

(OPEN ACCESS)

The effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation combined with plant growth-promoting bacteria on the growth and photosynthesis indices of two cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius*)

Sonia Aghighi^{*1}, Narges Hatami², Shokoofeh Khandani³

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Plant Pathology, Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: aghighis@uk.ac.ir
2. Assistant Prof., Dept. of Plant Pathology, Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: narges.hatami5579@gmail.com
3. Ph.D. Student of Genetics and Plant Breeding, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: shokoofehkhandani@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.03.2024
Revised: 10.10.2024
Accepted: 11.19.2024

Keywords:

Arbuscular mycorrhizal fungi,
Carthamus tinctorius,
Growth parameters,
Growth-promoting bacteria

ABSTRACT

Background and Objectives: Safflower (*Carthamus tinctorius*) is considered as one of the most valuable and important plants due to its medicinal properties and application in various food industries. The aim of this study is to investigate the effect of biofertilizers based on the arbuscular mycorrhizal and the interaction between these fungi and growth-promoting bacteria on two varieties of safflower (*Carthamus tinctorius*). This approach can help improve crop varieties and reduce the use of chemical fertilizers and pesticides in agriculture.

Materials and Methods: In this study, an experiment was conducted in the greenhouse of Afzalipour Research Institute, Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman in a factorial based on a completely randomized design in three replications with two safflower cultivars (Goldasht and 6N). In this research, two species of arbuscular mycorrhizal fungi, including *Funneliformis mosseae* and *Rhizophagus intraradices*, and two bacterial species, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas putida* were used, and the effect of these treatments on the growth indices, yield components and photosynthesis indices of safflower was investigated.

Results: Analysis of variance showed that genotype, microbial inoculation, and their interaction significantly affected most of the measured traits. The highest improvements compared to the control were observed in the combined mycorrhizal fungi with both *B. subtilis* and *P. putida* treatment. Increases of up to 40.1% in grain yield per plant, 54.9% in grain number, 54.4% in leaf length, 60% in fresh root weight, 56.2% in shoot fresh weight, 56.5% in shoot dry weight, 62.4% in net photosynthesis, and 61.7% in transpiration were recorded. mycorrhizal fungi alone also significantly improved traits such as plant height and net photosynthesis in the 6N cultivar. However, some treatments showed variable or non-significant effects on traits like 100-seed weight and chlorophyll index, depending on the genotype. Overall, Goldasht exhibited a stronger

positive response to microbial inoculation than 6N, with more traits showing significant improvement.

Conclusion: The results indicate that simultaneous application of mycorrhizal fungi and growth-promoting bacteria can serve as an effective strategy to enhance growth, physiological function, and yield in safflower. Among the treatments, the combination of mycorrhizal fungi with both *B. subtilis* and *P. putida* showed the greatest potential. These findings suggest that this biological approach can be recommended as an eco-friendly alternative to chemical inputs for improving safflower cultivation.

Cite this article: Aghighi, Sonia, Hatami, Narges, Khandani, Shokoofeh. 2025. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation combined with plant growth-promoting bacteria on the growth and photosynthesis indices of two cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius*). *Journal of Plant Production Research*, 32 (2), 175-192.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2024.22514.3156

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار توأمان با باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های رشدی و فتوسنتزی دو رقم گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)

سونیا عقیقی^{۱*}، نرگس حاتمی^۲، شکوفه خاندانی^۳

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه بیماری‌شناسی گیاهی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افصلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: aghighis@uk.ac.ir
۲. استادیار گروه بیماری‌شناسی گیاهی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: narges.hatami5579@gmail.com
۳. دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: shokoofehkhandani@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: گیاه گلرنگ (<i>Carthamus tinctorius</i>) به دلیل خواص دارویی و کاربرد در صنایع مختلف غذایی، یکی از گیاهان بسیار باارزش و مهم محسوب می‌شود هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کودهای زیستی مبتنی بر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و بررسی اثر متقابل قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد در دو رقم گلرنگ (<i>Carthamus tinctorius</i>) است. این روش می‌تواند به بهبود ارقام اصلاحی و کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی در کشاورزی کمک کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹	
واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، پارامترهای رشدی، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، گلرنگ	مواد و روش‌ها: در این پژوهش، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی پژوهشگاه افصلی‌پور، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار روی دو رقم گلرنگ (گلدشت و 6N) انجام گردید. در این بررسی از دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار <i>Funneliformis mosseae</i> و <i>Rhizophagus intraradices</i> به‌صورت توأمان که در زمان کشت به میزان ۵۰ گرم به ازای هر ۴ کیلوگرم خاک به گلدان‌ها اضافه گردید و دو گونه باکتری <i>Bacillus subtilis</i> و <i>Pseudomonas putida</i> که ۴ هفته بعد از جوانه‌زنی، به‌صورت سوسپانسیون باکتری در دو نوبت به فاصله دو هفته ضمن آبیاری به گلدان اضافه گردید و تأثیر این تیمارها بر شاخص‌های رشدی، عملکردی و فیزیولوژیکی گیاه موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده ژنوتیپ، تلقیح میکروبی و اثر متقابل آن‌ها بر اغلب صفات مورد مطالعه معنی‌دار بودند. بیش‌ترین افزایش نسبت به شاهد برای صفات

عملکردی و فیزیولوژیکی در تیمار تلفیقی قارچ‌های میکوریز همراه با هر دو باکتری مشاهده شد. در این تیمارها، وزن دانه در بوته تا ۴۰/۱ درصد، تعداد دانه تا ۵۴/۹ درصد، طول برگ تا ۵۴/۴ درصد، وزن‌تر ریشه تا ۶۰ درصد، وزن‌تر اندام هوایی تا ۵۶/۲ درصد، وزن خشک اندام هوایی تا ۵۶/۵ درصد، فتوسنتز خالص تا ۶۲/۴ درصد و تعرق تا ۶۱/۷ درصد افزایش یافتند. تیمار میکوریز به‌تنهایی نیز اثر مثبتی بر بسیاری از صفات از جمله ارتفاع ساقه و فتوسنتز خالص در رقم 6N داشت. در مقابل، برخی تیمارها بسته به رقم مورد استفاده، کاهش یا عدم تغییر معنی‌دار در برخی صفات مانند وزن صد دانه و شاخص کلروفیل نشان دادند. به‌طور کلی، رقم گلدشت واکنش مثبت‌تری به تلقیح میکروبی نشان داد و در بیش‌تر صفات افزایش معنی‌داری نسبت به رقم 6N ثبت شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که استفاده توأمان از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر در بهبود رشد، فتوسنتز و عملکرد گیاه گلرنگ به‌کار رود. با توجه به تفاوت واکنش بین دو رقم، رقم گلدشت پتانسیل بالاتری در پاسخ به کودهای زیستی نشان داد. این پژوهش کاربرد هم‌زمان قارچ‌های میکوریز با باسیلوس و سودوموناس را به‌عنوان یک ترکیب سودمند برای افزایش بهره‌وری زراعی گلرنگ و کاهش نیاز به نهاده‌های شیمیایی پیشنهاد می‌کند.

