Vol 28, No. 1, Spring 2026

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Improving Nutrient Uptake and Growth of Echinacea Purpurea by Combined Application of Biofertilizers and Salicylic Acid under Different Irrigation Regimes in Saline Soil Conditions

Mehdi Vatandoust[1] | Mehdi Madandoust[2]✉ | Majid Rajaie[3] | Mahmood Dejam[4]

1. Department of Agrotechnology, Fa.C., Islamic Azad University, Fasa, Iran. E-mail: mehdi.vatandoust@iau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Fa.C., Islamic Azad University, Fasa, Iran. E-mail: mehdi.madandoust@iau.ac.ir
3. Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran. E-mail: m.rajaei@areeo.ac.ir
4. Department of Agronomy, Fa.C., Islamic Azad University, Fasa, Iran. E-mail: mahmood.dejam52@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 11 June 2025
Received in revised form
18 August 2025
Accepted 23 February 2026
Published online 13 April 2026

Keywords:
Biological Yield
Mycorrhizal Fungi
Photosynthesis Rate
Pseudomonas fluorescens
Bacteria

ABSTRACT

Objective: Ameliorating resources (AR) play an important role in plant growth under environmental stress conditions by improving nutrient absorption and balancing physiological traits. The aim of this study was to investigate the nutrient absorption and physiological traits and growth of *Echinacea purpurea* with arbuscular mycorrhiza fungus (AMF), Pseudomonas fluorescens bacteria (PFB) and salicylic acid (SA) foliar application in a saline soil under drought stress.

Method: A field experiment was conducted as split plot in a randomized complete block design, during two consecutive years (2022 and 2023) with two harvests of *Echinacea purpurea*. The main factor was irrigation regimes included 25, 50, and 75% available water depletion (AWD) and the subfactor consisted of AR in eight levels including control (no AR), AMF, PFB, SA, AMF+ PFB, AMF+ SA, PFB+ SA and AMF+ PFB+ SA. The first, second and third irrigations were carried out based on the control irrigation treatment with 25% moisture depletion, for proper establishment of the seedlings. After the third irrigation, the other irrigation treatments were applied. Nutrient uptake, physiological traits, plant height, and above-ground biomass yield were measured.

Results: The results showed that in irrigation of 25 and 50% AWD, the highest leaf nitrogen and phosphorus were observed in AMF + PFB + SA. Also, the combination of AMF+ PFB+ SA increased leaf potassium by 16 and 30%, in irrigation of 50 and 75% AWD, respectively. The greenness index in irrigation regimes with 75% moisture depletion showed a 12.81% decrease compared to 25% moisture depletion. The highest greenness index value was observed in the combination of AMF+ PFB+ SA. Also, the dual combination of AR increased leaf relative water content and photosynthesis rate compared to the control. In the first and second harvest, chlorophyll b content decreased by 15 and 17%, respectively, at irrigation intervals of 75% AWD compared to 25% AWD. In the first and second harvest, biological yield in AMF+ PFB+ SA increased by 15 and 13%, respectively, compared to the control.

Conclusion: In general, due to the positive effects of AMF+ PFB+ SA on photosynthetic and yield indices of Echinacea, this treatment can be recommended under drought stress condition.

Cite this article: Vatandoust, M., Madandoust, M., Rajaie, M., & Dejam, M. (2026). Improving Nutrient Uptake and Growth of Echinacea Purpurea by Combined Application of Biofertilizers and Salicylic Acid under Different Irrigation Regimes in Saline Soil Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 28 (1), 21-37.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.395185.2938

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.395185.2938

دوره بیست و هشتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

بهبود جذب عناصر غذایی و رشد سرخارگل (*Echinacea purpurea*) با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و سالیسیلیک‌اسید تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط خاک شور

مهدی وطن‌دوست[۱] | مهدی مدن‌دوست[۲]✉ | مجید رجایی[۳] | محمود دژم[۴]

۱. گروه آگروتکنولوژی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران. رایانامه: mehdi.vatandoust@iau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران. رایانامه: mehdi.madandoust@iau.ac.ir

۳. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. رایانامه: m.rajaei@areeo.ac.ir

۴. گروه زراعت، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران. رایانامه: mahmood.dejam52@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۴

کلیدواژه‌ها:
باکتری سودوموناس
نرخ فتوسنتز
عملکرد بیولوژیک
قارچ مایکوریزا

چکیده

هدف: منابع اصلاح‌کننده با بهبود جذب عنصر غذایی و ایجاد تعادل در صفات فیزیولوژیکی نقش مهمی در رشد گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی دارند. هدف این پژوهش بررسی جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و رشد سرخارگل با قارچ مایکوریزا، باکتری سودوموناس و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در خاک شور تحت تنش خشکی می‌باشد.

روش پژوهش: این پژوهش به‌صورت اسپلیت‌پلات، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ و با دو برداشت طی دو سال در گیاه سرخارگل در نهالستان پژوهشی اداره منابع طبیعی شهرستان فسا، واقع در جنوب‌شرق استان فارس انجام شد. عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی از حد ظرفیت زراعی و عامل فرعی شامل منابع اصلاح‌کننده در هشت سطح شامل شاهد (بدون استفاده از منابع اصلاح‌کننده)، قارچ مایکوریزا آربوسکولار (AMF)، باکتری سودوموناس فلورسنس (PFB)، سالیسیلیک‌اسید (SA)، PFB + AMF، SA + AMF، SA + PFB، SA + PFB + AMF بود. آبیاری اول تا سوم برای استقرار مناسب نشاها، براساس تیمار آبیاری شاهد به‌صورت ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. پس از آبیاری سوم، سایر تیمارهای آبیاری اعمال شد. اندازه‌گیری صفات گیاهی شامل جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته و عملکرد بیوماس اندام هوایی بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، که در آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین نیتروژن و فسفر برگ در تلفیق SA + PFB + AMF مشاهده شد. هم‌چنین تلفیق SA + PFB + AMF، به‌ترتیب سبب افزایش ۱۶ و ۳۰ درصدی پتاسیم برگ در آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی شد. شاخص سبزینگی در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی ۱۲/۸۱ کاهش نشان داد. بیش‌ترین مقدار شاخص سبزینگی در تلفیق SA + PFB + AMF مشاهده شد. هم‌چنین تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ و نرخ فتوسنتز در مقایسه با شاهد شد. در چین اول و دوم محتوای کلروفیل b در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به ۲۵ تخلیه رطوبتی به‌ترتیب کاهش ۱۵ و ۱۷ درصدی نشان دادند. در چین اول و دوم عملکرد بیولوژیک در تلفیق SA + PFB + AMF در مقایسه با شاهد به‌ترتیب افزایش ۱۵ و ۱۳ درصدی نشان داد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی به‌دلیل اثرات مثبت تلفیق SA + PFB + AMF بر شاخص‌های فتوسنتزی و عملکردی سرخارگل می‌توان این تیمار را در شرایط تنش‌های خشکی توصیه کرد.

