J. Soil Plant Interact. 2026; 17(1): 21–35. https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21502

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

The Effect of Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species on Improving The Morphophysiological Traits of *Rosa hybrida* (cv. Chiti)

Morteza Keramatzadeh, Mitra Aelaei*, Masoud Arghavani and Fahimeh Salehi

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
* Corresponding author, Email: maelaei@znu.ac.ir

(Received: 2 November 2025; Revised: 28 December 2025; Accepted: 29 December 2025)

Abstract

Background and Objective: The production of ornamental plants is of great importance due to their high economic value and aesthetic appeal. Proper plant nutrition plays a crucial role in improving the final product. Biofertilizers, which contain beneficial microorganisms such as fungi and bacteria, enhance plant growth by improving soil properties. This study was conducted to evaluate the effects of three arbuscular mycorrhizal fungi species on some morphophysiological traits of *Rosa hybrida* (cv. Chiti).

Methods: The experiment was carried out as a completely randomized design with four replications. Experimental treatments included three fungi species and their dual and triple combinations: *Funneliformis mosseae*, *Funneliformis castaneae*, *Funneliformis margarita*, *F. margarita* × *F. castaneae*, *F. margarita* × *F. mosseae*, *F. mosseae* × *F. castaneae*, and *F. castaneae* × *F. margarita* × *F. mosseae*, along with a vermicompost treatment combined with the base substrate (consisted of garden soil, cocopeat, and perlite mixed at 1:1:1 volumetric ratio) and a non-inoculated control. After flower emergence, traits including number of flowers, peduncle length, fresh and dry weights of shoot, fresh and dry weights of root, root length, total chlorophyll content, relative water content, total phenol content, antioxidant capacity, catalase enzyme activity, and root colonization percentage were measured.

Results: Inoculation with different mycorrhizal fungi significantly improved growth and flower quality of rose plants. The highest peduncle length (73.02 mm), number of flowers (6.75 flowers per plant), and shoot fresh and dry weights (62.41 and 30.55 g per plant, respectively) were obtained in the *F. castaneae* × *F. margarita* × *F. mosseae* treatment. Compared to the control, the triple mycorrhizal treatment resulted in increases of 95.9 and 95.8% in root fresh and dry weights, respectively. In addition, total phenolic content and antioxidant capacity increased by 57.8 and 81.7%, respectively, under the triple mycorrhizal treatment compared with the control.

Conclusion: The application of different arbuscular mycorrhizal fungi species, particularly in combined forms, can be an effective strategy for achieving desirable growth indices, enhancing physiological performance, and increasing flowering in hybrid rose plants.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Biofertilizer, Dry root weight, Flower number, Ornamental plants.

How to Cite: Keramatzadeh, M., Aelaei, M., Arghavani, M., Salehi, F., 2026. The effect of different arbuscular mycorrhizal fungi species on improving the morphophysiological traits of chiti (*Rosa hybrida*). J. Soil Plant Interact. 17(1), 21–35 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21502

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۵؛ ۱۷(۱): ۳۵-۲۱، https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21502

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

تأثیر گونه‌های مختلف میکوریزا آربوسکولار بر بهبود صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه رز هیبریدا (*Rosa hybrida* cv. Chiti)

مرتضی کرامت‌زاده، میترا اعلائی*، مسعود ارغوانی و فهیمه صالحی

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: maelaei@znu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۱۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۸)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: تولید گیاهان زینتی به‌دلیل ارزش اقتصادی و زیبایی آن‌ها اهمیت زیادی دارد و تغذیه نقش مهمی در بهبود محصول ایفا می‌کند. کودهای زیستی دارای ریزجاندارانی مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها، با بهبود ویژگی‌های خاک، رشد گیاه را تقویت می‌کنند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سه گونه میکوریزا بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه رز هیبریدا (*Rosa hybrida* cv. Chiti) انجام شد.