استناد: عقیقی، سونیا، حاتمی، نرگس، خاندانی، شکوفه (۱۴۰۴). تأثیر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار توأمان با باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های رشدی و فتوسنتزی دو رقم گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*). نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۲ (۲)، ۱۹۲-۱۷۵.

DOI: 10.22069/jopp.2024.22514.3156



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

گیاهان دارویی به دلیل برخورداری از متابولیت‌های ثانویه، دارای ویژگی‌های دارویی ارزشمندی هستند. علاوه بر این، این گیاهان نقش به‌سزایی در حفاظت از بوم‌نظام‌ها، توسعه اقتصادی، تأمین امنیت غذایی، حفظ ذخایر ژنتیکی و دستیابی به خودکفایی دارویی در سطح ملی ایفا می‌کنند. به دلایل مختلفی کشت زراعی گیاهان دارویی چندان ساده و گاهی امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این دلایل می‌توان سرعت رشد پایین، نیازهای محیطی خاص، سرعت جوانه‌زنی پایین، دوره خفتگی بذر و حساسیت به برخی از آفات و بیماری‌ها را نام برد (۱ و ۲). از آنجائی که در بوم‌نظام‌های طبیعی، ۹۰ درصد ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریز همزیستی دارند (۳ و ۴) و حاصل این همزیستی، فعالیت قارچ در جهت جذب و انتقال عناصر غذایی به گیاه میزبان و دریافت ترکیبات کربنه حاصل از فتوسنتز گیاه میزبان توسط قارچ همزیست می‌باشد (۵) ازاین‌رو چنین گیاهانی، به دلیل جذب بیش‌تر عناصر غذایی و آب، دارای رشد و عملکرد بهتری هستند و تحمل بیش‌تری در برابر انواع تنش‌های زیستی (مانند عوامل بیماری‌زا) و غیر زیستی (مانند کمبود یا مسمومیت مواد غذایی، خشکی، شوری و عناصر سنگین) بروز می‌دهند (۶ و ۷). استفاده از کودهای زیستی مبتنی بر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از گزینه‌های امیدبخش به‌منظور توسعه سامانه‌های کشاورزی با صرفه‌جویی در منابع و مصرف ترکیبات شیمیایی و احیاء مراتع طبیعی محسوب می‌گردد (۸) و استفاده از این قارچ‌ها در کشت گیاهان دارویی و بالا بردن عملکرد آن‌ها اهمیت به‌سزایی دارد.

از سوی دیگر، باکتری‌ها محرک رشد از طریق رقابت به‌منظور کلنیزاسیون سامانه ریشه، تولید و ترشح برخی متابولیت‌های میکروبی مثل آنتی‌بیوتیک‌ها، سیانید هیدروژن، آنزیم‌های لیتیک و افزایش مقاومت

نظام‌مند باعث کاهش یا ممانعت از فعالیت بیمارگرهای گیاهی می‌شوند و هم‌چنین از طریق تثبیت نیتروژن، حل کردن فسفات‌های نامحلول، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورها، تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین و کاهش اتیلن باعث بهبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (۹ و ۱۰). ویژگی‌های باکتری‌های محرک رشد گیاه این میکرواورگانیزم‌های مطلوب را به‌عنوان ابزار زیستی مهم موردعلاقه زراعت و محیط‌زیست معرفی می‌کند (۱۰) ازاین‌رو بررسی ارقام مختلف در شرایط تلفیق تیمارهای متنوع کودهای زیستی بر پایه میکروبی و مبتنی بر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد می‌تواند موجب بهبود پتانسیل عملکردی ارقام اصلاحی و شناخت بیشتر مکانیسم‌های ژنتیکی مؤثر گردد. بدین‌منظور در این پژوهش دو رقم گلرنگ، (که یکی از آن‌ها 6N در مطالعات مشابه پیش‌ازاین بررسی نشده است)، به‌منظور مایه‌زنی میکروبی و تأثیر آن بر مشخصات رشدی انتخاب گردید.

پژوهش‌های مشابهی از کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاه گلرنگ در شرایط مختلف انجام‌شده و نتایج حاصل نشان‌دهنده تأثیر مثبت این قارچ‌ها بر شاخص‌های رشدی و عملکردی گلرنگ است (۱۱ و ۱۲). مشخص‌شده است که ترکیب قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد تأثیر مثبتی بر گیاهان گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) دارد (۱۳). با مایه‌زنی قارچ میکوریز آربوسکولار افزایش وزن خشک‌ریشه، محتوای کلروفیل و تولید پرولین و قند محلول در گیاه گلرنگ گزارش‌شده است (۱۳ و ۱۴). علاوه بر آن، استفاده از باکتری‌های تقویت‌کننده رشد محصول باعث افزایش عملکرد دانه و بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گلرنگ شده است (۱۵). ترکیب قارچ میکوریز

آربوسکولار و ریزوباکتریای تقویت‌کننده رشد گیاهی تأثیر مثبتی بر رشد و شاخص‌های فتوسنتزی و سامانه آنتی‌اکسیدانی در گونه‌های مختلف گیاهی دارد (۱۶).

با توجه به اهمیت این گیاه دارویی به دلیل کیفیت بالای روغن آن به‌عنوان یک محصول کشاورزی باارزش و اهمیت ارتقاء شاخص‌های رشدی آن، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد انجام گردید. نتایج این پژوهش‌ها زمینه‌ساز تولید بیش‌تر و باکیفیت‌تر این محصول خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اوایل فروردین‌ماه ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل دو ژنوتیپ گل‌دشت و 6N (از کلکسیون موجود در پژوهشکده) و هشت تیمار میکروبی عدم مایه‌زنی (شاهد)، مخلوط دو گونه مایکوریز (MAF) که شامل دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* و دو گونه باکتری (*Bacillus subtilis* (B. subtilis) و *Pseudomonas putida* (P. putida) که از شرکت دانش‌بنیان ریشه گستر ویرا (مرکز رشد دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان و پارک علم و فناوری استان کرمان) تهیه و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار روی دو رقم گلرنگ (کشت در گلدان‌های مستطیلی شکل به ابعاد طول ۱۰۰، عرض ۴۰، ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر) انجام شد. برای انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای پس از ضدعفونی بذور گلرنگ با محلول ۰/۵ درصد هیپوکلریت سدیم در گلدان‌های حاوی مخلوط خاک و ماسه سترون به نسبت ۲:۱ کشت و تیمارهای مایکوریز در زمان کشت به میزان ۵۰ گرم به‌ازای هر ۴ کیلوگرم خاک به گلدان‌ها اضافه

شد و تیمارهای باکتریایی به‌صورت سوسپانسیون با غلظت $10^8 \times 4$ روش اسپکتروفتومتری (غلظت ۰/۵ در طول‌موج ۵۴۰ برابر با CFU/ml 1010 می‌باشد) تهیه گردید و به‌منظور مایه‌زنی به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر ۴ کیلوگرم خاک در هر گلدان مورد استفاده قرار گرفت. بعد از گذشت ۴ هفته از رشد گیاه، سوسپانسیون باکتری در دو نوبت به فاصله دو هفته ضمن آبیاری به گلدان افزوده شد. آبیاری گلدان‌ها در ۶ هفته اول کشت، یک‌مرتبه در هفته و در ۶ هفته دوم کشت، دومرتبه در هفته انجام گردید. گلدان‌ها در دمای ۲۷-۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند.