استناد: وطن‌دوست، مهدی؛ مدن‌دوست، مهدی؛ رجایی، مجید و دژم، محمود (۱۴۰۵). بهبود جذب عناصر غذایی و رشد سرخارگل (*Echinacea purpurea*) با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و سالیسیلیک‌اسید تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط خاک شور. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۱)، ۲۱-۳۷.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.395185.2938

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

سرخارگل که به خانواده کاسنیان[1] تعلق دارد به‌عنوان یک گیاه دارویی قابل کشت در دامنه وسیعی از نقاط جهان معرفی شده است (کایندشر[2]، ۲۰۱۶). به‌دلیل تقویت سیستم ایمنی، این گیاه دارویی اثرات قابل‌توجهی در بهبود برخی از بیماری‌ها دارد (بیلاح[3] و همکاران، ۲۰۱۹). گیاه سرخارگل دارای ترکیبات بیوشیمیایی مختلفی از جمله مشتقات فنلی است (کاو[4] و کایندشر[5]، ۲۰۱۶) که برخی از خواص درمانی این ترکیبات علاوه بر تقویت سیستم ایمنی شامل خواص آنتی‌میکروبی و آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. میزان غلظت مشتقات کافئیک‌اسید آن نیز بسته به گونه گیاه، مرحله رشد، نوع اندام و شرایط محیطی تغییر خواهد کرد (بیلاح و همکاران، ۲۰۱۹).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مشکلات هم‌زمان تنش خشکی و شوری سبب تأثیر منفی بر تولیدات کشاورزی می‌شود (سلیمن[6] و همکاران، ۲۰۲۱). بخشی از تنش‌های موجود به‌دلیل تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های مکرر است، که سبب تأثیر منفی بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و بهره‌وری گیاه می‌شود (اندرسون[7] و همکاران، ۲۰۲۰). تنش‌های محیطی ایجادشده می‌تواند رشدونمو گیاه را محدود کند و عملکرد را در محصولات زراعی کاهش دهد (زرین‌آبادی[8] و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش تخریب و به‌هم خوردگی ساختار غشای سلولی بخشی از اثرات مخرب ناشی از تنش شوری و خشکی می‌باشد (دسوکی[9] و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، کمیت و کیفیت گیاهان دارویی در شرایط تنش‌های محیطی دچار تغییر می‌شوند (اسلانی[10] و همکاران، ۲۰۲۳). البته به‌طور واضح مشخص نشده است که کدام عوامل نقش مهم‌تری در کاهش رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش محیطی را دارند (حیات[11] و همکاران، ۲۰۲۰). تلاش پژوهش‌گران برای بازیابی بهره‌وری گیاهان تحت تنش‌های محیطی سبب پیشرفت و چشم‌اندازهای جدیدی شده است (میشرا[12] و همکاران، ۲۰۲۱). براساس گزارش‌های اخیر پژوهش‌گران، افزایش تحمل گیاهان به تنش از طریق برخی از تغییرات در مکانیسم‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و هورمونی حاصل می‌شود (موچات[13] و همکاران، ۲۰۱۶). به‌تازگی، پژوهش‌گران در تلاش هستند تا با به‌کار گرفتن فناوری‌های جدید از جمله استفاده از منابع زیستی و تنظیم‌کننده‌های رشد بخشی از خسارت ناشی از تنش‌های محیطی را در گیاهان کاهش دهند (حیات و همکاران، ۲۰۲۰).

بخشی از چالش‌های عمده حال حاضر در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان کاهش بهره‌وری در تولید گیاهان دارویی به‌دلیل تنش‌های خشکی و شوری است. بنابراین، یافتن فن‌آوری‌های جدید برای بهبود رشد و تولید در چنین شرایطی اهمیت به‌سزایی دارد. تلفیق منابع زیستی و تنظیم‌کننده‌های رشد را می‌توان از جمله تکنیک‌های سازگار با محیط زیست برای کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی معرفی نمود. مدیریت بهتر منابع با استفاده همزمان از ترکیبات زیستی و تنظیم‌کننده‌های رشد بخشی از نوآوری این پژوهش خواهد بود، که می‌تواند در چشم‌انداز تولید

1. Asteracea
2. Kindscher
3. Billah
4. Cao
5. Kindscher
6. Seleiman
7. Anderson
8. Zarrinabadi
9. Desoky
10. Aslani
11. Hayat
12. Mishra
13. Muchate

سرخارگل در شرایط تنش شوری و خشکی مفید باشد. به‌تازگی، آزمایش‌های انجام شده به کاربردهای منفرد منابع اصلاح‌کننده نگاه کرده‌اند، اما شواهد کمی از اثرات هم‌افزایی آن‌ها وجود دارد. بنابراین هدف این پژوهش بررسی جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و رشد سرخارگل با قارچ مایکوریزا، باکتری سودوموناس و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در خاک شور تحت تنش خشکی می‌باشد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

بیش از سه دهه است، که جامعه علمی جهانی در حال آزمایش و شناسایی فناوری‌های ممکن برای کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی و شوری در گیاهان می‌باشد (حیات و همکاران، ۲۰۲۰). ترکیبات زیستی، به‌عنوان جزئی مهم از سیستم خاک می‌توانند نقش مهمی در افزایش تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی ایفا کنند (پروین[1] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است، که قارچ مایکوریزا آربوسکولار می‌تواند از طریق بهبود کارایی جذب آب و عناصر غذایی در گیاه میزبان سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی و یا شوری شود (بن لاوان و همکاران[2]، ۲۰۱۹). هم‌چنین تلقیح ریشه گیاه با باکتری سودوموناس فلورسنس، گیاهان را برای پاسخ سیستمیک با رونویسی ژن‌های تنظیم‌شده آماده می‌کند. ژن‌های تنظیم‌شده با متابولیسم فنیل آلانین و سایر فرایندهای کلیدی مرتبط با رشدونمو در شرایط تنش خشکی مرتبط هستند (مکی‌ریو[3] و همکاران، ۲۰۲۲). از راه‌کارهای دیگر جهت افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد می‌باشد (فرهنگی‌آبریز[4] و همکاران، ۲۰۱۹). سالیسیلیک‌اسید یکی از هورمون‌های گیاهی است که به‌تازگی موردتوجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. سیگنال‌دهی و تنظیم رونویسی ژن‌های دفاعی با استفاده از سالیسیلیک‌اسید می‌تواند سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی شود (ژانگ[5] و لی[6]، ۲۰۱۹). هم‌چنین تأثیر بر طیف گسترده‌ای از فرایندهای رشد، متابولیسم و سیستم‌های دفاعی از نقش‌های مهم سالیسیلیک‌اسید در گیاهان می‌باشد (اریف[7] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است، که تحت تنش خشکی، کاربرد سالیسیلیک‌اسید می‌تواند موجب افزایش رشد و بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی از جمله سرخارگل شود (درویژه[8] و همکاران، ۲۰۱۹).

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. طراحی آزمایش و تیمارها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در مزرعه نهالستان پژوهشی اداره منابع طبیعی شهرستان فسا، واقع در جنوب‌شرقی استان فارس با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ارتفاع ۱۳۷۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو برداشت طی دو سال از اندام هوایی سرخارگل اجرا گردید. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح شامل آبیاری پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی از حد ظرفیت مزرعه (عطارزاده[9] و همکاران، ۲۰۱۹) و عامل فرعی شامل منابع

1. Parvin
2. Ben Laouane
3. Mekureyaw
4. Farhangi-Abriz
5. Zhang
6. Li
7. Arif
8. Darvizheh
9. Attarzadeh

اصلاح‌کننده در هشت سطح شامل شاهد (بدون استفاده از منابع اصلاح‌کننده)، قارچ مایکوریزا آربوسکولار (AMF)، باکتری سودوموناس فلورسنس (PFB)، سالیسیلیک‌اسید (SA)، PFB+AMF، SA+AMF، SA+PFB، SA+PFB+AMF بود.

آبیاری اول تا سوم برای استقرار مناسب نشاها، براساس تیمار آبیاری شاهد به‌صورت ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. پس از آبیاری سوم، سایر تیمارهای آبیاری اعمال شد.