روش‌ها: آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی سه گونه میکوریزا و اثر ترکیبی دوگانه و سه‌گانه این قارچ‌ها شامل: *Funneliformis mosseae*، *Funneliformis castaneae*، *Funneliformis margarita*، *Funneliformis* × *Funneliformis margarita*، *Funneliformis mosseae* × *Funneliformis castaneae*، *Funneliformis mosseae* × *Funneliformis margarita*، *Funneliformis* × *castaneae*، *Funneliformis mosseae* × *Funneliformis margarita* × *castaneae* به همراه یک تیمار ورمی‌کمپوست همراه بستر پایه (خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت به نسبت‌های حجمی برابر ۱:۱:۱)، و شاهد بود. پس از گل‌دهی، صفات تعداد گل، طول دم‌گل، وزن تازه و خشک شاخساره، وزن تازه و خشک ریشه، طول ریشه، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز و درصد کلونیزاسیون ریشه اندازه‌گیری شد.

نتایج: تیمار با گونه‌های مختلف قارچ، رشد و کیفیت گل رز را بهبود بخشید، به‌طوری‌که بیشترین میزان طول دم‌گل (۷۳/۰۲ میلی‌متر)، تعداد گل (۶/۷۵ گل در بوته) و وزن تازه و خشک شاخساره به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۲/۴۱ و ۳۰/۵۵ گرم در بوته در تیمار ترکیبی *F. mosseae* × *F. castaneae* × *margarita* مشاهده شد. همچنین افزایش ۹۵/۹ و ۹۵/۸ درصدی در وزن تازه و خشک ریشه در تیمار سه قارچ نسبت به شاهد حاصل شد. همچنین افزایش ۵۷/۸ و ۸۱/۷ درصدی در میزان فنل کل و آنتی‌اکسیدان در همین تیمار نسبت به شاهد حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج نشان داد استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا آربسکولار، به‌ویژه به صورت ترکیبی، می‌تواند در زمینه دستیابی به شاخص‌های رشدی مطلوب، بهبود کارکرد فیزیولوژیک و افزایش گل‌دهی در گیاه رز هیبریدا سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد گل، کود زیستی، گیاهان زینتی، میکوریزا آربوسکولار، وزن خشک ریشه.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۵ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