۱۴ هفته پس از کشت برای اندازه‌گیری وزن‌تر ابتدا گیاه از ناحیه طوقه جدا و به دو قسمت شاخساره و ریشه تقسیم شد و پس از شستشو و خشک‌کردن به‌طور جداگانه وزن شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفته و سپس وزن شدند. بعد از رسیدگی کامل وزن دانه در بوته (گرم)، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه (گرم) و تعداد غوزه در بوته، اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته‌ها (سانتی‌متر)، طول برگ (سانتی‌متر)، عرض برگ (سانتی‌متر) و طول ریشه (سانتی‌متر) با استفاده از خط‌کش مدرج با دقت یک‌دهم متر اندازه‌گیری شد (۱۷). جهت تعیین میزان فتوسنتز خالص ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)، تعرق ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$) و میزان CO_2 زیر روزنه در هفته نهم کشت از دستگاه فتوسنتز متر (ADC, BioScientific Ltd., UK) اندازه‌گیری صورت گرفت (۱۸) و برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, INC., Japan) استفاده شد (۱۷ و ۱۸). بدین‌منظور از هر تیمار، سه برگ انتخاب‌شده و میانگین سه برگ به‌عنوان عدد SPAD یادداشت گردید. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون نرمال به روش کولموگروف-اسمیرنوف

انجام گردید. سپس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات فتوسنتزی، رشدی و عملکردی اندازه‌گیری‌شده نشان داد اثر ساده ژنوتیپ در طول برگ، وزن ریشه، میزان کلروفیل، تعرق، ارتفاع ساقه و وزن صد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر ساده مایه‌زنی

میکروبی بر صفات طول برگ، وزن‌تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، تعداد غوزه، طول ریشه، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن صد دانه و تعرق اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل ژنوتیپ و مایه‌زنی میکروبی نیز بر صفات طول و عرض برگ، وزن خشک‌ریشه، وزن خشک و تر اندام هوایی، وزن صد دانه و فتوسنتز خالص در سطح یک درصد و صفات ارتفاع ساقه، تعداد غوزه، طول ریشه و وزن خشک‌ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار توأم با باکتری‌های محرک رشد در دو رقم گلرنگ بر خصوصیات عملکردی و رشدی مورد مطالعه.

Table 1. Means squares for the variance of the effects of the effect of inoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi combined with growth-stimulating bacteria in two safflower cultivars on the studied yield characteristics.

منابع تغییرات Source of variation	df	درجه آزادی	تعداد دانه	وزن دانه	وزن صد دانه	ارتفاع ساقه	تعداد غوزه	طول برگ	عرض برگ	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک‌ریشه	وزن هوایی	وزن خشک هوایی
رقم Cultivar	1		32.16 ^{ns}	0.057 ^{ns}	1.24*	20.69*	0.8 ^{ns}	0.91*	0.001 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.11*	0.007 ^{ns}	2.11 ^{ns}	0.69 ^{ns}
تلفیح میکروبی Microbial inoculation	6		309.97**	0.82**	2.70**	20.98**	3.24**	0.61*	0.09 ^{ns}	15.48*	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	21.62**	1.37**
رقم × تلفیح میکروبی Cultivar × Microbial inoculation	6		31.37 ^{ns}	0.13 ^{ns}	2.39**	9.49*	1.32*	1.68**	0.63**	17.27*	0.08**	0.015*	28.07**	2.02**
خطا Error	28		31.28	0.184	0.189	3.16	0.435	0.2	0.09	5.09	0.02	0.005	4.33	0.29
ضریب تغییرات (درصد) %CV			25.68	30.64	7.087	4.52	27.79	13.31	17.39	14.85	21.62	25.14	22.66	21.43

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌داری

* and ** Significant at the %5 and %1 probability levels, respectively, ^{ns} not significant

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار توأم با باکتری‌های محرک رشد در دو رقم گلرنگ بر خصوصیات فتوسنتزی مورد مطالعه.

Table 2. Means squares for the variance of the effect of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi combined with growth-promoting bacteria in two safflower cultivars on the studied photosynthetic characteristics.

فتوسنتز خالص Photosynthetic rate	تعرق Transpiration rate	CO ₂ زیر روزنه Intercellular CO ₂	شاخص کلروفیل chlorophyll index	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
0.001 ^{ns}	1.17*	97.37 ^{ns}	1299.30*	1	رقم Cultivar
0.17 ^{ns}	2.18**	200.60 ^{ns}	65.70 ^{ns}	6	مایه‌زنی میکروبی Microbial inoculation
1.11**	0.64 ^{ns}	250.45 ^{ns}	186.06 ^{ns}	6	رقم × مایه‌زنی میکروبی Cultivar × Microbial inoculation
0.1	0.28	105.6	184.80	28	خطا Error
29.57	24.16	2.39	23.34		ضریب تغییرات (درصد) CV%

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌داری

* and ** Significant at the %5 and %1 probability levels, respectively, ^{ns} not significant

بیش‌ترین مقدار وزن دانه در بوته مربوط به کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس و سودوموناس بود (۱/۹۷ گرم) که با کاربرد تیمارهای کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس و قارچ میکوریز اختلاف معنی‌داری نداشت؛ و بیش‌ترین افزایش نسبت به شاهد نشان داد (۴۰/۱۰ درصد). بعدازآن تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس اثر افزایشی معنی‌دار بر صفات وزن دانه در بوته نسبت به شاهد داشت.

نتایج مقایسه میانگین بر اساس اثر ساده تلقیح میکروبی (جدول ۳) نشان داد که بیشترین مقدار تعداد دانه در بوته (۳۴/۲۵ عدد) برای کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری باسیلوس و سودوموناس (AMF, *B. subtilis*, *P. putida*) است که ۵۴/۹۷ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد بعدازآن، تیمارهای قارچ میکوریز و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس اثر افزایشی و تیمار باکتری باسیلوس اثر کاهشی معنی‌دار بر تعداد دانه در بوته نسبت به شاهد داشتند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای میکروبی (مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار توأم با باکتری‌های محرک رشد) در دو ژنوتیپ گلرنگ در صفات معنی‌دار.