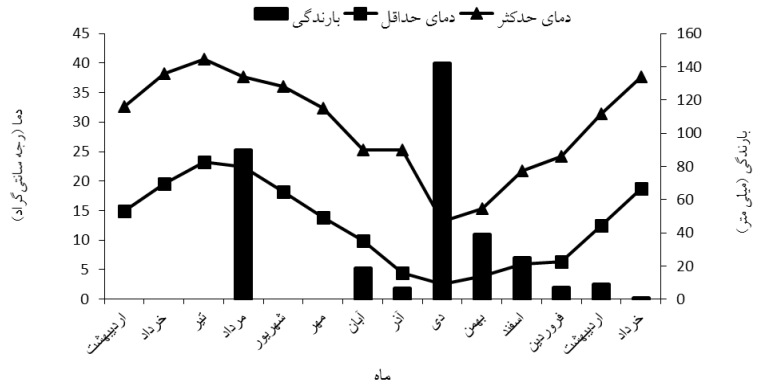
۳. ۲. اجرای آزمایش

پیش از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک براساس جدول (۱) گزارش شده است. آب آبیاری نیز با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و pH ۷/۱ مصرف شد. اطلاعات هواشناسی در محل اجرای آزمایش به‌شرح شکل (۱) بود. قبل از کاشت عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل شخم، دیسک و آماده‌سازی بستر کشت انجام شد. کاشت نشاها در هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به‌طول ۳ متر بود. فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود (عطارزاده و همکاران، ۲۰۱۹). فواصل بین کرت‌های اصلی ۲ متر، کرت‌های فرعی ۱ متر و بین هر بلوک ۲ متر بود. طبق روش عطارزاده و همکاران (۲۰۱۹) نشاهای ۹۰ روزه سرخارگل تهیه شدند و کاشت در اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۱ صورت گرفت. سوپرفسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم هر یک به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و به‌صورت پیش کاشت مصرف شد. نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در سه تقسیط مساوی و در سه مرحله قبل از کاشت، قبل از ساقه‌دهی و قبل از گل‌دهی مصرف شد. باکتری سودوموناس فلورسنس سویه P-169 طبق روش بورد[1] و همکاران (۲۰۰۰) تهیه شد. ریشه سرخارگل به‌مدت ۲۰ دقیقه در سوسپانسیون سویه باکتری فرو برده شد و سپس برای کاشت به مزرعه انتقال یافت. هم‌چنین قبل از کاشت ۵ گرم از مایه تلقیح سودوموناس حاوی هر گرم 10^7 باکتری زنده و فعال به خاک اطراف هر گیاه اضافه شد (قورچیانی[2] و همکاران، ۲۰۱۳). قارچ مایکوریزا آربوسکولار از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور ایران تهیه و مقدار ۵ گرم از این قارچ حاوی هر گرم ۱۵۰ اسپور زنده به خاک اطراف هر بوته اضافه شد (عطارزاده و همکاران، ۲۰۱۹). محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در سه مرحله گیاهچه‌ای، ساقه‌دهی و گل‌دهی انجام گرفت (مرادی[3] و همکاران، ۲۰۲۳). وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد در چند نوبت و به‌صورت دستی و انجام شد. تیمارهای آبیاری طبق روش عطارزاده و همکاران (۲۰۱۹) اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل‌استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی و از طریق نمونه‌گیری های مکرر و روزانه خاک در وسط هر کرت انجام شد تا رطوبت تخلیه‌شده مشخص گردد. مقدار آب مصرفی برای هر کرت با درنظرگرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه محاسبه شد. آبیاری هر تیمار تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی ادامه یافت. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش (در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

سال	بافت	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	مس	آهن	روی	منگنز	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی
				میلی‌گرم بر کیلوگرم						(میلی‌گرم بر گرم)	
۱ (۱۴۰۱)	لوم	۵/۵۵	۷/۹۰	۰/۲۱	۵/۴	۰/۸۵	۳/۰	۲۱۸	۶/۱	۱	۴/۹
۲ (۱۴۰۲)	لوم	۵/۵۳	۷/۸۸	۰/۲۱	۵/۶	۰/۸۴	۳/۱	۲۱۷	۶/۳	۱	۵/۰

1. Burd
2. Ghorchiani
3. Moradi



شکل ۱. اطلاعات هواشناسی در محل اجرای آزمایش

۳. ۳. اندازه‌گیری صفات گیاهی

۳. ۳. ۱. جذب عناصر غذایی

نیتروژن با دستگاه کجلدال مدل V40 اندازه‌گیری شد. فسفر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۷۰ نانومتر و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل G620 اندازه‌گیری شد.

۳. ۳. ۲. صفات فیزیولوژیکی

در اوایل صبح از هر تیمار برگ‌های کامل جوان انتخاب و صفات فیزیولوژیکی در مرحله‌ی ۵۰ درصد گل‌دهی اندازه‌گیری شد. محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از روش ویترلی[1] (۱۹۵۰) محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری شاخص سبزینگی[2]، پنج برگ از بخش‌های مختلف هر بوته انتخاب و با دستگاه SPAD-502 قرائت شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm) از دستگاه Chlorophyll Fluorimeter مدل Hansatech LTD Pocket PEA استفاده شد. میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش آرنون[3] (۱۹۴۹) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان آن‌ها با استفاده از روابط (۱) تا (۳) محاسبه شد. در روابط زیر V حجم نمونه، OD میزان جذب، W وزن تر نمونه است.

رابطه ۱) کلروفیل a = [12.7 (OD663) - 2.69 (OD645)] × V/1000W

رابطه ۲) کلروفیل b = [22.9 (OD645) - 4.68 (OD663)] × V/1000W

رابطه ۳) کلروفیل کل= [20.2 (OD645) - 8.02 (OD663)] × V/1000W

اندازه‌گیری خصوصیات نرخ فتوسنتز با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر مدل LCA4-002 انجام گرفت.

۳. ۳. ۳. ارتفاع بوته و عملکرد بیوماس اندام هوایی

در هر برداشت اندازه‌گیری ارتفاع بوته و عملکرد بیوماس اندام هوایی در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیوماس اندام هوایی در هر کرت برداشت از ردیف‌های وسط با مساحتی معادل ۱ مترمربع صورت گرفت.

1. Weatherely
2. Spad
3. Arnon

۳. ۴. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام گرفت. آزمون بارتلت روی کلیه صفات موردبررسی انجام شد. هنگامی‌که واریانس خطای صفات در دو سال متوالی با یکدیگر همگون بود، مقایسه میانگین این صفات به‌صورت تجزیه مرکب صورت گرفت و آزمون F با فرض تصادفی‌بودن سال‌ها براساس امید ریاضی میانگین مربعات انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت. در صورت معنی‌داربودن اثر متقابل، برش‌دهی عامل اصلی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. نیتروژن، فسفر و پتاسیم

نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال ۰/۰۱ تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، منابع اصلاح‌کننده و چین قرار گرفت. هم‌چنین برهم‌کنش آبیاری و منابع اصلاح‌کننده بر نیتروژن (در سطح ۰/۰۱)، فسفر و پتاسیم (در سطح ۰/۰۵) و برهم‌کنش چین و آبیاری روی نیتروژن (در سطح ۰/۰۵) و پتاسیم (در سطح ۰/۰۱) معنی‌داری بود (جدول ۲).

در آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین نیتروژن برگ در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین تلفیق دوگانه AMF با PFB و SA سبب افزایش نیتروژن برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۳). در آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، تلفیق سه‌گانه و دوگانه AMF، PFB و SA نسبت به شاهد و مصرف به‌تنهایی منابع اصلاح‌کننده افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در چین اول نیتروژن برگ در رژیم آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات رژیم‌های آبیاری و منابع اصلاح‌کننده بر عناصر و شاخص‌های فیزیولوژیک سرخارگل

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن برگ	فسفر برگ	پتاسیم برگ	محتوای رطوبت نسبی برگ	شاخص سبزینگی	فلورسنس کلروفیل	محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای کلروفیل کل	نرخ فتوسنتز	ارتفاع گیاه	عملکرد بیولوژیک
بلوک	۲	ns	*	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	ns	ns
رژیم‌های آبیاری	۲	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
بلوک× رژیم‌های آبیاری	۴	۰/۰۷۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۲۸	۴۸/۴۵	۳/۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۸۹	۰/۰۱۶	۰/۱۸۱	۰/۲۶۲	۹/۷۷	۲۰۴/۸
منابع اصلاح‌کننده	۷	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
رژیم‌های آبیاری× منابع اصلاح‌کننده	۱۴	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
بلوک× منابع اصلاح‌کننده	۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۳	۱۶/۰۰	۱۵/۵۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۶	۷/۲۵	۳۲۴/۰
برداشت	۱	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	ns	**	**
رژیم‌های آبیاری× برداشت	۲	*	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	**
بلوک× رژیم‌های آبیاری× برداشت	۶	۰/۰۹۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۵	۲۰/۴۸	۱۳/۸۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۲۵	۰/۰۵۸	۰/۵۹۳	۱۵/۹۶	۶۵۱/۱
منابع اصلاح‌کننده× برداشت	۷	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	*
رژیم‌های آبیاری× منابع اصلاح‌کننده× برداشت	۱۴	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
خطای آزمایش	۴۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۱۵/۲۲	۱۵/۸۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۳۵	۰/۰۴۷	۵/۹۴	۴۰۰/۱
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۸	۵/۲	۸/۹	۶/۹	۱۰/۵	۷/۶	۶/۷	۵/۵	۶/۰	۱۱/۴	۱۳/۴	۱۲/۴

**، * و ns: به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

جدول ۳. برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و منابع اصلاح‌کننده بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ سرخارگل (میانگین دو برداشت)

تخلیه رطوبتی	منابع اصلاح‌کننده	نیتروژن برگ	فسفر برگ	پتاسیم برگ
		(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)		
۲۵ درصد	شاهد	e۲۱/۰	c۱/۹۲	c۰/۹۴۱
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	cd۲۱/۸	cd۲/۰۰	bc۱/۰۲
	باکتری سودوموناس فلورسنس	de۲۱/۴	cd۲/۰۰	bc۰/۹۸۱
	سالیسیلیک‌اسید	de۲۱/۳	de۱/۹۳	c۰/۹۴۷
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس	b۲۲/۴	ab۲/۰۸	ab۱/۰۶
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ سالیسیلیک‌اسید	bc۲۲/۲	ab۲/۰۸	ab۱/۰۶
	باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	b۲۲/۴	bc۲/۰۳	bc۱/۰۱
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	a۲۳/۰	a۲/۱۳	a۱/۱۳
۵۰ درصد	شاهد	d۲۰/۲	c۱/۸۳	c۰/۹۱۷
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	bc۲۱/۲	b۱/۹۵	bc۰/۹۴۴
	باکتری سودوموناس فلورسنس	bc۲۱/۱	b۱/۹۵	bc۰/۹۵۵
	سالیسیلیک‌اسید	cd۲۰/۵	c۱/۸۳	c۰/۹۱۴
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس	ab۲۱/۷	ab۲/۰۴	b۰/۹۹۴
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ سالیسیلیک‌اسید	b۲۱/۵	ab۲/۰۴	b۰/۹۹۶
	باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	bc۲۱/۲	b۲/۰۱	b۰/۹۹۰
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	a۲۲/۴	a۲/۱۳	a۱/۰۶
۷۵ درصد	شاهد	b۱۷/۸	c۱/۵۶	c۰/۸۰۵
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	b۱۸/۸	c۱/۶۶	c۰/۸۵۲
	باکتری سودوموناس فلورسنس	b۱۸/۱	c۱/۶۶	c۰/۹۵۱
	سالیسیلیک‌اسید	b۱۸/۰	c۱/۶۱	c۰/۸۳۲
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس	a۲۱/۸	b۱/۹۰	b۰/۹۵۷
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ سالیسیلیک‌اسید	a۲۱/۵	b۱/۹۱	ab۰/۹۹۵
	باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	a۲۱/۴	b۱/۹۱	b۰/۹۵۳
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	a۲۱/۴	a۲/۰۹	a۱/۰۵۰

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارد.

در آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین فسفر برگ (۰/۲۱۳ درصد) در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد که نسبت به تلفیق دوگانه این تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). در آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، تلفیق سه‌گانه SA+PFB+AMF و پس از آن تلفیق دوگانه این تیمارها سبب افزایش نیتروژن برگ در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳).

در آبیاری ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین پتاسیم برگ به میزان ۱/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۳). در آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، تلفیق SA+PFB+AMF به‌ترتیب سبب افزایش پتاسیم برگ به مقدار ۰/۱۴۳ و ۰/۲۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ در مقایسه با شاهد شد. هم‌چنین تلفیق دوگانه و سه‌گانه AMF با PFB و یا SA سبب افزایش پتاسیم برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۳). در چین اول و دوم پتاسیم برگ در رژیم آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

۴. ۲. محتوای نسبی آب برگ

آبیاری، منابع اصلاح‌کننده و چین در سطح احتمال ۰/۰۱ محتوای نسبی آب برگ را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد، اما برهم‌کنش عوامل آزمایشی روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ٤. مقایسه میانگین برهم‌کنش برداشت و رژیم‌های آبیاری بر نیتروژن و پتاسیم برگ، محتوای کلروفیل b ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک سرخارگل

برداشت	تخلیه رطوبتی	نیتروژن برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	پتاسیم برگ	محتوای کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
۱ (۱۴۰۱)	۲۵ درصد	۲۱/۱a	۱/۰۲a	۰/۹۵۵a	۳۴/۷۸a	۲۷۷/۸a
	۵۰ درصد	۲۰/۹a	۰/۹۶۵ab	۰/۹۰۸a	۳۳/۲۶b	۲۷۰/۷a
	۷۵ درصد	۱۹/۵b	۰/۸۸۳b	۰/۸۰۷b	۳۱/۱۸c	۲۵۴/۲b
۲ (۱۴۰۲)	۲۵ درصد	۲۲/۸a	۱/۰۲a	۱/۰۴a	۸۰/۵۰a	۶۵۴/۲a
	۵۰ درصد	۲۱/۵a	۰/۹۷۶a	۱/۰۰a	۷۶/۰۷b	۶۳۶/۰b
	۷۵ درصد	۲۰/۲a	۰/۹۴۴b	۰/۸۶۰b	۷۵/۶۰c	۶۰۱/۹c

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارد.

محتوای نسبی آب برگ در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ تخلیه رطوبتی کاهش ۱۳ درصدی نشان داد (جدول ۳). بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۶۱/۶۰ درصد) در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین مصرف منفرد قارچ مایکوریزا و تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده توانست سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در سرخارگل نسبت به شاهد شود (جدول ۶). محتوای نسبی آب برگ در چین دوم نسبت به چین اول افزایش ۲ درصدی نشان داد (جدول ۷).

۴. ۳. شاخص سبزینگی و فلورسنس کلروفیل

آبیاری و منابع اصلاح‌کننده شاخص سبزینگی و فلورسنس کلروفیل را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد، اما اثر چین فقط روی شاخص سبزینگی معنی‌دار بود (جدول ۲).