در مجموعه فعالیت‌های کشاورزی، گل‌کاری بخشی از باغبانی است که در طول دهه‌های گذشته توسعه یافته و نه تنها باعث افزایش درآمد و ایجاد اشتغال شده است، بلکه گل‌ها به دلیل زیبایی و طراوت نقش مهمی در زندگی بشر دارند (Vukajlovic et al., 2017; Božanić Tanjga et al., 2022). گل رز با نام علمی *Rosa hybrida* متعلق به خانواده گل‌سرخیان به عنوان مهم‌ترین گیاهان زینتی در سراسر جهان شناخته می‌شوند. گیاهان این خانواده به صورت علفی، درخت یا درختچه‌ای هستند (Ogata et al., 2005; Ogata et al., 2005) که برای اهداف مختلفی مانند شاخه‌بریده، کشت در باغ‌ها و پارک‌ها و همچنین کاربرد گلدانی در سراسر جهان کشت می‌شوند. این گیاه حدود ۷۰-۶۰ درصد از کل تجارت گل‌های شاخه‌بریده را در بازارهای جهانی به خود اختصاص داده است (Sujatha et al., 2020). با توجه به اهمیت گیاهان زینتی، مدیریت تغذیه‌ی آن‌ها نقش مهمی در افزایش تولید و کیفیت گل‌ها دارد (Amjazi and Hamidpour, 2012). به عبارتی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت و طول عمر پس از برداشت گل‌های زینتی، تغذیه آن طی دوره پرورش است (Abbasi et al., 2004). کودهای زیستی شامل ریزجانداران زنده یا ترکیبات طبیعی مشتق‌شده از جاندارانی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها هستند که باعث بهبود حاصلخیزی و کیفیت شیمیایی و بیولوژیک خاک و تحریک رشد گیاه می‌شوند (Garcia-Gonzalez and Sommerfeld, 2016). قارچ‌های ریشه همزیست‌های ریشه‌ای هستند که ۹۰٪ گیاهان آوندی را کلونیزه می‌کنند. این قارچ‌ها جذب آب و مواد معدنی توسط گیاهان را افزایش داده و همچنین رشد گیاهان را در محیطی با مواد مغذی کم حفظ می‌کنند که این عامل ناشی از پتانسیل آن‌ها در کاهش آبشویی مواد مغذی از خاک است (Ziane et al., 2021). قارچ میکوریزا آربسکولار یکی از مهم‌ترین ریزجانداران خاک است که می‌تواند با ریشه بیشتر گیاهان همزیستی برقرار کند. این قارچ می‌تواند موجب بهبود رشد بسیاری از گیاهان، افزایش جذب مواد غذایی (Zhang et al., 2011)، بهبود تحمل به خشکی (Auge et al., 2015)، افزایش تحمل به تنش‌ها (Evelin et al., 2009)، کاهش آسیب‌پذیری گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا (Veresoglou and Rillig, 2012)، افزایش سطوح فیتوهورمون‌ها، تثبیت فیزیکی و شیمیایی خاکدانه‌ها، بهبود روابط آبی و تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه افزایش جذب عناصری مانند فسفر امکان تولید بهتر گیاهان در شرایط آب و هوایی مناطق خشک و نیمه‌خشک شود (Song, 2005; Boutasknit et al., 2021). گزارش ارائه‌شده در راستای تیمار گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) با قارچ همزیست گونه *G. mosseae* بیشترین میزان وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه را نسبت به شاهد نشان داد (Sohn et al., 2003). از طرفی، کاربرد کودهای شیمیایی اگرچه نقش مؤثری در تأمین مواد مغذی خاک دارند ولی موجب تخریب ساختمان خاک‌های زراعی، آلودگی زیست‌محیطی مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و آسیب به سلامتی انسان و سایر جانداران می‌گردند. همچنین استفاده درازمدت از آن‌ها سبب تغییر اسیدیته و ویژگی‌های فیزیکی خاک شده و حتی ماده‌ی آلی خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Adediran et al., 2004; Sunarpi et al., 2020). از این رو امروزه استفاده از کودهای زیستی با منشأ باکتری، قارچ، جلبک و یا دیگر جانداران خاک‌زی مورد توجه قرار گرفته است که سازوکار عمل آن‌ها فراهمی عناصر غذایی خاک برای گیاه را افزایش می‌دهد (Razavipour et al., 2019). از دیگر مزایایی این کودها استخراج آسان، مقرون به‌صرفه بودن، غیرآلاینده، غیرسمّی و همچنین دارای ترکیبات زیست‌فعال طبیعی هستند (Nidhi et al., 2021). در پژوهش صورت‌گرفته روی گل شاخه‌بریده لاله، میکوریزا سبب افزایش رشد رویشی و گل‌دهی در این گیاه شد (Chutichudet et al., 2010). همچنین گزارش شده است که تلقیح میکوریزا در گل ژربرا سبب افزایش سطح برگ و در نهایت افزایش وزن خشک و تازه شاخساره شد (Autio, 1998). علاوه بر این در پژوهشی دیگر بر روی گل شاخه‌بریده لیلیوم تلقیح میکوریزا سبب افزایش ۴/۱۵ (تعداد) گل نسبت به شاهد شد. (Sobhani et al., 2016). در نتیجه با توجه به تأثیر مثبت کودهای

