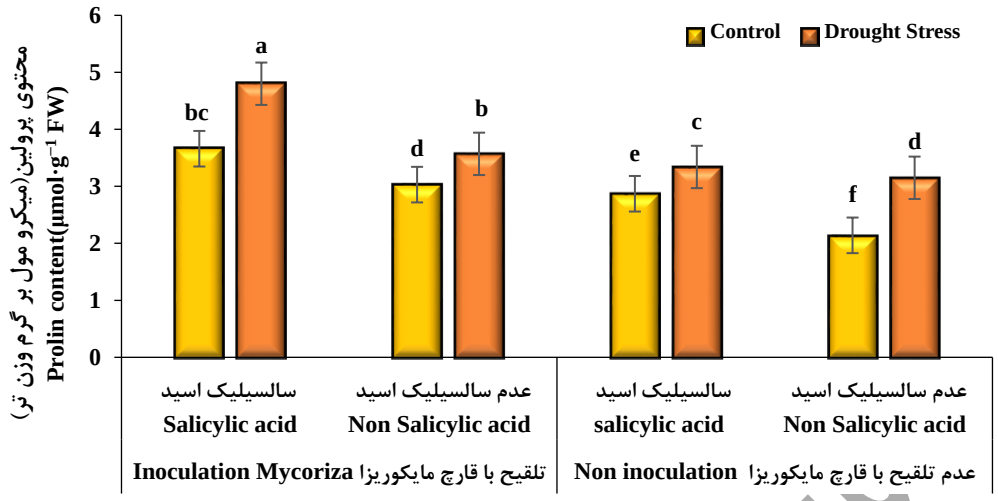
اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر محتوای مالون دی‌آلدئید اسفناج تحت تنش خشکی

اثر ساده تیمارهای تنش خشکی، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید و اثر بر همکنش دوگانه و سه‌گانه تیمارهای موردمطالعه برای صفت محتوای مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید (۱/۸۹) در تنش خشکی و عدم تلقیح با قارچ مایکوریزا و عدم مصرف سالیسیلیک اسید بدست آمد که این مقدار نسبت به تیمار شاهد خود دارای افزایشی ۸۲ درصدی نسبت به شرایط کنترل بود (شکل ۵).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا× سالیسیلیک اسید بر شاخص سطح برگ. حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig. 3. Comparison of the average interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi × salicylic acid on leaf area index. Different letters indicate the significant difference between the treatments.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا× سالیسیلیک اسید بر محتوای پرولین. حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig. 4. Mean comparison of the interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi × salicylic acid on proline content. Different letters indicate the significant difference between the treatments.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مطالعه شده اسفناج تحت تنش خشکی

Table 2. Variance analysis of the effect of inoculation with mycorrhizal fungi and salicylic acid on some studied traits of spinach under drought stress

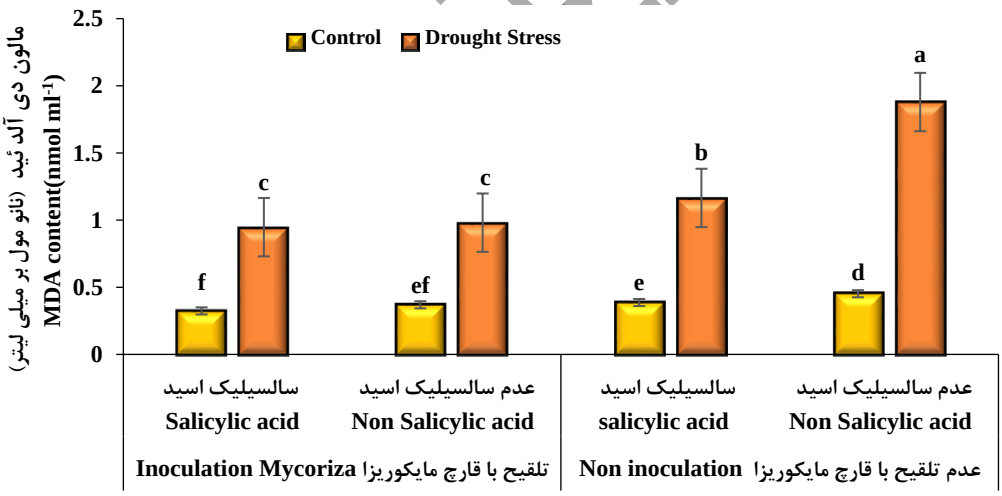
S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی Df	فعالیت آنزیم کاتالاز CAT	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز APX	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD	محتوای مالون دی آلدئید MDA	محتوای پرولین Prolin	محتوای پروتئین محلول برگ protein	کلونیزاسیون Clonization
Drought stress (a) تنش خشکی	1	6.176**	4.630**	5.3209**	4.4433**	3.7382**	0.7221**	1218.370**
Mycoriza (b) مایکوریزا	1	0.139**	0.288**	0.9341**	0.5969**	4.7701**	0.3678**	693.375**
Salsylicacid (c) سالیسیلیک اسید	1	0.896**	0.677**	3.4125**	0.2756**	2.8728**	0.0692**	210.041**
a*b تنش خشکی×مایکوریزا	1	0.028**	0.062**	0.4764**	0.3539**	0.0162 ns	0.0153**	57.042**
a*c تنش خشکی×سالیسیلیک اسید	1	0.015*	0.205**	1.2148**	0.1517**	0.0011 ns	0.0007 ns	5.042*
b*c مایکوریزا×سالیسیلیک اسید	1	0.002 ns	0.015**	0.1141**	0.1838**	0.3314**	0.0001 ns	0.042 ns
a*b*c تنش خشکی× مایکوریزا× سالیسیلیک اسید	1	0.008*	0.007**	0.0101**	0.1635**	0.4797**	0.0011*	1.042 ns
Error خطا	16	0.002	0.001	0.0003	0.0022	0.0224	0.0003	0.792
CV (%) ضریب تغییرات		2.50	2.04	1.10	5.70	4.40	2.30	1.60