شاخص سبزینگی در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی ۱۲/۸۱ کاهش نشان داد (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار شاخص سبزینگی در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده و مصرف به‌تنهایی قارچ مایکوریزا سبب افزایش شاخص سبزینگی در مقایسه با شاهد شد (جدول ۶). شاخص سبزینگی در چین دوم نسبت به چین اول افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۷).

فلورسنس کلروفیل در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی کاهش ۱۸ درصدی نشان داد (جدول ۵). تلفیق SA+PFB+AMF سبب افزایش ۱۸ درصدی فلورسنس کلروفیل در مقایسه با شاهد شد (جدول ۶). هم‌چنین تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده و مصرف به‌تنهایی مایکوریزا و سودوموناس فلورسنس سبب افزایش فلورسنس کلروفیل نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

جدول۵. مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر محتوای رطوبت نسبی، شاخص سبزینگی، فلوسنس کلروفیل، محتوای کلروفیل a کل و نرخ فتوسنتز سرخارگل

تخلیه رطوبتی	محتوای رطوبت نسبی (درصد)	شاخص سبزینگی	فلورسنس کلروفیل (FV/FM)	محتوای کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	نرخ فتوسنتز (میکرومول بر متر بر ثانیه)
۲۵ درصد	۶۱/۲۵a	۴۲/۹۲a	۰/۶۵۲a	۲/۳۷a	۱/۰۰a	۵/۲۸a
۵۰ درصد	۵۸/۷۱a	۴۰/۲۸b	۰/۶۳۰b	۲/۲۵a	۰/۹۵۶a	۵/۰۹a
۷۵ درصد	۴۸/۲۵b	۳۰/۱۱c	۰/۵۳۷c	۱/۹۷b	۰/۸۳۴b	۴/۴۴b

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارد.

جدول ٦. مقایسه میانگین اثر منابع اصلاح‌کننده بر محتوای رطوبت نسبی، شاخص سبزینگی، فلورسنس کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کل سرخارگل

منابع اصلاح‌کننده	محتوای رطوبت نسبی (درصد)	شاخص سبزینگی	فلورسنس کلروفیل (FV/FM)	محتوای کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)
شاهد	۵۱/۸۱d	۳۳/۳۷d	۰/۵۶۳f	۲/۰۶d	۰/۸۵۱e	۲/۹۱e
قارچ مایکوریزا آربوسکولار	۵۵/۸۰bc	۳۷/۳۶bc	۰/۵۹۸cde	۲/۱۷bcd	۰/۹۱۰cd	۳/۰۸cd
باکتری سودوموناس فلورسنس	۵۳/۹۹cd	۳۵/۵۶cd	۰/۵۸۹de	۲/۱۵cd	۰/۸۹۵d	۳/۰۴cde
سالیسیلیک‌اسید	۵۴/۰۳cd	۳۵/۶۰cd	۰/۵۸۱ef	۲/۰۹d	۰/۸۸۰de	۲/۹۷de
قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس	۵۷/۹۳b	۳۹/۵۰b	۰/۶۲۸b	۲/۲۸b	۰/۹۶۵b	۳/۲۴b
قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ سالیسیلیک‌اسید	۵۶/۲۴bc	۳۸/۰۰bc	۰/۶۰۷bcd	۲/۱۸bcd	۰/۹۳۸bc	۳/۱۲bcd
باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	۵۷/۴۳b	۳۹/۲۷b	۰/۶۲۱bc	۲/۲۲bc	۰/۹۵۳b	۳/۱۷bc
قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	۶۱/۶۰a	۴۳/۴۹a	۰/۶۶۵a	۲/۴۳a	۱/۰۵a	۳/۴۸a

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارد.

۴. ۴. محتوای کلروفیل و نرخ فتوسنتز

محتوای کلروفیل a، b، کل و نرخ فتوسنتز سرخارگل در سطح احتمال ۰/۰۱ تحت تأثیر آبیاری و منابع اصلاح‌کننده قرار گرفتند، اما اثر چین فقط روی محتوای کلروفیل a، b و کل (در سطح احتمال ۰/۰۱) معنی‌دار بود. هم‌چنین برهم‌کنش چین و آبیاری روی محتوای کلروفیل b (در سطح ۰/۰۵) و برهم‌کنش چین و منابع اصلاح‌کننده روی نرخ فتوسنتز (در سطح ۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲).

رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش محتوای کلروفیل a به مقدار ۰/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در مقایسه با ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی شد (جدول ۵). از سوی دیگر، بیش‌ترین محتوای کلروفیل a (۲/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین تلفیق دوگانه PFB+AMF و SA+PFB توانست سبب افزایش محتوای کلروفیل a در سرخارگل نسبت به شاهد شود (جدول ۶). محتوای کلروفیل a در چین دوم نسبت به چین اول افزایش ۷ درصدی نشان داد (جدول ۷).

جدول ۷. اثر برداشت بر محتوای رطوبت نسبی، شخص سبزینگی، محتوای کلروفیل a و کل سرخارگل

برداشت	محتوای رطوبت نسبی (درصد)	شاخص سبزینگی	محتوای کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)
۱ (۱۴۰۱)	۵۴/۹۹b	۳۶/۷۲b	۲/۱۲b	۰/۸۹۰b
۲ (۱۴۰۲)	۵۷/۲۲a	۳۸/۸۲a	۲/۲۷a	۰/۹۷۰a

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارد.

محتوای کلروفیل b در تلفیق SA+PFB+AMF نسبت به شاهد افزایش ۲۳ درصدی نشان داد (جدول ۶). هم‌چنین تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده و مصرف به‌تنهایی مایکوریزا و سودوموناس فلورسنس سبب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل b نسبت به شاهد شدند (جدول ۶). در چین اول و دوم محتوای کلروفیل b در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به ۲۵ تخلیه رطوبتی به‌ترتیب کاهش ۱۵ و ۱۷ درصدی نشان دادند (جدول ۴).

محتوای کلروفیل کل در رژیم‌های آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری نشان ندادند، اما رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش آن شد (جدول ۵). از سوی دیگر بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل (۳/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده و مصرف به‌تنهایی قارچ مایکوریزا توانست سبب افزایش محتوای کلروفیل کل در سرخارگل نسبت به شاهد شود (جدول ۶). محتوای کلروفیل کل در چین دوم نسبت به چین اول افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۷).

رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش ۱۶ درصدی نرخ فتوسنتز در مقایسه با ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی شد (جدول ۵). در چین اول و دوم، بیش‌ترین نرخ فتوسنتز به‌ترتیب به میزان ۵/۱۵ و ۵/۴۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در تلفیق SA+PFB+AMF مشاهده شد (جدول ۸). هم‌چنین تلفیق دوگانه منابع اصلاح‌کننده سبب افزایش نرخ فتوسنتز در هر دو چین شد. در چین دوم نرخ فتوسنتز در مصرف به‌تنهایی منابع اصلاح‌کننده با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۸).

۴. ۵. ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک

تأثیر آبیاری، منابع اصلاح‌کننده و چین روی ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌داری بود. هم‌چنین برهم‌کنش چین و آبیاری روی ارتفاع (سطح ۰/۰۵) و عملکرد بیولوژیک (سطح ۰/۰۱) برهم‌کنش چین و منابع اصلاح‌کننده روی ارتفاع (سطح ۰/۰۱) و عملکرد بیولوژیک (سطح ۰/۰۵) این صفات معنی‌دار بود (جدول ۲).