زیستی در رشد و نمو گیاهان، این پژوهش در راستای بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا به منظور بهبود صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه رز انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر قارچ‌ها بر صفات رشدی گل زینتی رز، در سال ۱۴۰۲، آزمایشی در گلخانه پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. در این آزمایش سه گونه مختلف میکوریزا و اثر ترکیبی دوگانه و سه‌گانه این قارچ‌ها شامل: *F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita*، *F. mosseae × F. castaneae*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. margarita* و *F. mosseae × F. castaneae × F. margarita* به همراه یک تیمار ورمی‌کمپوست همراه بستر پایه (خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت به نسبت‌های حجمی برابر ۱:۱:۱)، و شاهد در نظر گرفته شد. مایه قارچی میکوریزا آربسکولار مورد استفاده در این پژوهش از شرکت دانش‌بنیان زیست‌فن‌آوران توران، از شرکت‌های معتبر و متخصص در زمینه قارچ میکوریزا تهیه شد. تراکم اسپور مایه قارچی بر اساس اطلاعات ارائه‌شده توسط تولیدکننده و تأیید آزمایشگاهی، حدود ۳۰۰–۱۰۰ اسپور در هر گرم بستر گزارش شد. به‌منظور اطمینان از سلامت و قابلیت حیات مایه قارچی، پیش از استفاده آزمون جوانه‌زنی اسپور و کلونیزاسیون ریشه انجام گرفت؛ بدین صورت که نمونه‌ای از مایه قارچی در شرایط کنترل‌شده به گیاه میزبان تلقیح و پس از ۶–۴ هفته، ریشه‌ها با روش رنگ‌آمیزی (Phillips and Hayman, 1970) بررسی شدند که تشکیل ساختارهای مشخص میکوریزایی شامل هیف، آربوسکول و وزیکول مشاهده شد که نشان‌دهنده زنده‌بودن و قابلیت کلونیزاسیون قارچ بود. همچنین نهال‌های ۳۰–۲۰ سانتی‌متری گل رز از گلخانه‌ای در شهر محلات تهیه شده و در گلخانه به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر و دارای بسترهای کاملاً یکنواخت خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت با نسبت‌های حجمی برابر (۱:۱:۱) منتقل شدند. پیش از اعمال تیمار، ویژگی‌های خاک گلدان اندازه‌گیری شد (جدول ۱). خاک مورد استفاده به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر اتوکلاو گردید. سپس برای مایه‌کوبی هر کیلوگرم از خاک، ۵۰ گرم از هر یک از قارچ‌ها و در تیمارهای ترکیبی، از ترکیب میکوریزا استفاده شد (Aliasgharzad et al., 2006). همچنین در تیمار ورمی‌کمپوست، میزان ۱۵ درصد به ترکیب خاک بستر کشت پایه افزوده شد. در طول دوره رشد گیاه، شرایط محیطی به‌گونه‌ای تنظیم که دمای روز در محدوده ۲۰ تا ۲۶ درجه سلسیوس و دمای شب بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سلسیوس حفظ شد و رطوبت نسبی هوا در بازه ۵۵ تا ۷۵ درصد قرار گرفت. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و به منظور جلوگیری از بروز تنش رطوبتی، زمانی انجام شد که رطوبت بستر به حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد گنجایش مزرعه‌ای کاهش یافت، به‌طوری‌که در هر نوبت آبیاری، اندکی زه‌آب (برخه آبشویی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) مشاهده شد.

پس از اتمام دوره رشدی گیاه و شروع گل‌دهی که حدوداً ۸ هفته به طول انجامید، صفات مورفوفیزیولوژیک شامل تعداد گل، طول دم‌گل، وزن تازه و خشک شاخساره، وزن تازه و خشک ریشه، طول ریشه، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز و درصد کلونیزاسیون ریشه اندازه‌گیری شد. پس از گل‌دهی، تعداد گل در هر بوته از ابتدا تا انتها دوره گل‌دهی شمارش و ثبت شد. طول دم‌گل در هر تکرار از سه گل متفاوت توسط کولیس (بر حسب میلی‌متر) اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. بوته گل رز از خاک خارج شده و پس از پاک‌سازی تمامی خاک‌های ناحیه ریشه، توسط خط‌کش از طوقه تا انتهایی‌ترین نقطه ریشه اندازه‌گیری شده و بر حسب سانتی‌متر بیان شد. برای اندازه‌گیری وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه، پس از جداسازی به طور مجزا کامل ریشه‌های را شسته و بلافاصله وزن تازه شاخساره و ریشه به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ g) اندازه‌گیری شد و سپس به مدت ۲۴ h هر دو قسمت گیاه به طور مجزا به آون با دمای ۶۰ °C منتقل شده و پس از خشک‌شدن، وزن خشک آن‌ها توسط ترازو تعیین شد

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک پیش از شروع آزمایش

Table 1. Results of soil analysis before the experiment

K (ppm) پتاسیم	P (ppm) فسفر	pH	Electrical conductivity, EC (dS m^{-1}) رسانایی الکتریکی	N (%) نیتروژن	Soil texture بافت خاک
43	10	6.2	1.02	0.5	Clay loam رسی لومی

(Arghavani, 2009). برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از راه درصد مهار رادیکال آزاد DPPH و به‌صورت درصد بازدارندگی بیان شد (Dehgan and Khoshkam, 2012). محتوای نسبی آب به روش Ritchie and Nguyen (1990) و درصد کلونیزاسیون ریشه با روش Phillips and Hayman (1970) اندازه‌گیری شد.