*: Significant at the 5 % level and **: Significant at the 1% level * معنی دار در سطح ۵ درصد و ** معنی دار در سطح ۱ درصد

مالون دی‌آلدئید یک شاخص ضروری و قابل‌اعتماد برای ارزیابی میزان آسیب غشای پلاسمایی و توانایی گیاهان برای مقاومت در برابر استرس ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی است (Das et al., 2023; Mehralian et al., 2023). علاوه بر این، تنش خشکی باعث افزایش بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود و تعادل بین تولید و خنثی‌سازیROS به

پیش از انتشار

هم می‌ریزد (Ahanger et al., 2021; Tashakorizadeh et al., 2022). این نتیجه با سایر گزارش‌هایی که نشان می دهند محتوای MDA و پرولین در پاسخ به ROS تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافته است، مطابقت دارد (Farouk and Al-Huqail, 2020; Babaei et al., 2021). در سال‌های اخیر، بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که چندین محرک شیمیایی در بهبود محتوای فنلی یک گونه گیاهی مؤثر است (Ali et al., 2021). تحقیقات فشرده مربوط به سالیسیلیک اسید در گیاهان، نقش آن را در واکنش های مختلف فیزیولوژیکی و رشدی نیز آشکار کرده است. نقش آن در ایجاد تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان زراعی برای بهبود عملکرد رشد و تولید متابولیت ثانویه بسیاری از محصولات باغی گزارش شده است (Ali, 2021; Bektas and Eulgem, 2015). اسید سالیسیلیک با کاهش مالون دی‌آلدئید (MDA) توانایی بازسازی فعالیت‌های آنتی-اکسیدانی و محافظت‌کننده‌های اسمزی و سم‌زدایی اثرات منفی ROS را دارد (Faryal et al., 2022). داسیلوا اولیویرا و همکاران (da Silva Oliveira et al., 2023) گزارش کرد که سالیسیلیک اسید با حفظ یکپارچگی ساختاری و عملکرد آنها در مواجهه با اثرات مضر و بی‌ثبات‌کننده ناشی از ROS تولید شده در شرایط تنش از غشای سلولی و پروتئین‌های حامل مرتبط آنها محافظت می‌کند. یافته‌های حاضر نشان داد که در شرایط تنش آبی، گیاهان تیمار شده با قارچ مایکوریزا مالون دی‌آلدئید کمتری دارند. در مطالعه‌ای مشابه روی گیاه سویا کاربرد قارچ مایکوریزا باعث کاهش محتوای مالون دی-آلدئید شد (Sheteiwy et al., 2021). کاهش تجمع مالون-دی‌آلدئید به دلیل کاربرد قارچ مایکوریزا نشان‌دهنده کاهش نرخ پراکسیداسیون لیپیدی در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا نسبت به بدون قارچ مایکوریزا است که در نتایج ما نیز به‌وضوح مشهود بود (Aalipour et al., 2020).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا× سالیسیلیک اسید بر محتوای مالون دی آلدئید. حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig. 5. Mean comparison of the interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi × salicylic acid on malondialdehyde content. Different letters indicate the significant difference between the treatments.

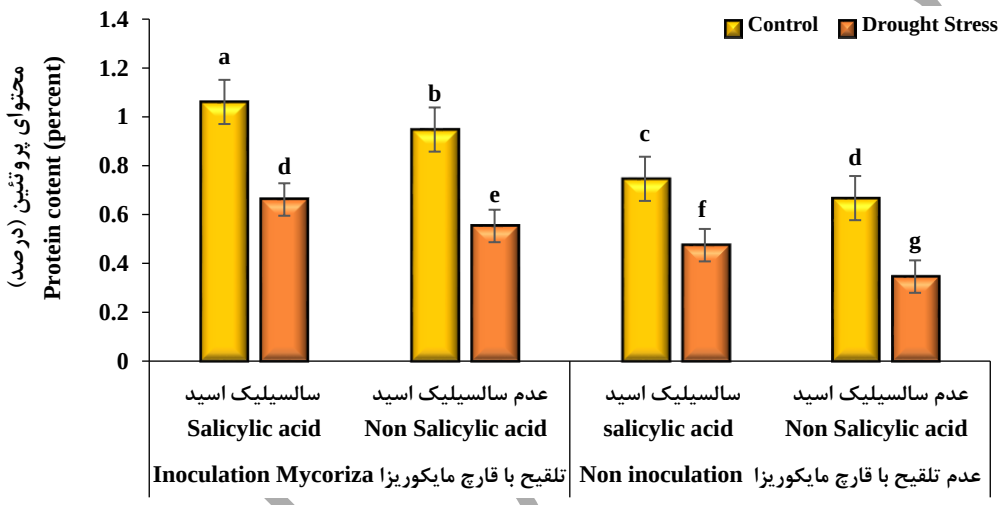
اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر محتوای پروتئین محلول برگ اسفناج تحت تنش خشکی

تیمارهای ساده تنش خشکی، قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید و اثر بر همکنش این تیمارهای برای صفت به محتوای پروتئین محلول برگ اثر معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۲).