در چین اول و دوم ارتفاع بوته در رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به ۲۵ تخلیه رطوبتی به‌ترتیب کاهش ۳/۶ و ۴/۹ سانتی‌متر نشان دادند (جدول ۴). از سوی دیگر، در چین اول و دوم، ارتفاع بوته در تلفیق منابع اصلاح‌کننده نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۲۰ و ۱۵ درصدی نشان دادند (جدول ۸). در چین دوم ارتفاع بوته در تلفیق سه‌گانه منابع اصلاح‌کننده با تلفیق دوگانه تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین برهم‌کنش برداشت و منابع اصلاح‌کننده بر نرخ فتوسنتز، ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک سرخارگل

برداشت	منابع اصلاح‌کننده	نرخ فتوسنتز (میکرومول بر متر بر ثانیه)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	عملکرد بیواوژیک (کیلوگرم بر هکتار)
	شاهد	۴/۸۳d	۳۰/۲۰f	۲۵۱/۰c
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	۴/۹۳bc	۳۲/۰۰de	۲۶۰/۴bc
	باکتری سودوموناس فلورسنس	۴/۸۸cd	۳۲/۴۴cde	۲۵۹/۲bc
۱	سالیسیلیک‌اسید	۴/۸۷cd	۳۱/۶۱ef	۲۵۸/۷bc
(۱۴۰۱)	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس	۴/۹۷b	۳۴/۶۵ab	۲۷۳/۸b
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ سالیسیلیک‌اسید	۴/۹۷b	۳۳/۵۱bcd	۲۷۳/۵b
	باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	۴/۹۷b	۳۴/۰۵bc	۲۷۳/۸b
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	۵/۱۵a	۳۶/۱۳a	۲۸۹/۸a
	شاهد	۴/۶۱d	۷۱/۷۸c	۵۹۲/۱d
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	۴/۸۴bcd	۷۵/۱۸b	۶۱۷/۸c
	باکتری سودوموناس فلورسنس	۴/۷۸cd	۷۴/۱۲bc	۶۰۸/۶cd
۲	سالیسیلیک‌اسید	۴/۷۰d	۷۴/۷۱bc	۶۰۷/۵cd
(۱۴۰۲)	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس	۵/۱۵ab	۸۰/۷۱a	۶۲۵/۵ab
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ سالیسیلیک‌اسید	۴/۸۸bcd	۷۹/۸۸a	۶۵۱/۸ab
	باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	۵/۰۸bc	۸۰/۱۲a	۶۴۶/۷b
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار+ باکتری سودوموناس فلورسنس+ سالیسیلیک‌اسید	۵/۴۰a	۸۲/۷۰a	۶۷۰/۴a

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارد.

با افزایش تنش خشکی عملکرد بیولوژیک روند کاهشی را نشان داد، به‌طوری‌که در چین اول و دوم، رژیم‌های آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی در مقایسه با ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش ۲۳/۶ و ۵۲/۳ کیلوگرم عملکرد بیولوژیک شد (جدول ۴). در چین اول و دوم عملکرد بیولوژیک در تلفیق SA+PFB+AMF در مقایسه با شاهد به‌ترتیب افزایش ۱۵ و ۱۳ درصدی نشان داد (جدول ۸). تلفیق دوگانه AMF، PFB و SA سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در هر دو برداشت شد. در چین دوم مصرف منفرد قارچ مایکوریزا، سبب افزایش ۴ درصدی عملکرد بیولوژیک سرخارگل در مقایسه با شاهد شد (جدول ۸).

۵. بحث

تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی و شوری جذب عناصر غذایی گیاهان را مختل می‌کند (سئود[1] و همکاران، ۲۰۲۰). تنش‌های محیطی از طریق کاهش انتقال عناصر از خاک به‌درون ریشه و آوندهای گیاه، محتوای عناصر غذایی را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد (ضیا[2] و همکاران، ۲۰۲۱). با این‌حال، استفاده از منابع اصلاح‌کننده، بالاخص به‌صورت تلفیق، به‌طور قابل‌توجهی کاهش جذب عناصر غذایی ناشی از تنش خشکی را جبران کرد. یافته‌های ما در مورد جذب عناصر غذایی به‌کمک قارچ مایکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده فسفر به‌عنوان کودهای بیولوژیکی با نتایج بگوم[3] و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. با توجه به دانش فعلی، کودهای زیستی مثل قارچ مایکوریزا با مکانیسم‌های مختلفی مثل سیگنال‌دهی هورمونی و بیان ژن‌های کلیدی برای آنزیم‌های درگیر در جذب و متابولیسم عناصر غذایی سبب جذب کارآمد عناصر غذایی می‌گردند (میترا[4] و همکاران، ۲۰۲۳). هم‌چنین گزارش شده است، که سالیسیلیک‌اسید با تنظیم فعالیت پمپ H^+ATP_{ase} و ژن‌های دخیل، جذب برخی عناصر غذایی را تسهیل می‌کند (قاسمی گلعذانی[5] و عبدلی[6]، ۲۰۲۱).

استفاده از تلفیق منابع اصلاح‌کننده سبب تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش شدید خشکی و بهبود محتوای نسبی آب برگ در سرخارگل شد. احتمالاً کاربرد کودهای زیستی مثل قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد با بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و تعادل در هورمون‌های گیاهی سبب افزایش جذب آب از ریشه می‌گردند (یاسمین[7] و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی، دسترسی به آب را بهتر فراهم کرده و در نتیجه آسیب‌های ناشی از تنش خشکی را کاهش می‌دهد (عطارزاده و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید با القای بیان ژن‌های خاص و تأثیر مثبت آن بر یکپارچگی غشای سلولی سبب کاهش خسارت تنش می‌گردند (سلیم[8] و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین دور از انتظار نیست، که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل سالیسیلیک‌اسید سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیک از جمله محتوای نسبی آب برگ شود.

استفاده از منابع اصلاح‌کننده منجر به بهبود شاخص سبزینگی و فلورسنس کلروفیل شد، که نشان‌دهنده افزایش در ظرفیت و کارایی فتوسنتز می‌باشد. فلورسانس کلروفیل فرایندی است که در آن کلروفیل (رنگدانه سبز موجود در گیاهان) پس از جذب نور، مقداری از انرژی نور را به شکل نور فلورسانس بازتاب می‌کند. این فرایند یک ابزار غیرمخرب برای ارزیابی کارایی فتوسنتزی و وضعیت فتوسنتزی گیاهان است و به‌طور گسترده در ارزیابی واکنش گیاهان به تنش‌های

1. Zia
2. Saud
3. Begum
4. Mitra
5. Ghassemi-Golezani
6. Abdoli
7. Yasmeen
8. Saleem

مختلف استفاده می‌شود. نتایج این آزمایش فرضیه اثرات مثبت تلفیق منابع اصلاح‌کننده را نسبت به‌مصرف به‌تنهایی آن‌ها را مورد تأیید قرار داد. استفاده از تلفیق منابع اصلاح‌کننده تحت تنش‌های محیطی به‌دلیل حفظ ظرفیت‌های سوخت‌وساز و فعالیت‌های فیزیولوژیکی برای گیاه نقش حفاظتی دارد (یاسمین و همکاران، ۲۰۱۹). در واقع، تلفیق قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد با بهبود جذب عناصر غذایی و ایجاد تعادل در صفات فیزیولوژیک تا حدودی از عوارض تنش می‌کاهد (کریمی[1] و نوری[2]، ۲۰۲۲). هم‌چنین استفاده از سالیسیلیک‌اسید با تأثیر روی برخی خصوصیات فیزیولوژیک مثل اسمولیت‌های سازگار و دفاع آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش آسیب غشای سلولی و بهبود ساختار فتوسنتزی گیاه می‌شود (اشرف[3] و همکاران، ۲۰۱۰). گزارش شده است که تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل سالیسیلیک‌اسید می‌تواند با افزایش رسانایی روزنه‌ای و غلظت CO_2 بین سلولی تحت تنش، شاخص‌های فتوسنتزی گیاهان را به حداکثر رساند (ایکبال[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