کلروفیل

اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ با استفاده از روش Arnon (1949) انجام گرفت. بدین منظور مقدار ۰/۱ g از بافت تازه برگ توزین شده و در هاون چینی ریخته شد. سپس ۱۰ mL استون ۸۰ درصد به نمونه افزوده شده و در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۵۰۰۰ rpm/min به مدت ۱۵ min قرار داده شد. عصاره جداشده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ را در درون کووت ریخته و سپس میزان جذب عصاره استخراج‌شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Analytikjena specord 250 در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شده و با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل محاسبه شد:

$$\text{Chlorophyll a mg/g FW} = [12.7(A663) - 2.69(A645)] \times V/1000W \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b mg/g FW} = [22.9(A645) - 4.68(A663)] \times V/1000W$$

$$\text{Total Chlorophyll mg/g FW} = [20.2(A645) + (8.02(A663)] \times V/1000W$$

ک در این روابط، A663 میزان جذب در طول موج ۶۶۳ نانومتر، A645 میزان جذب در طول موج ۶۴۵ نانومتر، V حجم نمونه استخراج‌شده (cm^3)، و W وزن تازه نمونه (g) است.

فنل کل

اندازه‌گیری محتوای فنل کل بر اساس روش فولین سیوکالچو انجام شد. ابتدا ۱۱۷۰ میکرولیتر آب مقطر، ۳۰ میکرولیتر عصاره، ۳۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد در فالکون ریخته شده و پس از گذشت ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد افزوده شد و ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفت و سپس در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت گردید. غلظت‌های مختلف اسید گالیک ۲۵ تا ۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به عنوان استاندارد برای رسم منحنی استاندارد به کار رفت. محتوای فنل کل عصاره براساس میلی‌گرم معادل اسید گالیک بر یک گرم وزن خشک گیاه محاسبه شد (Sogvar et al., 2020).

آنزیم کاتالاز

ارزیابی فعالیت کاتالاز بر اساس نرخ تجزیه پراکسید هیدروژن (H_2O_2) موجود در سوبسترای آنزیمی متناسب با کاهش جذب در ۲۴۰ نانومتر بر اساس روش Cakmak and Hoarest (1991) انجام گرفت. به این منظور از بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی‌مولاری با pH= ۶/۸، آب اکسیژنه ۱۰ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی استفاده شد. ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش دارای ۲/۴ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات، ۵۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. از مخلوط واکنش بدون عصاره آنزیم به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. میزان تجزیه آب اکسیژنه با کاهش جذب طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت یک دقیقه پیگیری شد و فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس تغییرات در میزان جذب ۲۴۰ نانومتر به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شده است.

کلیه داده‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۴ تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر قارچ‌های ریشه بر صفات مورفولوژیک گیاه رز هیبریدا

Table 1. Analysis of variance (ANOVA) for the effects of mycorrhizal fungi on morphological traits of *Rosa hybrida*

Root length طول ریشه	Fresh root weight وزن تازه ریشه	Dry shoot weight وزن خشک شاخساره	Fresh shoot weight وزن تاره شاخساره	Peduncle length طول دمگل	Number of flowers تعداد گل	Df درجه آزادی	Sources of variation منابع تغییر
68**	69.16**	560.03**	168.07**	286.94**	7.17**	8	Fungi قارچ
17.68	21.08	110.89	106.09	67.79	5.25	27	Error خطا
6.91	8.14	14.93	14.01	12.51	20.64	-	CV (%) ضریب تغییرات (٪)

** بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

** indicates significant effect at 1% probability level.

از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (α =۰/۰۵) در سطوح ۵ و ۱ درصد انجام گرفت و تمامی شکل‌ها توسط Excel ترسیم شدند.