Table 3. Mean comparison of effects of microbial treatments (inoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi combined with growth-promoting bacteria) in two safflower cultivars in the significant traits.

تیمار میکروبی Microbial treatments	تعداد دانه در بوته N. of seeds per plant	وزن دانه در بوته Weight of seed per plant	تعرق Transpiration rate
شاهد Control	19.83 ^d	1.18 ^{cd}	3.122 ^a
باکتری باسیلوس <i>B. subtilis</i>	14.5 ^{de}	1.07 ^d	1.577 ^{de}
باکتری سودوموناس <i>P. putida</i>	11.67 ^e	0.79 ^d	2.302 ^{bc}
قارچ میکوریز MAF	27.08 ^b	1.68 ^{a-c}	2.167 ^{cd}
میکوریز + باسیلوس MAF+B. Subtilis	26.67 ^{bc}	1.73 ^{ab}	1.195 ^e
میکوریز + باسیلوس + سودوموناس MAF+B. subtilis+P. putida	34.25 ^a	1.97 ^a	2.912 ^{ab}
میکوریز + سودوموناس MAF+P. putida	20.25 ^{cd}	1.22 ^{b-d}	2.273 ^c
LSD	6.697	0.5166	0.632

میانگین‌های هر ستون با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD ($P=0.05$) تفاوت معنی‌دار ندارند

Means for each column followed by the same letter do not differ significantly according to the LSD test ($P=0.05$)

معنی‌داری برای وزن صد دانه نسبت به شاهد نشان دادند. رقم 6N نیز در تیمارهای کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری باسیلوس و سودوموناس کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد برای صفت وزن صد دانه نشان داد. در سایر تیمارها در این رقم اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد برای این صفت وجود نداشت. در تیمار باکتری باسیلوس اثر افزایشی رقم گلدهت نسبت به 6N و تیمار باکتری سودوموناس و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس اثر کاهشی معنی‌دار رقم گلدهت

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس اثر متقابل (جدول ۴) نشان داد که بیش‌ترین وزن صد دانه (۷/۴۶ گرم) مربوط به تیمار باکتری باسیلوس در رقم گلدهت است که بیش‌ترین افزایش این صفت نسبت به شاهد را داشت (۳۸/۳۳ درصد) و با تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس در همین رقم و تیمار باکتری سودوموناس در رقم 6N اختلاف معنی‌داری نداشت. صفت وزن صد دانه در رقم 6N از رقم گلدهت در شرایط شاهد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. همه تیمارها به‌جز کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس رقم گلدهت افزایش

نسبت به 6N مشاهده شد. واکنش متفاوت دو رقم در وزن دانه و تعداد دانه با وزن صد دانه را می‌توان به عواملی مانند اندازه دانه، تراکم و صفات ژنتیکی نسبت داد. با افزایش تعداد دانه‌ها، دانه‌ها کوچک‌تر و سبک‌تر می‌شوند و باوجود افزایش کلی در وزن و تعداد دانه، بر وزن هزاردانه تأثیر می‌گذارند. عوامل ژنتیکی، مانند ژن‌های خاصی که اندازه و وزن دانه را تنظیم می‌کنند، می‌توانند بر وزن هزاردانه و در نهایت بر عملکرد تأثیر بگذارند (۱۹ و ۲۰). در پژوهشی میرزاخانی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داند که مایه‌زنی هم‌زمان با آزتوباکتر و قارچ میکوریز آربوسکولار باعث افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه می‌شود که نشان‌دهنده اثربخشی این روش زیستی در تولید گلرنگ است (۱۹).

بیش‌ترین تعداد غوزه مربوط به رقم 6N در تیمارهای کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری باسیلوس و سودوموناس بود (۳/۳۳ عدد) که علاوه بر شرایط شاهد با تیمار قارچ میکوریز در همین رقم، با تیمارهای مشابه در رقم گلدشت نیز اختلاف معنی‌داری نداشتند تعداد غوزه در بوته در رقم 6N فقط در شرایط شاهد از رقم گلدشت به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. تیمار باکتری سودوموناس باعث کاهش تعداد غوزه در رقم 6N نسبت به شاهد شد و تیمارهای قارچ میکوریز، کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس، کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس اثر افزایشی در رقم گلدشت نسبت به شرایط شاهد برای این صفت داشتند.

نشان داده‌شده است که جدایه‌های ریزوباکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاهان، ازجمله گونه‌های باسیلوس (*Bacillus* sp.) و سودوموناس فلوروسنس (*Pseudomonas Fluorescens*) در گیاه بامیه، زیست‌توده، تعداد دانه در هر میوه و وزن ۱۰۰۰ دانه را افزایش می‌دهند (۲۱). مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز و استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به‌طور بالقوه با بهبود جوانه‌زنی دانه، رشد گیاهچه و جذب مواد مغذی بر تعداد دانه تأثیر بگذارد (۲۲، ۲۳ و ۲۴). در مطالعات انجام‌شده بر روی گیاه گلرنگ گزارش‌شده است که مایه‌زنی گیاهان گلرنگ با قارچ میکوریز و باکتری‌های محرک رشد، مانند آزتوباکتر، تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه، تعداد دانه و اجزای عملکرد دارد (۱۵، ۲۵، ۲۶ و ۲۷)؛ بنابراین استفاده از مایه‌زنی قارچ میکوریز و باکتری‌های تحریک‌کننده رشد می‌تواند بر تعداد دانه در گلرنگ تأثیر مثبت بگذارد.

بیش‌ترین ارتفاع ساقه (۴۲ سانتی‌متر) مربوط به تیمار قارچ میکوریز در رقم 6N بود که ۱۷/۴۲ درصد از تیمار شاهد بیش‌تر بود. باین‌که ارتفاع رقم گلدشت از رقم 6N در شرایط شاهد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود اما رقم 6N در همه تیمارهای میکروبی به‌جز باکتری سودوموناس با رقم گلدشت اختلاف معنی‌داری نداشت در رقم گلدشت هیچ‌یک از تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت در رقم 6N همه تیمارها به‌جز تیمار باکتری سودوموناس اختلاف با شاهد معنی‌دار بود. نشان داده‌شده است که مخلوط باکتری‌های محرک رشد گیاهی و قارچ میکوریز، می‌تواند اثرات مثبت بر تحریک رشد گیاهان مانند جاتروفا (*Jatropha curcas*) ذرت، گندم و سیب‌زمینی داشته باشند (۲۸)

خان و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی بر روی گندم در تنش شوری چندین ترکیب ریزوباکتری محرک رشد گیاه با انجام آزمایش گلدانی در گلخانه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مقایسه با یک‌سویه ریزوباکتریایی، در تلقیح سویه‌های ریزوباکتری اثر محرک رشد بهتری مشاهده شد. مخلوط چند سویه ریزو باکتری محرک رشد تأثیر مثبت قابل‌توجهی بر طول اندام هوایی، طول ریشه، وزن‌تر اندام هوایی و وزن‌تر ریشه گندم در بالاترین سطح شوری داشت (۲۹).