در بررسی مقایسه میانگین‌ها تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط عدم تنش خشکی بالاترین میزان پروتئین محلول برگ را نشان داد. به‌طوری این میزان افزایشی ۳۷ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (شکل ۶).

بهبود رسانایی روزنه‌ای تحت تنش خشکی توسط محرک‌های زیستی که به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی به کار

می‌روند، می‌تواند منجر به جذب کافی CO_2 و در نتیجه سنتز پروتئین شود (Nie et al., 2015). در مطالعه حاضر، گیاهان اسفناج تلقیح شده با قارچ مایکوریزا دارای محتوای پروتئین-های محلول بالاتری تحت شرایط تنش بودند که نشان‌دهنده افزایش تجمع پروتئین‌ها و حفظ آنها با حضور قارچ مایکوریزا است که با نتایج تلقیح با قارچ روی گیاه مرزه مشابهت داشت (Rasouli et al., 2023). در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث تجمع پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (Zaferanchi et al., 2019). به‌عبارت‌دیگر، تجمع پرولین، قندها و گلیسین بتائین باواسطه قارچ مایکوریزا ممکن است از گیاهان در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از ROS به پروتئین‌ها و غشاها محافظت کند و در نتیجه سطح پروتئین را بهبود بخشد (Hashem et al., 2016). نتایج آزمایش حاضر با بیگم و همکارانش (Begum et al., 2019) در مورد گیاه تنباکو مطابقت داشت.



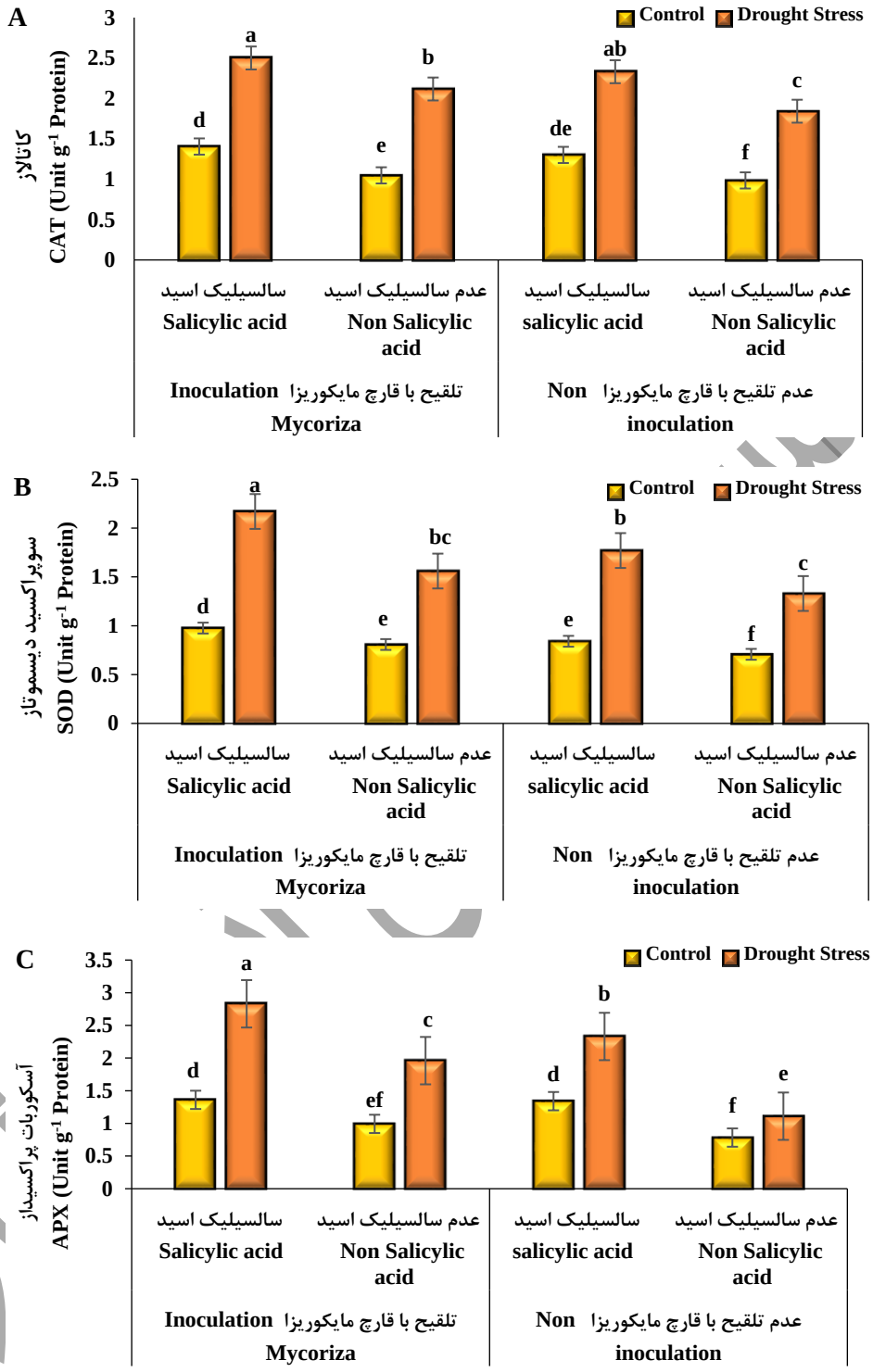
شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا× سالیسیلیک اسید بر محتوای پروتئین محلول برگ. حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig. 6. Mean comparison of the interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi × salicylic acid on leaf soluble protein content. Different letters indicate the significant difference between the treatments.

اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اسفناج تحت تنش خشکی

با بررسی جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر ساده تیمارهای تنش خشکی، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید و همچنین اثر بر همکنش دوگانه و سه‌گانه این تیمارها برای فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). فعالیت آنزیم‌ها تحت‌تأثیر تنش خشکی قرار گرفت به‌طوری که با افزایش تنش خشکی فعالیت این آنزیم‌ها در جهت کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش پیدا می‌کند. بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش خشکی و تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید به دست آمد. به‌طوری که فعالیت این آنزیم‌ها نسبت به تیمار شاهد به ترتیب دارای افزایشی ۶۰، ۶۷ و ۷۲ درصدی بودند. کمترین فعالیت این آنزیم‌ها نیز به طور یکسان در شرایط عدم تنش خشکی و عدم تلقیح با قارچ و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید به دست آمد (شکل ۷ A و B وC).

تنش خشکی با ایجاد پراکسیداسیون لیپیدی سلول‌های غشایی به گیاهان آسیب می‌رساند. بااین‌حال، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند اثرات مضر استرس را کاهش دهد و یکپارچگی ساختاری و عملکردی سلول‌ها را حفظ کند (Mehralian et al., 2023). بااین‌حال، گیاهان از طریق بهبود سیستم‌های دفاعی مانند SOD، CAT، APX و POX منجر به کاهش یا حذف ROS و تثبیت ساختار سلولی می‌شوند (Begum et al., 2023). گزارش شده است که



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا× سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم کاتالاز (A)، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (B) و آنزیم آسکوربات پراکسیداز (C). حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

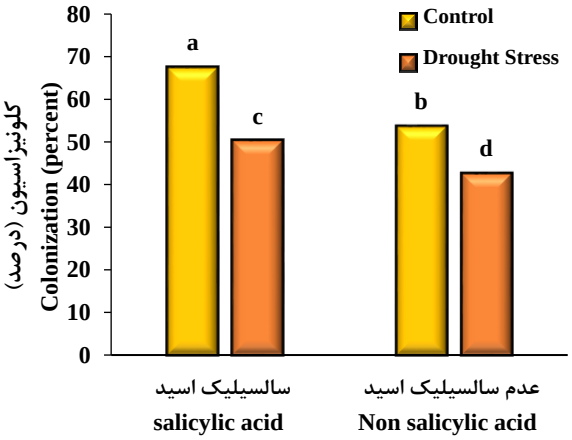
Fig. 7. Mean comparison of the interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi × salicylic acid on the activity of catalase enzyme (A), superoxide dismutase enzyme (B) and ascorbate peroxidase enzyme (C). Different letters indicate the significant difference between the treatments.

تلقیح با قارچ مایکوریزا رشد گیاه را در شرایط تنش غیرزیستی افزایش می‌دهد (Ouhaddou et al., 2023 b). آزمایش ما نشان داد که گیاهان تیمار شده با قارچ مایکوریزا دارای فعالیت‌های SOD، APX و CAT بالاتری در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان بدون تلقیح با قارچ مایکوریزا هستند که نشان می‌دهد تنش خشکی اغلب با سطوح بالایی

از تولید گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط است. فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان میکوریزه شده اسفناج در خاک به حداکثر میزان خود رسید. به طور مشابه، فعالیت آنزیمی کاتالاز (CAT) در گیاهان ذرت میکوریزه شده در خاک افزایش پیدا کرد (Ouhaddou et al., 2024). نشان داده شده است که تلقیح با قارچ مایکوریزا به ریشه گیاه کنجد فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی بالایی را القا می‌کند و تجمع اسمولیت را افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش تحمل به خشکی و بهبود رشد می‌شود (Begum et al., 2020; Gholinezhad et al., 2020). یانگ و همکاران (Yang et al., 2022) نشان داد که تیمار سالیسیلیک اسید اگزوژن می تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتویات مواد تنظیم‌کننده اسمز را در عناب زمستانی افزایش دهد. فوبر و دسپرس (Fobert and Despres, 2006) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید نقش کلیدی در فعال‌سازی آنتی-اکسیدان‌هایی مانند SOD، POD و CAT برای ازبین‌بردن ROS از طریق فعال‌سازی یک سیستم دفاعی که باعث ایجاد تغییرات ردوکس در مسیرهای انتقال سیگنال می‌شود، ایفا می‌کند. کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم در چندین محصول، مانند گوجه‌فرنگی، خیار، بادمجان، لوبیا، برنج و غیره می‌شود (Ignatenko et al., 2021).

اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر درصد کلونیزاسیون ریشه اسفناج تحت تنش خشکی

در بررسی درصد کلونیزاسیون ریشه اسفناج نتایج حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای تنش خشکی، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد سالیسیلیک اسید و همچنین اثر بر همکنش دوگانه تیمار تنش خشکی× تلقیح با قارچ مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). در این پژوهش بیشترین درصد کلونیزاسیون در شرایط عدم تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید و کمترین درصد کلونیزاسیون در شرایط تنش خشکی و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید بدست آمد (شکل ۸). نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش تلقیح با قارچ مایکوریزا می‌شود. استادی و همکاران (Ostadi et al., 2022) دریافتند که تنش خشکی تلقیح با قارچ مایکوریزا را به دلیل کاهش رطوبت و عرضه کربن محدود توسط گیاهان میزبان کاهش می‌دهد. تلقیح با قارچ مایکوریزا جذب مواد مغذی را با افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، تجزیه مواد آلی و بهبود کارایی هیف‌های قارچی افزایش می‌دهد که منجر به کاهش اثرات منفی تنش آبی می‌شود (Ghanbarzadeh et al., 2019; Arpanahi et al., 2020). قارچ مایکوریزا یک رابطه هم‌زیستی با ریشه گیاهان ایجاد می‌کند، جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد و به مقابله با تنش خشکی کمک می‌کند (Bokhari et al., 2023; Chen et al., 2023b; Jabborova et al., 2022). علاوه بر این، پاویترا و یاپا (Pavithra and Yapa, 2018) کاهش کلونیزاسیون میکوریزا را در ریشه‌های سویا تحت تنش خشکی مشاهده کردند.



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × تلقیح با قارچ مایکوریزا× سالیسیلیک اسید بر درصد کلونیزاسیون. حروف مختلف معنی داری را بین تیمارها را نشان می دهد.

Fig. 8. Mean comparison of the interaction effect of drought stress × inoculation with mycorrhizal fungi × salicylic acid on colonization percentage. Different letters indicate the significant difference between the treatments.

نتیجه‌گیری نهایی

مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد ترکیبی قارچ مایکوریزا و اسید سالیسیلیک پتانسیل بالایی برای بهبود خصوصیات رشد اسفناج در شرایط تنش خشکی دارد. استفاده از قارچ مایکوریزا می‌تواند جذب مواد مغذی را که نقش کلیدی در افزایش رشد تحت شرایط تنش خشکی دارند، بهبود بخشد. علاوه بر این، کاربرد قارچ مایکوریزا و اسید سالیسیلیک با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیدازهای گایاکول باعث کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید و پرولین شد. در واقع استفاده از قارچ مایکوریزا و اسید سالیسیلیک باعث بهبود صفات کمی و کیفی گیاه اسفناج در شرایط تنش خشکی شد. بااین‌وجود، توصیه می‌شود که مطالعات طولانی

نسخه پیش از انتشار

مدت بیشتری در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای موردنیاز است تا نقش کاربرد هم‌زمان قارچ مایکوریزا و اسید سالیسیلیک در یک مفهوم گسترده‌تر در شرایط استرس‌زای مختلف بررسی شود.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه شاهد تهران برای انجام کار عملی و آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌کنم.

منابع

Aalipour, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Rejali, F., Soleimani, M., 2020. Biochemical response and interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria during establishment and stimulating growth of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G.) under drought stress. Scientia Horticulturae. 261, 108923. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108923

Abedi, T., Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal Genetic and Plant Breeding. 46(1), 27–34. https://doi.org/10.17221/67/2009-CJGPB

Ahanger, M.A., Qi, M., Huang, Z., Xu, X., Begum, N., Qin, C., Zhang, C., Ahmad, N., Mustafa, N.S., Ashraf, M., Zhang, L., 2021. Improving growth and photosynthetic performance of drought stressed tomato by application of nano-organic fertilizer involves up-regulation of nitrogen, antioxidant and osmolyte metabolism. Ecotoxicology and Environmental Safety. 216, 112195. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112195

Ali, B., 2021. Salicylic acid: An efficient elicitor of secondary metabolite production in plants. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 31, 101884. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101884

Amako, K., Chen, G.X., Asada, K., 1994. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. Plant and Cell Physiology, 35, 497-504. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078621

Aqaei, P., Weisany, W., Diyanat, M., Razmi, J., Struik, P.C., 2020. Response of maize (*Zea mays* L.) to potassium nano-silica application under drought stress. Journal of Plant Nutrition, 43, 1205-1216. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1727508

Arpanahi, A.A., Feizian, M., Mehdipourian, G., Khojasteh, D.N., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. European Journal of Soil Biology. 100, 103217. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217

Aslani, Z., Hassani, A., Mandoulakani, B.A., Barin, M., Maleki, R., 2023. Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*). Scientia Horticulturae. 309, 111610. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111610

Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N., Pirbalouti, A.G., 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. Scientia Horticulturae. 284, 110116. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116

Bates, L.S., Waldren, R.P.A., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Begum, N., Xiao, Y., Wang, L., Li, D., Irshad, A., Zhao, T., 2023. Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* alleviates drought stress in soybean with overexpressing the GmSPL9d gene by promoting photosynthetic apparatus and regulating the antioxidant system. Microbiological Research. 273, 127398. https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127398

Bektas, Y., Eulgem, T., 2015. Synthetic plant defense elicitors. Frontiers in Plant Science. 5, 804. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00804

نسخه پیش از انتشار

Beyer Jr, W.F., Fridovich, I., 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. Analytical Biochemistry. 61, 559-566. https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90489-1