با افزایش شدت تنش خشکی از میزان محتوای کلروفیل برگ گیاه سرخارگل کاسته شد. در واقع حمله رادیکال‌های آزاد عاملی برای کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی عنوان شده است (خراسانی‌نژاد[5] و همکاران، ۲۰۱۸). تنظیم سیگنال‌های هورمونی با استفاده از منابع اصلاح‌کننده مانند قارچ مایکوریزا که تشکیل کلروپلاست را تقویت می‌کنند، ممکن است به‌طور بالقوه با جذب آب و عناصر غذایی ربط داشته باشد (سون[6] و همکاران، ۲۰۲۲). می‌توان گفت، که در این پژوهش تلفیق منابع اصلاح‌کننده سبب بهبود جذب عناصر غذایی و از جمله نیتروژن و افزایش سنتز کلروفیل شده است. پژوهش‌گران اظهار داشتند، که افزایش غلظت نیتروژن برگ و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو سبب سنتز بیش‌تر کلروفیل برگ می‌گردد (یانگ[7] و همکاران، ۲۰۲۲). جذب عناصر غذایی سبب حفظ تثبیت کربن‌دی‌اکسید، فتوسنتز بیش‌تر و محافظت از کلروپلاست در شرایط تنش‌های محیطی می‌گردد (عطارزاده و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه تحت تنش‌های محیطی به‌دلیل حفظ ظرفیت‌های سوخت‌وساز و فعالیت‌های فیزیولوژیکی برای گیاه نقش حفاظتی دارد. به‌طوری‌که باعث حفظ فتوسنتز، سنتز آنزیم‌ها و رشد گیاه در شرایط نامساعد می‌شود و به‌نوعی سپر دفاعی عمل می‌کند. در نتیجه موجب می‌شود گیاه تنش را تحمل کرده، آسیب کم‌تری ببیند و در نهایت عملکرد بهتری در دانه و بیوماس به‌همراه داشته باشد (فرهنگی آبریز[8] و قاسمعی گلعذانی[9]، ۲۰۱۸) و در نهایت گزارش شده است، که تأثیر سالیسیلیک‌اسید روی مسیر سیگنالینگ وابسته به NPR_1 و ژن‌های مرتبط یک فرایند یکپارچه برای بهبود ظرفیت فتوسنتزی تحت تنش خشکی است (لی[10] و همکاران، ۲۰۱۹).

در شرایط هم‌زمان تنش شوری و خشکی، به‌دلیل کاهش جذب آب و عناصر غذایی، فتوسنتز کاهش یافته و در نتیجه رشد گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (بیشت[11] و همکاران، ۲۰۲۵). بنابراین با افزایش تخلیه آب قابل‌استفاده هم‌زمان با تنش شوری، تولیدات فتوسنتزی و عملکرد بیولوژیک در سرخارگل کاهش یافته است. به‌دلیل سازگارشدن گیاه با شرایط محیطی، گستردگی ریشه و اختلاف در وضعیت آب‌وهوایی عملکرد بیولوژیک در چین دوم بیش‌تر از چین اول بوده است.

1. Karimi
2. Noori
3. Ashraf
4. Iqbal
5. Khorasaninejad
6. Sun
7. Yang
8. Farhangi-Abriz
9. Ghassemi-Golezani
10. Lee
11. Bisht

پژوهش‌گران گزارش کردند، که قارچ مایکوریزا و باکتری سودوموناس فلورسنس عملکرد بیولوژیک سرخارگل را در شرایط تنش خشکی از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی افزایش می‌دهند (عطارزاده و همکاران، ۲۰۲۰). ترکیبات زیستی ممکن است رشد و عملکرد بیولوژیک را تحت شرایط هم‌زمان تنش شوری و خشکی از طریق ایجاد تعادل در تنظیم‌کننده‌های رشد و میزان فعالیت آنزیمی بهبود بخشند (جابوروا[1] و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌چنین استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد، مثل سالیسیلیک‌اسید به‌دلیل بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تأثیر مثبتی بر رشد گیاه دارد (چیشتی[2] و همکاران، ۲۰۲۴). نتایج این آزمایش فرضیه بهبود عملکرد گیاه را از طریق هم‌افزایی منابع اصلاح‌کننده مورد تأیید قرار داد. بهبود رشد و عملکرد بیولوژیک با تلفیق منابع اصلاح‌کننده توسط سایر پژوهش‌گران گزارش شده است (رازا[3] و همکاران، ۲۰۲۱).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد، که منابع اصلاح‌کننده به‌کاررفته در این آزمایش نقش مهمی در پاسخ گیاه سرخارگل به تنش خشکی دارند. این تأثیرات پیچیده هستند و از طریق جذب آب، عناصر غذایی و بیان ژن‌های مؤثر در پاسخ به تنش خشکی اعمال می‌گردند. استفاده از منابع اصلاح‌کننده منجر به تعادل در شاخص سبزینگی و کلروفیل فلورسنس شد که نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجهی در محتوای کلروفیل و نرخ فتوسنتز می‌باشد، به‌طوری‌که کاهش شاخص سبزینگی و کلروفیل فتوسنتز حاصل از تنش خشکی با استفاده از منابع اصلاح‌کننده جبران خواهد شد. مصرف هر یک از منابع اصلاح‌کننده به‌تنهایی تأثیر کمی بر رشد و عملکرد بیولوژیک داشت، اما تلفیق دوگانه و سه‌گانه این منابع تأثیر مثبت و معنی‌داری روی صفات فیزیولوژیک و رشدی گیاه گذاشتند. در نتیجه، تنظیم شاخص‌های فتوسنتزی و به‌دنبال آن بهبود رشد و عملکرد گیاه به‌عنوان یک پاسخ تطبیقی مهم برای افزایش تحمل به تنش‌های محیطی می‌تواند در پیش‌بینی و اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی راه‌گشا باشد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس که صمیمانه در انجام این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

Anderson, R., Bayer, P.E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current opinion in Plant Biology*, *56*, 197-202.

Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental and Experimental Botany*, *175*, 10404

1. Jabborova
2. Chishti
3. Raza

Arnon, D. E. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology*, *24*, 1-15.

Ashraf, M., Akram, N., Arteca, R., & Foolad, M.R. (2010). The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *29*, 162-190.

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.

Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M.M., & Salehi, A. (2019). Improvement of Echinacea purpurea performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, *221*, 238-247.

Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M.M., & Salehi, A. (2020). Improving growth and phenolic compounds of Echinacea purpurea root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*, *154*, 112763.

Begum, N., Akhtar, K., Ahangar, M., Igbal, M., Wang, P., Mustafa, N. S., & Zhang, L. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, essential oil, secondary metabolism, and yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under drought stress conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 45276-45295.

Ben Laouane, R., Meddich, A., Bechtaoui, N., Oufdou, K., & Wahbi, S. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia symbiosis on the tolerance of *Medicago sativa* to salt stress. *Gesunde Pflanzen*, *71*, 135-146.

Billah, M.M., Hosen, M.B., Khan, F., & Niaz, K. (2019). Echinacea, Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements. Elsevier, United Kingdom. http://10.1016/B978-0-12-812491-8.00029-1

Bisht, N., Singh, T., Ansari, M., Joshi, H., Mishra, S.K., & Chauhan, P.S. (2025). Plant growth-promoting Bacillus amyloliquefaciens orchestrate homeostasis under nutrient deficiency exacerbated drought and salinity stress in *Oryza sativa* L. seedlings. *Planta*, *261*, 1-19.