بیش‌ترین طول و عرض برگ مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس (به ترتیب ۴/۵ و ۲/۵ سانتی‌متر با ۵۴/۵۵ درصد و ۴۷/۰۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) و قارچ میکوریز (به ترتیب ۴/۸۳ و ۲/۲۳ سانتی‌متر با ۵۱/۱۱ درصد و ۲۳/۷۶ درصد افزایش نسبت به شاهد) در رقم گلدشت بود که نسبت به سایر تیمارها و شاهد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بودند. در رقم 6N فقط تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس نسبت به شاهد افزایش عرض برگ معنی‌دار داشت (۲۵/۹ درصد) باین‌که طول برگ در رقم گلدشت در شرایط شاهد از رقم 6N به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود اما رقم گلدشت در مایه‌زنی با قارچ میکوریز و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس اثر افزایشی معنی‌داری نسبت به رقم 6N برای این صفت داشته است (جدول ۴).

بیش‌ترین طول ریشه مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس در رقم 6N بود (۱۹/۱ سانتی‌متر با ۲۲/۶۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) که با تیمارهای کاربرد هم‌زمان قارچ

میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس و کاربرد قارچ میکوریز در همین رقم و همه تیمارها به‌جز تیمار تلقیح با قارچ میکوریز در رقم گلدشت اختلاف معنی‌دار نداشت. بیش‌ترین افزایش نسبت به شاهد را تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس در رقم گلدشت داشت (۳۰/۴۴ درصد) که در رقم 6N نیز اثر افزایشی نسبت به شاهد نشان داد.

بیش‌ترین وزن‌تر و خشک‌ریشه مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس در رقم گلدشت بود (به ترتیب ۱ و ۰/۴۶ گرم با ۲۷/۰۰ درصد و ۶۰/۰۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) که با تیمار قارچ میکوریز در همین رقم از نظر وزن خشک و با تیمار باکتری باسیلوس در همین رقم از نظر وزن‌تر ریشه تفاوت معنی‌داری نداشت. مایه‌زنی میکروبی قارچ میکوریز و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس در رقم گلدشت بر میزان وزن خشک‌ریشه نسبت به شرایط شاهد و رقم 6N اثر افزایشی معنی‌دار داشته است علاوه بر آن تیمار تلقیح هم‌زمان با قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس نیز در رقم گلدشت به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش وزن خشک‌ریشه داشته است (جدول ۴) این در حالی است که هیچ‌کدام از تیمارهای میکروبی نسبت به شاهد در رقم 6N اثر معنی‌داری نشان ندادند.

مشخص‌شده است ترکیب قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های تقویت‌کننده رشد می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی فعالیت ریشه در گیاهان گل‌رنگ را افزایش دهد (۲۵، ۳۰ و ۳۱). علاوه‌بر این، باکتری‌های تقویت‌کننده رشد مانند ازتوباکتر کروکوکوم

(*Azotobacter chroococcum*)، آزوسپیریلوم برازیلنس (*Azospirillum Brasilense*) و سودوموناس فلورسنس (*Pseudomonas Fluorescens*) مورفولوژی ریشه را بهبود می‌بخشند، مساحت، طول و عرض ریشه را افزایش می‌دهند و در نهایت منجر به افزایش رشد و عملکرد بوته در گلرنگ می‌شود (۱۵). این باکتری‌ها با سازوکارهای مختلفی مانند تولید فیتوهورمون‌ها، تثبیت نیتروژن، حل شدن فسفات و بهبود الگوی توزیع ریشه، رشد بوته گلرنگ را افزایش می‌دهند (۲۶).

بیش‌ترین وزن‌تر و خشک اندام هوایی مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس در رقم گلدشت بود (به ترتیب ۱۵/۷۴ و ۴/۷۴ گرم با ۵۶/۱۶ درصد و ۵۶/۵۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) که با تیمار تلقیح هم‌زمان با قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس در رقم 6N از نظر وزن‌تر اندام هوایی و تیمار قارچ میکوریز در رقم گلدشت اختلاف معنی‌داری نداشت. کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس و قارچ میکوریز در رقم گلدشت بر میزان وزن‌تر و خشک اندام هوایی نسبت به شرایط شاهد اثر افزایشی معنی‌دار داشته است. تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس، تیمار قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس و تیمار کاربرد قارچ میکوریز به تنهایی بر وزن‌تر اندام هوایی و تیمار کاربرد قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس بر وزن خشک اندام هوایی اثر افزایشی معنی‌دار در رقم 6N نسبت به شاهد داشتند.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریز مانند تریکودرما و ترافل سیاه، همراه با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مانند باسیلوس سوبتیلیس

(*Bacillus subtilis*)، می‌توانند توده سامانه ریشه محصولات کشاورزی را افزایش دهند و متعاقباً منجر به افزایش سطح برگ شوند (۳۰). علاوه بر این، نشان داده شده است در کلم چینی استفاده از میکروارگانیزم‌های مؤثر، باکتریایی و قارچی، پارامترهای رشد، از جمله وزن خشک و تر هوایی، طول و عرض برگ را افزایش می‌دهد (۳۲).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس اثر ساده مایه‌زنی نشان داد که بیش‌ترین تعرق برای شرایط شاهد بود (۳/۱۲ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) که با کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس تفاوت معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین کاهش تعرق نسبت به شاهد مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس بود (۶۱/۶۹ درصد) (جدول ۳).

مکانیسم کاهش تعرق با مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های تحریک‌کننده رشد، عوامل متعددی را درگیر می‌کند. قارچ‌های میکوریز ارتباطات همزیستی با گیاهان ایجاد می‌کنند و جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهند که می‌تواند منجر به بهبود کارایی استفاده از آب و کاهش تعرق شود (۳۳). علاوه بر این، نشان داده شده است که ترکیب قارچ میکوریز و باکتری‌های تحریک‌کننده رشد رابطه خاک و گیاه با افزایش تماس ریشه با خاک و در نتیجه افزایش شعاع ریشه مؤثر را تنظیم می‌کند این امر باعث کاهش سرعت جریان در سطح ریشه و کاهش افت پتانسیل ماتریک در سطح مشترک ریشه و خاک می‌شود، مواد آلی خاک و محتوای کربن را بهبود می‌بخشد که می‌تواند به حفظ بهتر آب و کاهش تعرق کمک کند (۳۴ و ۳۵) افزایش سرعت تعرق نیز در برخی مطالعات بر روی برخی گیاهان مانند جوالدوزک

(*Catalpa bignonioides*) و لوبیا سبز گزارش شده است (۳۶ و ۳۷).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم 6N به‌طور معنی‌داری شاخص کلروفیل بیش‌تری نسبت به رقم گلدشت داشت و این صفت تحت‌تأثیر مایه‌زنی میکروبی قرار نگرفت.