Bokhari, S.S., Farhat, H., Ali, S.A., Urooj, F., Rahman, A., Ara, J., Irfan, M., Ehteshamul Haque, S.Y.E.D., 2023. Role of mycorrhizospheric fluorescent Pseudomonas in suppressing the root rot disease, enhancement of vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) population and phosphorus uptake in sunflower. Pakistan Journal of Botany, 55, 779-790. https://doi.org/10.30848/PJB2023-2(36)

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Chen, L., Wang, F., Zhang, Z., Chao, H., He, H., Hu, W., Zeng, Y., Duan, C., Liu, J., Fang, L., 2023. Influences of arbuscular mycorrhizal fungi on crop growth and potentially toxic element accumulation in contaminated soils: A meta-analysis. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 53, 1795-1816. https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2183700

Chieb, M., Gachomo, E.W., 2023. The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. BMC Plant Biology. 23, 407. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8

Choudhary, S., Wani, K.I., Naeem, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., 2023. Cellular responses, osmotic adjustments, and role of osmolytes in providing salt stress resilience in higher plants: polyamines and nitric oxide crosstalk. Journal of Plant Growth Regulation, 42, 539-553. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10584-7

Das, D., Bisht, K., Chauhan, A., Gautam, S., Jaiswal, J.P., Salvi, P. Lohani, P., 2023. Morpho-physiological and Biochemical responses in wheat foliar sprayed with zinc-chitosan-salicylic acid nanoparticles during drought stress. Plant Nano Biology. 4, 100034. https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100034

Després, C. Fobert, P.R., 2006. In Vivo biochemical characterization of transcription factors regulating plant defense response to disease. Canadian Journal of Plant Pathology, 28, 3-15. https://doi.org/10.1080/07060660609507266

Devnarain, N., Crampton, B.G., Chikwamba, R., Becker, J.V. O'Kennedy, M.M., 2016. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. South African Journal of Botany. 103, 61-69. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.008

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P.A.M.E.L.A. Thorpe, T.A., 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany. 32, 93-101. https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93

Ebrahim, M.K. Saleem, A.R., 2017. Alleviating salt stress in tomato inoculated with mycorrhizae: Photosynthetic performance and enzymatic antioxidants. Journal of Taibah University for Science. 11, 850-860. https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2017.02.002

El Bilali, H., Bassole, I.H.N., Dambo, L. Berjan, S., 2020. Climate change and food security. Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo, 66(3). 197-210 https://doi.org/10.17707/AgricultForest.66.3.16

Farouk, S., Al-Huqail, A.A., 2020. Sodium nitroprusside application regulates antioxidant capacity, improves phytopharmaceutical production and essential oil yield of marjoram herb under drought. Industrial Crops and Products. 158, 113034. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113034

Faryal, S., Ullah, R., Khan, M.N., Ali, B., Hafeez, A., Jaremko, M. Qureshi, K.A., 2022. Thiourea-capped nanoapatites amplify osmotic stress tolerance in *Zea mays* L. by conserving photosynthetic pigments, osmolytes biosynthesis and antioxidant biosystems. Molecules. 27, 5744. https://doi.org/10.3390/molecules27185744

Fathi, S., Kharazmi, M. Najafian, S., 2019. Effects of salicylic acid foliar application on morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca olaracea* L.) under salinity stress conditions. Journal of Plant Physiology and Breeding, 9, 1-9. https://doi.org/10.22034/JPPB.2019.10439

Foyer, C.H., Ruban, A.V. Nixon, P.J., 2017. Photosynthesis solutions to enhance productivity. Philosophical Transactions of the

Royal Society B: Biological Sciences, 372(1730), 20160374. https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0374

Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V., Moradshahi, A., 2019. Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglomus etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. Scientia Horticulturae, 256, 108652. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108652

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S.S. Popović-Djordjević, J., 2020. Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. Agricultural Water Management. 238, 106234. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106234

Gil, M.I., Ferreres, F. Tomás-Barberán, F.A., 1999. Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47, 2213-2217. https://doi.org/10.1021/jf981200l

Gill, S.S. Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48, 909-930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Haghaninia, M., Javanmard, A., Radicetti, E., Rasouli, F., Ruiz-Lozano, J. M., Sabbatini, P., 2024. Adoption of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar for alleviating the agro-physiological response of lavander (*Lavandula angustifolia* L.) subjected to drought stress. Plant Stress. 12, 100461. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100461

Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A. and Egamberdieva, D., 2016. Bioremediation of adverse impact of cadmium toxicity on Cassia italica Mill by arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences. 23, 39-47. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.11.007

Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Al-Huqail, A.A., Wirth, S. Egamberdieva, D., 2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of Acacia gerrardii under salt stress. Frontiers in Microbiology. 7, p. 1089. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01089

Ignatenko, A.A., Talanova, V.V., Repkina, N.S. and Titov, A.F., 2021. Effect of salicylic acid on antioxidant enzymes and cold tolerance of cucumber plants. Russian Journal of Plant Physiology. 68, 491-498. https://doi.org/10.1134/S1021443721020059

Jabborova, D., Annapurna, K., Azimov, A., Tyagi, S., Pengani, K. R., Sharma, P., ... Sayyed, R. Z., 2022. Co-inoculation of biochar and arbuscular mycorrhizae for growth promotion and nutrient fortification in soybean under drought conditions. Frontiers in plant science, 13, 947547. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.947547