Burd, G.I., Dixon, D.G., & Glick, B.R. (2000). Plant growth promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Canadian Journal of Microbiology*, *46*, 237-245.

Cao, C., & Kindscher, K., (2016). The medicinal chemistry of Echinacea species. Echinacea: Herbal Medicine with a Wild History, 127-145.

Chishti, A.S., Uddin, M., Singh, S., Singh, S., Bhat, U.H., & Khan, M.M.A. (2024). Exogenous application of salicylic acid and putrescine triggers physiological and biochemical changes in plants to improve growth and bioactive constituents of *Ammi majus* L. *Fitoterapia*, *178*, 106148.

Darvizheh, H., Zahedi, M., Abbaszadeh, B., & Razmjoo, J. (2019). Changes in some antioxidant enzymes and physiological indices of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in response to water deficit and foliar application of salicylic acid and spermine under field condition. *Scientia horticulturae*, *247*, 390-399.

Desoky, E.-S.M., Saad, A.M., El-Saadony, M.T., Merwad, A.-R.M., & Rady, M.M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *30*, 101878.

Farhangi-Abriz, S., Alaee, T., & Tavasolee, A. (2019). Salicylic acid but not jasmonic acid improved canola root response to salinity stress. *Rhizosphere*, *9*, 69-71.

Ghassemi-Golezani, K., & Abdoli, S. (2021). Improving ATPase and PPase activities, nutrient uptake and growth of salt stressed ajowan plants by salicylic acid and iron-oxide nanoparticles. *Plant Cell Reports*, *40*, 559-573.

Ghorchiani, M., Akbari, G., Alikhani, H., Zarei, M., & Allahdadi, I. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas fluorescens on phosphorus fertilizer use efficiency, mycorrhizal dependence and maize yield under water deficit conditions. *Journal of Water and Soil Science*. *17*, 123-136.

Hayat, K., Bundschuh, J., Jan, F., Menhas, S., Hayat, S., Haq, F., Shah, M.A., Chaudhary, H.J., Ullah, A., & Zhang, D. (2020). Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *50*, 1085-1115.

Iqbal, N., Fatma, M., Gautam, H., Sehar, Z., Rasheed, F., Khan, M.I.R., Sofo, A., & Khan, N.A. (2022). Salicylic acid increases photosynthesis of drought grown mustard plants effectively with sufficient-N via regulation of ethylene, abscisic acid, and nitrogen-use efficiency. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*, 1966-1977.

Jabborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H.A., Desouky, S., Ibrahim, M.F., & 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*, 571.

Karimi, R., & Noori, A. (2022). Streptomyces rimosus rhizobacteria and Glomus mosseae mycorrhizal fungus inoculation alleviate salinity stress in grapevine through morphophysiological changes and nutritional balance. *Scientia Horticulturae*, *305*, 111433.

Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A., & Hemmati, K. (2018). The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, *239*, 314-323.

Kindscher, K. (2016). Echinacea: Herbal medicine with a wild history. Springer.

Lee, B. R., Islam, M.T., Park, S. H., Jung, H.-I., Bae, D.-W., & Kim, T.-H. (2019). Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: Reactive oxygen species, proline, and redox state in Brassica napus. *Environmental and experimental botany*, *157*, 1-10.

Mekureyaw, M.F., Pandey, C., Hennessy, R.C., Nicolaisen, M.H., Liu, F., Nybroe, O., & Roitsch, T., (2022). The cytokinin-producing plant beneficial bacterium Pseudomonas fluorescens G20-18 primes tomato (*Solanum lycopersicum*) for enhanced drought stress responses. *Journal of Plant Physiology*, *270*, 153629.

Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N.K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants–recent developments and prospects: a review. *Microbiological Research*, *252*, 126861.

Mitra, D., Nayeri, F.D., Sansinenea, E., Ortiz, A., Bhatta, B.B., Adeyemi, N.O., Janeeshma, E., Tawfeeq Al-Ani, L.K., Sharma, S.B., & Boutaj, H. (2023). Unraveling arbuscular mycorrhizal fungi interaction in rice for plant growth development and enhancing phosphorus use efficiency through recent development of regulatory genes. *Journal of Plant Nutrition*, *46*, 3184-3220.

Moradi, S., Sajedi, N.A., Madani, H., Gomarian, M., & Chavoshi, S. (2023). Integrated effects of nitrogen fertilizer, biochar, and salicylic acid on yield and fatty acid profile of six rapeseed cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *23*, 380-397.

Muchate, N.S., Nikalje, G.C., Rajurkar, N.S., Suprasanna, P., & Nikam, T.D. (2016). Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance, *The Botanical Review*, *82*, 371-406.

Parvin, S., Van Geel, M., Yeasmin, T., Verbruggen, E., & Honnay, O. (2020). Effects of single and multiple species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi on the salinity tolerance of a Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. *Mycorrhiza*, *30*, 431-444.

Raza, M.A.S., Haider, I., Farrukh Saleem, M., Iqbal, R., Usman Aslam, M., Ahmad, S., & Abbasi, S.H. (2021). Integrating biochar, rhizobacteria and silicon for strenuous productivity of drought stressed wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *52*, 338-352.

Saleem, M., Fariduddin, Q., & Castroverde, C.D.M. (2021). Salicylic acid: A key regulator of redox signalling and plant immunity. *Plant Physiology and Biochemistry*, *168*, 381-397.

Saud, Sh., Fahad, Sh., Cui, G., Yajun, Ch., & Anwar, S. (2020). Determining nitrogen isotopes discrimination under drought stress on enzymatic activities, nitrogen isotope abundance and water contents of Kentucky bluegrass. *Scientific Reports*, *10*(1), 6415.

Seleiman, M.F., Refay, Y., Al-Suhaibani, N., Al-Ashkar, I., El-Hendawy, S., & Hafez, E.M. (2019). Integrative effects of rice-straw biochar and silicon on oil and seed quality, yield and physiological traits of *Helianthus annuus* L. grown under water deficit stress. *Agronomy*, *9*, 637.

Sun, J., Jia, Q., Li, Y., Zhang, T., Chen, J., Ren, Y., Dong, K., Xu, S., Shi, N.-N., & Fu, S. (2022). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Biochar on Growth, Nutrient Absorption, and Physiological Properties of Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Fungi*, *8*, 1275.

Weatherely, P. E. (1950). Studies in water relation on cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist*, *49*, 81- 87.

Yang, Q., Ravnskov, S., Pullens, J.W.M., & Andersen, M.N. (2022). Interactions between biochar, arbuscular mycorrhizal fungi and photosynthetic processes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Science of the Total Environment*, *816*, 151649.

Yasmeen, T., Tariq, M., Iqbal, S., Arif, M.S., Riaz, M., Shahzad, S.M., Ali, S., Noman, M., & Li, T. (2019). Ameliorative capability of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) against salt stress in plant. *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches*, 409- 448.

Zarrinabadi, I.G., Razmjoo, J., Mashhadi, A.A., & Boroomand, A. (2019). Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. *Industrial Crops and Products*, *139*, 111488.

Zhang, J., Bai, Z., Huang, J., Hussain, S., Zhao, F., Zhu, C., Zhu, L., Cao, X., & Jin, Q. (2019). Biochar alleviated the salt stress of induced saline paddy soil and improved the biochemical characteristics of rice seedlings differing in salt tolerance. *Soil and Tillage Research*, *195*, 104372.

Zia, R., Nawaz, M.S., Siddique, M.J., Hakim, S., & Imran, A. (2021). Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. *Microbiological Research*, *242*, 126626.