بیش‌ترین فتوسنتز خالص برای تیمار قارچ میکوریز در رقم 6N بود (۱/۸۶ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه با ۶۲/۳۶ درصد افزایش نسبت به شاهد) که با تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس در رقم 6N، تیمار شاهد، کاربرد باکتری سودوموناس و کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری باسیلوس در رقم گلدشت تفاوت معنی‌داری نداشت و با تیمار کاربرد قارچ میکوریز در این رقم افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشتند. در رقم گلدشت تیمارهای قارچ میکوریز، کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس و تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد داشتند (بیش‌ترین کاهش ۸۵/۹۵ درصد در تیمار کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریز، باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس در رقم گلدشت بود) (جدول ۴).

گزارش‌ها نشان می‌دهد مایه‌زنی با قارچ میکوریز و باکتری‌های محرک رشد ممکن است در برخی شرایط و گیاهان نتایج متفاوتی داشته باشد که ممکن است منجر به عدم معنی‌دار بودن تغییرات در شاخص کلروفیل شود (۳۸ و ۳۹). برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مایه‌زنی با قارچ میکوریز می‌تواند بهبودی در جذب عناصر غذایی و رشد گیاهان داشته باشد، اما

این تأثیرات ممکن است در موارد خاصی نهایتاً به‌صورت معنی‌دار در شاخص کلروفیل نمایان نشوند (۴۰، ۴۱ و ۴۲). مشخص‌شده است که ترکیب قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های تحریک‌کننده رشد تأثیر مثبتی بر محتوای کلروفیل در گیاهان دارد برای مثال استفاده از میکوریز بدون ترکیب با باکتری و کود محرک رشد منجر به افزایش کلروفیل کل می‌شود (۴۳). به همین ترتیب، مایه‌زنی گیاهان با قارچ میکوریز غنی‌شده با باکتری‌های کمک‌کننده میکوریز باعث افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان شب‌خسب (*Albizia chinensis*) و راش هندی (*Pongamia pinnata*) می‌شود (۴۴). همچنین افزایش محتوای کلروفیل در گیاه ذرت (۴۵) و گیاهچه خیار (۴۶) در مایه‌زنی با قارچ میکوریز آربوسکولار گزارش شده است.

در گیاه ذرت گزارش شده است که ترکیب قارچ میکوریز و باکتری‌های محرک رشد باعث بهبود پارامترهای کلیدی فتوسنتزی، ازجمله نرخ خالص فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق می‌شود. این امر به‌ویژه در شرایط تنش غیر زیستی مشهود است، جایی که قارچ میکوریز به حفظ نرخ تبادل گاز بالاتر در مقایسه با گیاهان غیرتلقیح‌شده کمک می‌کند. (۴۷). گیاهانی هم‌چون پنبه (۴۸) و کاکتوس انجیر تیغی هندی (*Opuntia ficus-indica* L.) (۴۹) تلقیح‌شده با قارچ میکوریز بهبود فتوسنتز را در شرایط تنش نشان دادند افزایش نرخ تعرق در برگ‌ها که به افزایش هدایت روزنه‌ای ضروری برای فتوسنتز و انتقال کربن به میکوریز مرتبط است می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز خالص شود (۵۰).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و تیمارهای میکروبی (مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار توأم با باکتری‌های محرک رشد) در دو رقم گل‌رنگ در صفات معنی‌دار.
Table 4. Mean comparison of interaction effects of genotype and microbial treatments (inoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi combined with growth-promoting bacteria) in two safflower cultivars in the significant traits.

فوتوسنتز خاص Photosynthetic rate	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تازه اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک ریشه وزن تازه ریشه Root dry weight Root fresh weight	طول ریشه Root length	عرض برگ طول برگ leaf width Leaf length	ارتفاع ساقه Stem height	تعداد غوزه N. of Head	وزن صد دانه Weight of hundred seeds	تیمار میکروبی Microbial inoculation	رقم Cultivar
0.70 ^{d-f}	2.17 ^{cd}	6.5 ^{de}	0.23 ^{c-e}	14.77 ^{bc}	1.63 ^{d-f}	3.46 ^{bc}	3 ^{ab}	6.68 ^{b-d}	شاهد Control	6N
0.96 ^{c-e}	2.58 ^{cd}	9.27 ^{b-d}	0.27 ^{b-e}	16.53 ^{a-c}	1.8 ^{b-e}	3.33 ^{bc}	2 ^{b-d}	6.13 ^{c-f}	باکتری باسیلوس <i>B. subtilis</i>	
0.48 ^{ef}	2.41 ^{cd}	8.96 ^{b-e}	0.27 ^{b-e}	14.13 ^{bc}	1.73 ^{b-f}	3.2 ^{bc}	1 ^d	7.35 ^{ab}	باکتری سودوموناس <i>P. putida</i>	
1.86 ^a	2.36 ^{cd}	10.69 ^{bc}	0.22 ^{de}	15.3 ^{a-c}	1.43 ^{ef}	2.73 ^{cd}	2.68 ^{a-c}	6.41 ^{c-e}	قارچ میکوریز MAF	
0.54 ^{ef}	3.737 ^b	12.42 ^{ab}	0.32 ^{bcd}	19.1 ^a	2.2 ^{a-c}	3.33 ^{bc}	2 ^{b-d}	6.23 ^{c-f}	میکوریز باسیلوس MAF+B. <i>Subtilis</i>	
1.17 ^{b-d}	1.69 ^d	7.19 ^{de}	0.22 ^{c-e}	17.27 ^{ab}	1.6 ^{d-f}	3.1 ^{b-d}	3.33 ^a	5.64 ^f	میکوریز باسیلوس + سودوموناس MAF+B. <i>subtilis</i> + <i>P. putida</i>	
1.77 ^a	2.75 ^c	11.19 ^b	0.29 ^{b-e}	13.97 ^{bc}	2 ^{a-d}	3.46 ^{bc}	3.33 ^a	5.73 ^{ef}	میکوریز سودوموناس MAF+ <i>P. putida</i>	G
1.68 ^{ab}	2.06 ^{cd}	6.9 ^{de}	0.18 ^e	12.43 ^c	1.7 ^{c-f}	2.36 ^d	1 ^d	4.6 ^g	شاهد Control	
1.37 ^{a-c}	2.21 ^{cd}	6.78 ^{de}	0.25 ^{b-e}	15 ^{a-c}	1.63 ^{d-f}	3.3 ^{bc}	1 ^d	7.46 ^a	باکتری باسیلوس <i>B. subtilis</i>	
1.56 ^{ab}	1.80 ^d	5.49 ^e	0.21 ^{de}	15.6 ^{a-c}	1.66 ^{d-f}	3.03 ^{b-d}	1.67 ^{cd}	6.027 ^{d-f}	باکتری سودوموناس <i>P. putida</i>	
0.35 ^f	3.83 ^{ab}	11.11 ^{bc}	0.35 ^{ab}	14.63 ^{bc}	2.23 ^{ab}	4.83 ^a	3 ^{ab}	6.683 ^{b-d}	قارچ میکوریز MAF	
1.37 ^{a-c}	2.81 ^c	9.26 ^{b-d}	0.3 ^{b-e}	17.87 ^{ab}	1.23 ^f	3.2 ^{bc}	2.67 ^{a-c}	6.78 ^{ab-c}	میکوریز باسیلوس MAF+B. <i>Subtilis</i>	
0.236 ^f	4.74 ^a	15.74 ^a	0.46 ^a	15.97 ^{a-c}	2.5 ^a	4.5 ^a	3 ^{ab}	5.907 ^{ef}	میکوریز باسیلوس + سودوموناس MAF+B. <i>subtilis</i> + <i>P. putida</i>	LSD
0.99 ^{c-e}	2.19 ^{cd}	7.69 ^{c-e}	0.34 ^{bc}	15.3 ^{a-c}	1.5 ^{d-f}	3.5 ^b	3 ^{ab}	4.28 ^g	میکوریز سودوموناس MAF+ <i>P. putida</i>	
0.55	0.9	3.49	0.12	4.108	0.5	0.75	1.107	0.7271		