Jabborova, D., Annapurna, K., Azimov, A., Tyagi, S., Pengani, K.R., Sharma, P., Vikram, K.V., Poczai, P., Nasif, O., Ansari, M.J. Sayyed, R.Z., 2022. Co-inoculation of biochar and arbuscular mycorrhizae for growth promotion and nutrient fortification in soybean under drought conditions. Frontiers in Plant Science. 13, 947547. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.947547

Jabborova, D., Annapurna, K., Choudhary, R., Bhowmik, S.N., Desouky, S.E., Selim, S., Azab, I.H.E., Hamada, M.M., Nahhas, N.E. Elkelish, A., 2021. Interactive impact of biochar and arbuscular mycorrhizal on root morphology, physiological properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and soil enzymatic activities. Agronomy. 11, 2341. https://doi.org/10.3390/agronomy11112341

Jabborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H. A., Desouky, S., Ibrahim, M. F. M. Elkelish, A., 2021. Beneficial features of biochar and arbuscular mycorrhiza for improving spinach plant growth, root morphological traits, physiological properties, and soil enzymatic activities. Journal of Fungi. 7, 1-16

Javanmard, A., Ashrafi, M., Morshedloo, M.R., Machiani, M.A., Rasouli, F. Maggi, F., 2022. Optimizing phytochemical and physiological characteristics of Balangu (*Lallemantia iberica*) by foliar application of chitosan nanoparticles and Myco-Root inoculation under water supply restrictions. Horticulturae. 8, 695. 1-17. https://doi.org/10.3390/horticulturae8080695

Kadam, N.N., Xiao, G., Melgar, R.J., Bahuguna, R.N., Quinones, C., Tamilselvan, A., Prasad,

P.V.V. Jagadish, K.S., 2014. Agronomic and physiological responses to high temperature, drought, and elevated CO_2 interactions in cereals. Advances in agronomy, 127, 111-156. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800131-8.00003

Karić, L., Sinanović, Ć. Z., Murtić, M. S., Rakita, N., Omerović, Z., Murtić, S. 2024. Morphological and Physiological Response of Spinach Plants to Water Stress. 34th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry. 9-11 October 2024. Sarajevo, Bosnia.

Khakshur, M.Z., Lahuti, M. Ganjali, A., 2011. Evaluation of drought stress using PEG on germination and morphological features of dill. Iranian Journal of Horticultural Science. 25, 185-193. [In Persian].

Lin, H.I., Yu, Y.Y., Wen, F.I. Liu, P.T., 2022. Status of food security in East and Southeast Asia and challenges of climate change. Climate, 10, 40. https://doi.org/10.3390/cli10030040

Maruri-López, I., Aviles-Baltazar, N.Y., Buchala, A. Serrano, M., 2019. Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 10, 423. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00423

Mehralian, M., Bidabadi, S.S., Azad, M., Ebrahimi, S.N. Mirjalili, M.H., 2023. Melatonin-mediated alleviation of drought stress by modulation of physio-biochemical and metabolic status in *Dracocephalum kotschyi* Boiss.(Lamiaceae). Industrial Crops and Products. 204, 117321. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117321

Morote, Á.F., Olcina, J. Hernández, M., 2019. The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in semi-arid regions: South-Eastern Spain. Water. 11, 93. https://doi.org/10.3390/w11010093

Nie, M., Bell, C., Wallenstein, M.D. Pendall, E., 2015. Increased plant productivity and decreased microbial respiratory C loss by plant growth-promoting rhizobacteria under elevated CO_2. Scientific Reports, 5, 9212. https://doi.org/10.1038/srep09212

Oliveira, A.P.D.S., Melo, Y.L., de Alencar, R.S., Viégas, P.R.A., Dias, G.F., Ferraz, R.L.D.S., Sá, F.V.D.S., Dantas Neto, J., Magalhães, I.D., Gheyi, H.R. de Lacerda, C.F., 2023. Osmoregulatory and antioxidants modulation by salicylic acid and methionine in cowpea plants under the water restriction. Plants. 12, 1341. https://doi.org/10.3390/plants12061341

Ors, S. Suarez, D. L., 2017. Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. Agricultural Water Management. 190, 31–41. https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.003

Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., Sadeghpour, A., Maggi, F., Nouraein, M., Morshedloo, M.R., Hano, C. Lorenzo, J.M., 2022. Co-application of TiO_2 nanoparticles and arbuscular mycorrhizal fungi improves essential oil quantity and quality of sage (*Salvia officinalis* L.) in drought stress conditions. Plants, 11, 1659. https://doi.org/10.3390/plants11131659

Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M. A., Morshedloo, M. R., Nouraein, M., Rasouli, F., Maggi, F., 2020. Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. Industrial Crops and Products. 148, 112290. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112290

Ouhaddou, R., Ech-Chatir, L., Ikan, C., Soussani, F.E., Errouh, F., Boutasknit, A., Rodrigez, J.C., Er-Raki, S., Duponnois, R. Meddich, A., 2024. Investigation of the impact of dual inoculations of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria on drought tolerance of maize grown in a compost-amended field under Mediterranean conditions. Frontiers in Microbiology. 15, 1432637. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1432637

Ouhaddou, R., Meddich, A., Ikan, C., Lahlali, R., Ait Barka, E., Hajirezaei, M.R., Duponnois, R. Baslam, M., 2023. Enhancing maize productivity and soil health under salt stress through physiological adaptation and metabolic regulation using indigenous biostimulants. Plants. 12, 3703. https://doi.org/10.3390/plants12213703