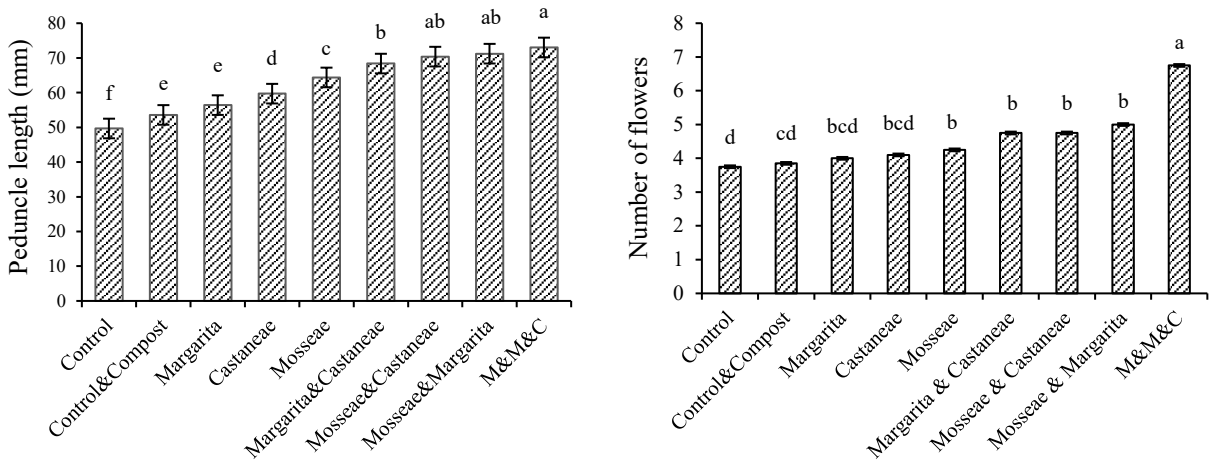
نتایج

تأثیر تیمارهای قارچی بر صفات مورفولوژیک گیاه رز

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، استفاده از تیمارهای میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار (در سطح یک درصد) تمامی صفات مورفولوژیک از جمله تعداد گل، طول دم‌گل، وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه و طول ریشه شد (جدول ۲). در تیمار ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد، تفاوت آماری معنی‌داری در صفات مختلف مورفولوژیک به جز طول دم‌گل مشاهده نشد. براساس نتایج مقایسه میانگین، در مورد طول دم‌گل بیشترین میزان در اثر ترکیبی سه‌گانه قارچ‌ها با میانگین ۷۳/۰۲ میلی‌متر نسبت به شاهد با میانگین ۴۹/۶۸ میلی‌متر مشاهده شد که افزایش ۴۷ درصدی را تیمار قارچ در این صفت نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱). همچنین افزایش ۷/۲۸ درصدی در تیمار کمپوست نسبت به شاهد مشاهده شد. در اثر کاربرد انواع میکوریزا، افزایش در تعداد گل مشاهده شد. به عبارتی بیشترین تعداد گل در تیمار اثر ترکیبی سه‌گانه قارچ‌ها با میانگین ۶/۷۵ گل در بوته و کمترین در شاهد با میانگین ۳/۷۵ گل در بوته مشاهده شد که افزایش ۸۰ درصدی نشان داد (شکل ۱). وزن تازه و خشک شاخساره نیز تحت تیمار سه‌گانه میکوریزا (به‌ترتیب با مقادیر میانگین ۶۲/۴۱ و ۳۰/۵۵ گرم در بوته) بیشترین مقدار و در شاهد (به‌ترتیب با مقادیر میانگین ۴۱/۵۳ و ۱۸/۳ گرم در بوته) کمترین میزان را نشان دادند. به عبارتی میزان وزن تازه و خشک شاخساره تحت تیمار سه‌گانه قارچ به‌ترتیب ۵۰/۳ و ۶۶/۹ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت (شکل ۲). بین تیمارهای میکوریزا از نظر طول ریشه، وزن تازه و خشک ریشه رابطه مستقیمی وجود داشت؛ به عبارت دیگر، با افزایش طول ریشه، میزان وزن تازه و خشک ریشه نیز افزایش می‌یابد. در بین تیمارها، بیشترین طول ریشه، وزن تازه و خشک ریشه به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۸/۲۵ سانتی‌متر و ۶۲/۸۹ و ۱۹/۷۸ گرم در بوته در تیمار ترکیبی سه‌گانه قارچ‌های ریشه و کمترین میزان آن‌ها در شاهد به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۵/۷۵ سانتی‌متر، ۳۲/۱ و ۱۰/۱ گرم در بوته مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴). در واقع براساس نتایج مقایسه میانگین، افزایش ۷۹/۴ درصدی در طول ریشه و ۹۵/۹ و ۹۵/۸ درصدی در وزن تازه و خشک ریشه در تیمارهای ترکیبی سه قارچ نسبت به شاهد مشاهده شد.