رقم گل‌دشت، میانگین‌های هر ستون با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD ($P=0.05$) تفاوت معنی‌دار ندارند
Means for each column followed by the same letter do not differ significantly according to the LSD test ($P=0.05$)

نتیجه‌گیری کلی

میکروبی قرار گرفت. به‌طورکلی استفاده هم‌زمان از قارچ میکوریز و باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس بیش‌ترین تأثیر را بر صفات مورد مطالعه نشان داد؛ که این نشان می‌دهد که تلقیح با قارچ میکوریز و باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاهی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر رشد، عملکرد و فتوسنتز در گیاه گلرنگ داشته باشد و ارقام مورد استفاده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان ارقام امیدبخش با افزایش پتانسیل عملکردی در همزیستی با قارچ میکوریز و باکتری‌های محرک رشد استفاده گردند.

نتایج مطالعه دو رقم گلرنگ گلدشت و 6N در مایه‌زنی با دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizophagus* و *Funneliformis mosseae* *intraradices* به‌صورت توأمان و دو گونه باکتری *Pseudomonas putida* و *Bacillus subtilis* نشان داد اثر متقابل رقم در مایه‌زنی میکروبی برای اکثر صفات مورد مطالعه به‌جز وزن دانه در بوته، تعداد دانه در بوته و تعرق معنی‌دار بود. ارقام مورد مطالعه واکنش متفاوتی نسبت به تیمارهای میکروبی نشان دادند به‌طوری‌که رقم گلدشت بیش‌تر تحت تأثیر تیمار

منابع

1. Hamilton, A. C. (2004). Medicinal plants, conservation and livelihoods. *Biodiversity & Conservation*, 13, 1477-1517.
2. Kerem, Z., Lev-Yadun, S., Gopher, A., Weinberg, P., & Abbo, S. (2007). Chickpea domestication in the Neolithic Levant through the nutritional perspective. *Journal of Archaeological Science*, 34(8), 1289-1293.
3. Brundrett, M. C. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154(2), 275-304.
4. Smith, S. E., & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, 227-250.
5. Bowles, T. M., Barrios-Masias, F. H., Carlisle, E. A., Cavagnaro, T. R., & Jackson, L. E. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*, 566, 1223-1234.
6. Keymer, D. P., & Lankau, R. A. (2017). Disruption of plant-soil-microbial relationships influences plant growth. *Journal of Ecology*, 105(3), 816-827.
7. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068.
8. Kobae, Y. (2019). The Infection Unit: An overlooked conceptual unit for arbuscular mycorrhizal function. *Root Biology-Growth, Physiology, and Functions*, 1-13.
9. Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
10. Felestrino, É. B., Santiago, I. F., Freitas, L. D. S., Rosa, L. H., Ribeiro, S. P., & Moreira, L. M. (2017). Plant growth promoting bacteria associated with *Langsdorffia hypogaea*-rhizosphere-host biological interface: a neglected model of bacterial prospection. *Frontiers in microbiology*, 8, 172.
11. Abbaspour, H. (2010). Investigation of the effects of vesicular arbuscular mycorrhiza on mineral nutrition and growth of *Carthamus tinctorius* under salt stress conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57(4), 526-531.
12. Shahraki, A., & Ranjbar, M. M. S. M. (2022). The effect of rhizospheric bacteria on the physiological and biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*). *Nova Biologica Reperta*, 9(3), 213-221. [In Persian]

13. Ghouchani, R., Abbaspour, H., Rusta, M. J., SaidiSar, S., & Saed-Moucheshi, A. (2014). Mycorrhizal inoculation can decrease negative effect of salinity on safflower varieties, *International Journal of Biosciences*, 5(11), 76-85.
14. Xu, Y., Fan, Y., Yu, Y. H., Xu, C. Y., & Ge, Y. (2014). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on the growth and physiological salt tolerance parameters of *Carthamus tinctorius* seedlings under salt stress. *Chinese Journal of Ecology*, 33(12), 3395.
15. Lack, S., Ghooshchi, F., & Hadi, H. (2013). The effect of crop growth enhancer bacteria on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(20), 809-815.
16. Vivas, A., Marulanda, A., Ruiz-Lozano, J. M., Barea, J. M., & Azcón, R. (2003). Influence of a *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG-induced drought stress. *Mycorrhiza*, 13, 249-256.
17. Hatami, N., Mehrabi Gohari, E., Tashakorizadeh, M., & Sedaghati, E. (2024). Studying the effect of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphological and physiological traits of *Artemisia dracunculus*. *Genetics and Plant Breeding*, 1(1), 97-118. [In Persian]
18. Bagheri, V., Shamshiri, M. H., Alaei, H., & Salehi, H. (2019). The role of inoculum identity for growth, photosynthesis, and chlorophyll fluorescence of zinnia plants by arbuscular mycorrhizal fungi under varying water regimes. *Photosynthetica*, 57(2).
19. Belete, D. A., Tewachew, A., Bitew, M., & Mulualem, T. (2022). Correlation and path coefficient studies for yield and its components of upland rice (*Oryza sativa* L.) in North Western Ethiopia. *Journal of Scientific Agriculture*, 6, 14-19.
20. Park, J. R., Seo, J., Park, S., Jin, M., Jeong, O. Y., & Park, H. S. (2023). Identification of potential QTLs related to grain size in rice. *Plants*, 12(9), 1766.
21. Begum, M., Rai, V. R., & Lokesh, S. (2003). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on seed borne fungal pathogens in okra, *Indian Phytopathology*, 56(2), 156-158.
22. Canbolat, M. Y., Bilen, S., Çakmakçı, R., Şahin, F., & Aydın, A. (2006). Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 350-357.
23. Entesari, M., Sharifzadeh, F., Ahmadzadeh, M., & Farhangfar, M. (2013). Seed biopriming with *Trichoderma* species and *Pseudomonas* fluorescent on growth parameters, enzymes activity and nutritional status of soybean. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 610-619.
24. Cardarelli, M., Woo, S. L., Roupael, Y., & Colla, G. (2022). Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *Plants*, 11(3), 259.
25. Raei, Y., Shariati, J., & Weisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *The Journal of Agricultural Science*. 25, 65-84. [In Persian]
26. Tonguç, M., Önder, S., Mutlucan, M., & Erbaş, S. (2023). Role of rhizobacteria inoculations on agronomic and quality characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under unfertilized conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 28(1), 79-86.
27. Ekin, Z. (2020). Co-application of humic acid and bacillus strains enhances seed and oil yields by mediating nutrient acquisition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants in a semi-arid