Pavithra, D. Yapa, N., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances drought stress tolerance of plants. Groundwater for Sustainable Development. 7, 490-494. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.03.005

Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A.J. Fernandez-Chacon, F., 2022. The impact of

climate change scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean basin. A useful approach for planning adaptation strategies. Science of The Total Environment, 820, 153128. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153128

Rajput, V.D., Harish, Singh, R.K., Verma, K.K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F.R., Meena, M., Gour, V.S., Minkina, T., Sushkova, S. Mandzhieva, S., 2021. Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. Biology, 10, 267. https://doi.org/10.3390/biology10040267

Rasouli, F., Amini, T., Skrovankova, S., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M.B., Ercisli, S., Buckova, M., Mrazkova, M. Mlcek, J., 2023. Influence of drought stress and mycorrhizal (*Funneliformis mosseae*) symbiosis on growth parameters, chlorophyll fluorescence, antioxidant activity, and essential oil composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants. Frontiers in Plant Science. 14, 1151467. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1151467

Roberts, J.L. Moreau, R., 2016. Functional properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) phytochemicals and bioactives. Food and Function. 7, 3337-3353. https://doi.org/10.1039/C6FO00051G

Saleem, K., Asghar, M.A., Saleem, M.H., Raza, A., Kocsy, G., Iqbal, N., Ali, B., Albeshr, M.F. Bhat, E.A., 2022. Chrysotile-asbestos-induced damage in *Panicum virgatum* and *Phleum pretense* species and its alleviation by organic-soil amendment. Sustainability, .14, 10824. https://doi.org/10.3390/su141710824

Sheteiwy, M.S., Ali, D.F.I., Xiong, Y.C., Brestic, M., Skalicky, M., Hamoud, Y.A., Ulhassan, Z., Shaghaleh, H., AbdElgawad, H., Farooq, M. Sharma, A., 2021. Physiological and biochemical responses of soybean plants inoculated with *Arbuscular mycorrhizal* fungi and Bradyrhizobium under drought stress. BMC Plant Biology. 21, 1-21. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02949-z

Soltani, E., Adeli, R., Akbari, G.A., Ramshini, H., 2017. Application of hydrotime model to predict early vigour of rapeseed (*Brassica napus* L.) under abiotic stresses. Acta Physiologiae Plantarum. 39, 1-11. https://doi.org/10.1007/s11738-017-2552-0

Sun, Y., Wang, J., Wang, Q., Wang, C., 2023. Responses of the growth characteristics of spinach to different moisture contents in soil under irrigation with magnetoelectric water. Agronomy. 13, p. 657. https://doi.org/10.3390/agronomy13030657

Tandzi, L.N., Bradley, G., Mutengwa, C., 2018. Morphological responses of maize to drought, heat and combined stresses at seedling stage. 19(1), 7-16. https://doi.org/10.3923/jbs.2019.7.16

Tashakorizadeh, M., Vahabi, M.R., Golkar, P. Mahdavian, K., 2022. The singular and combined effects of drought and copper stresses on the morphological traits, photosynthetic pigments, essential oils yield and copper concentration of *Fumaria parviflora* Lam. Industrial Crops and Products, 177, 114517. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114517

Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. Upadhyay, N., 2017. Salicylic acid to decrease plant stress. Environmental Chemistry Letters. 15, 101-123. https://doi.org/10.1007/s10311-016-0584-0

Wen, Z., Chen, Y., Liu, Z., Meng, J., 2022. Biochar and arbuscular mycorrhizal fungi stimulate rice root growth strategy and soil nutrient availability. European Journal of Soil Biology, 113, 103448. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2022.103448

Yang, W., Kang, J., Liu, Y., Guo, M. Chen, G., 2022. Effect of salicylic acid treatment on antioxidant capacity and endogenous hormones in winter jujube during shelf life. Food Chemistry, 397, 133788. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133788

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., Chen, S., 2021. Response mechanism of plants to drought stress. Horticulturae, 7, 50. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050

Yavuz, D., Kılıç, E., Seymen, M., Dal, Y., Kayak, N., Kal, Ü., Yavuz, N., 2022. The effect of irrigation water salinity on the morpho-physiological and biochemical properties of spinach under deficit irrigation conditions. Scientia Horticulturae. 304, 111272. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111272

Zaferanchi, S., Salmasi, S.Z., Salehi Lisar, S.Y. Sarikhani, M.R., 2019. Influence of organics and bio fertilizers on biochemical properties of *Calendula officinalis* L. International Journal

of Horticultural Science and Technology, 6, 125-136. https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.266831.258

Zainab, N., Amna, Khan, A.A., Azeem, M.A., Ali, B., Wang, T., Shi, F., Alghanem, S.M., Hussain Munis, M.F., Hashem, M. Alamri, S., 2021. PGPR-mediated plant growth attributes and metal extraction ability of *Sesbania sesban* L. in industrially contaminated soils. Agronomy, 11, 1820. https://doi.org/10.3390/agronomy11091820

Zhang, H., Zhao, Y. Zhu, J.K., 2020. Thriving under stress: how plants balance growth and the stress response. Developmental Cell. 55, 529-543. https://doi.org/10.1016/j.devcel.2020.10.012

Zubek, S., Mielcarek, S., Turnau, K., 2012. Hypericin and pseudohypericin concentrations of a valuable medicinal plant *Hypericum perforatum* L. are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza. 22, 149-156. https://doi.org/10.1007/s00572-011-0391-1

نسخه پیش از انتشار