- region. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18, 1883-1900.
28. Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11(2), 219.
29. Khan, M. Y., Nadeem, S. M., Sohaib, M., Waqas, M. R., Alotaibi, F., Ali, L., & Al-Barakah, F. N. (2022). Potential of plant growth promoting bacterial consortium for improving the growth and yield of wheat under saline conditions. *Frontiers in Microbiology*, 13, 958522.
30. Nosheen, A., Bano, A., Ullah, F., Farooq, U., Yasmin, H., & Hussain, I. (2011). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on root morphology of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10(59), 12638-12649.
31. Prasad, R. D., Navaneetha, T., & Rao, L. V. (2016). Plant growth promotion and induced defense response in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) by *Trichoderma*. *Journal of Biological Control*, 40-48.
32. Dimitrov, S. G., & Sabluk, V. T. (2022). Formation of the leaf surface area of agricultural crops depending on the mass of the root system according to its mycorrhization. *Bioenergy*, 1-2, 29-31.
33. Li, X., Zhao, R., Li, D., Wang, G., Bei, S., Ju, X., & Zhang, J. (2023). Mycorrhiza-mediated recruitment of complete denitrifying *Pseudomonas* reduces N₂O emissions from soil. *Microbiome*, 11(1), 45.
34. Lies, A., Delteil, A., Prin, Y., & Duponnois, R. (2018). Using mycorrhiza helper microorganisms (MHM) to improve the mycorrhizal efficiency on plant growth. *Role of rhizospheric microbes in soil: volume 1: stress management and agricultural sustainability*, 277-298.
35. Abdalla, M., & Ahmed, M. A. (2021). Arbuscular mycorrhiza symbiosis enhances water status and soil-plant hydraulic conductance under drought. *Frontiers in Plant Science*, 12, 722954.
36. Meng, P., Chen, W., Feng, H., Zhang, S., Wang, J., Ma, W., & Wang, C. (2022). Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Catalpa bungei*. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 52.
37. Beltayef, H., Saidi, W., Hajri, R., Mechri, M., & Melki, M. (2023). Mycorrhizal fungi inoculation effect on plant growth and phosphorus metabolism of snap bean variety "Contender. *GSC Advanced Research and Reviews*, 15(03), 201-206.
38. Lotfollahi, A., Bolandnazar, S., Aliasgharzad, N., Khoshru, B., & Siami, A. (2021). Effects of Inoculation with Arbuscular Mycorrhiza and Mycorrhiza-Like Fungi on Growth and Phosphorus Uptake of Coriander. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 87-101. [In Persian]
39. Teimory, H., Ghabooli, M., & Movahedi, Z. (2021). Effects of different inoculation methods of *Serendipita indica* on some morphophysiological, biochemical, and yield traits of tomato under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 13(2), 1-22. [In Persian]
40. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2017). Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Sol Biology*, 5(1), 49-66. [In Persian]
41. Ghorbani, A., Pirdashti, H., & Ramezani, M. (2016). Effect of endophyte fungal symbiosis of *Piriformospora indica* on morphological character and photosynthesis pigments in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 6(24), 57-64. [In Persian]
42. Jahandideh Mahjen-Abadi, V. A., Sepehri, M., & Rahmani Iranshahi, D.

- (2014). Effect of Piriformospora indica fungus inoculation on uptake and transportation of some nutrients in two wheat cultivars. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(3), 155-173. [In Persian]
43. Muhammad, M., Isnatin, U., Soni, P., & Adinurani, P. G. (2021). Effectiveness of mycorrhiza, plant growth promoting rhizobacteria and inorganic fertilizer on chlorophyll content in *Glycine max* L. cv. Detam-4 Prida, the 1st International Conference on Bioenergy and Environmentally Sustainable Agriculture Technology, 226.
44. Budi, S. W., Arty, B., Wibowo, C., & Sukendro, A. (2020). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and soil ameliorants on the mycorrhizal colonization, Chlorophyll content, and performance growth of Two tropical tree seedlings grown in soil media with high aluminum content. *Malaysian Applied Biology*, 49(1), 41-53.
45. Deshmukh, R. B., Mane, S. G., Phatake, Y. B., Marathe, R. J., Sandhya, Sudhakar, D., Dange, Bharat, & Shinde. (2023). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of Zea mays L. *Research Journal of Biotechnology*, 18(7), 16-22.
46. Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z., & Ahammed, G. J. (2017). Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. *Frontiers in Microbiology*, 8, 251.
47. Ran, Q., Zhang, S., Arif, M., Yin, X., Chen, S., & Ren, G. (2024). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on carbon assimilation and ecological stoichiometry of maize under combined abiotic stresses. *Journal of Plant Ecology*, 17(2), 10.
48. Peng, Z., Zulfiqar, T., Yang, H., Wang, M., & Zhang, F. (2024). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on photosynthetic characteristics of cotton seedlings under saline-alkali stress. *Scientific Reports*, 14(1), 8633.
49. Kebede, T. G., Birhane, E., Ayimut, K. M., & Egziabher, Y. G. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi improve biomass, photosynthesis, and water use efficiency of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different water levels. *Journal of Arid Land*, 15(8), 975-988.
50. Chandrasekaran, M., Chanratana, M., Kim, K., Seshadri, S., & Sa, T. (2019). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, water status, and gas exchange of plants under salt stress—a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 457.