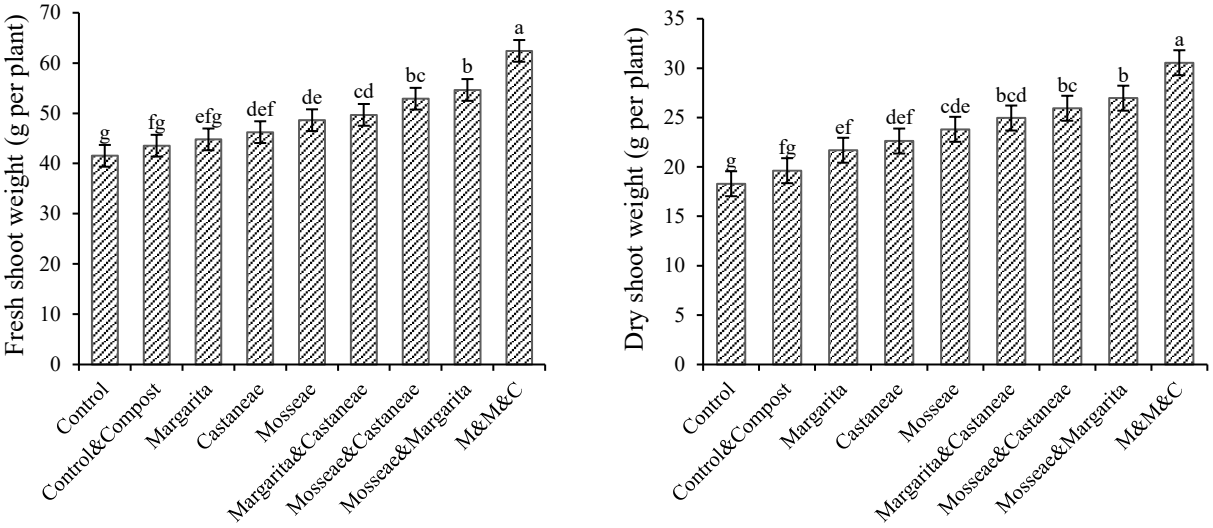
تأثیر تیمارهای قارچی بر صفات فیزیولوژیک در گیاه رز

نتایج تجزیه واریانس برای صفات فیزیولوژیک مانند صفات کلروفیل کل، ظرفیت نسبی آب، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی



شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر طول دم‌گل و تعداد گل در رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

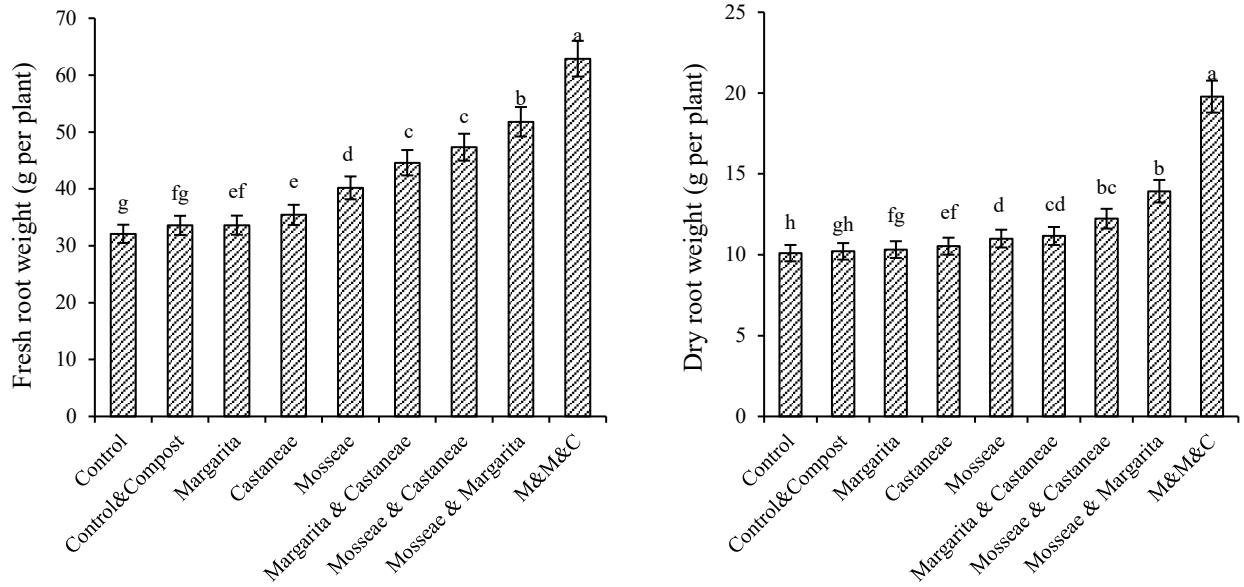
Fig. 1. Mean comparisons of the effect of different mycorrhizal fungi species on peduncle length and flower number in *Rosa hybrida*. Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.



شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر وزن تازه و خشک شاخساره رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

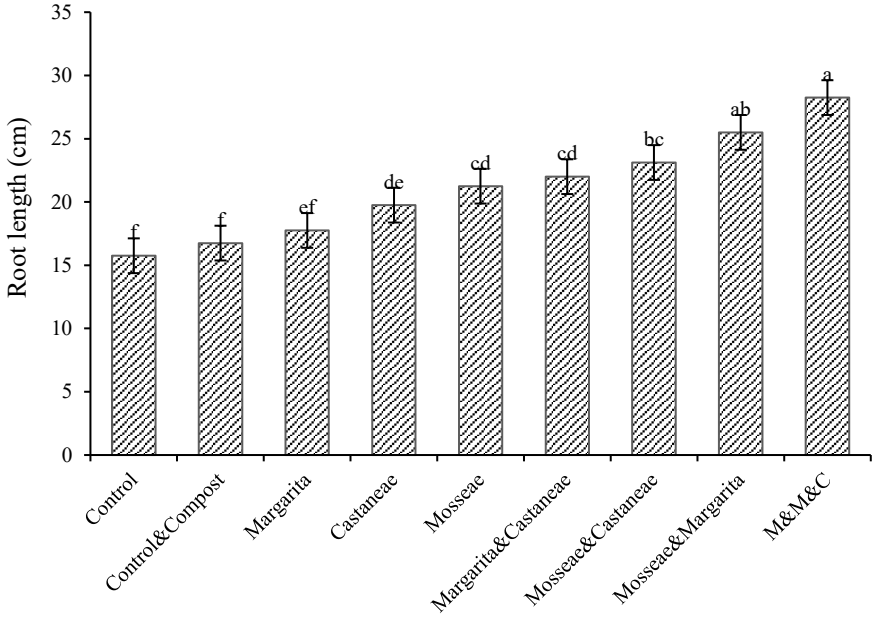
Fig. 2. Mean comparisons of the effect of different mycorrhizal fungi species on fresh and dry shoot weights in *Rosa hybrida*. Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.

و آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تیمارهای میکوریزا تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد (p<۰/۰۱) را نشان داد (جدول ۳). به عبارتی استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا بر این صفات مؤثر بوده و روند افزایشی دارد؛ اما بین تیمار ورمی‌کمپوست با شاهد، تفاوت آماری معنی‌داری در صفات مختلف فیزیولوژیک مشاهده نشد. کلروفیل کل نیز با میانگین ۱/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه در تیمار ترکیبی سه‌گانه و همچنین میانگین ۱/۷۳ میلی‌گرم بر گرم در اثر ترکیبی دوگانه قارچ‌های *G. castaneae* × *G. mosseae*



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر وزن تازه و خشک ریشه در رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

Fig. 3. Mean comparisons of the effect of different mycorrhizal fungi species on fresh and dry root weights in *Rosa hybrida*. Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر طول ریشه در رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

Fig. 4. Mean comparisons of the effect of different mycorrhizal fungi species on root length in *Rosa hybrida*. Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.

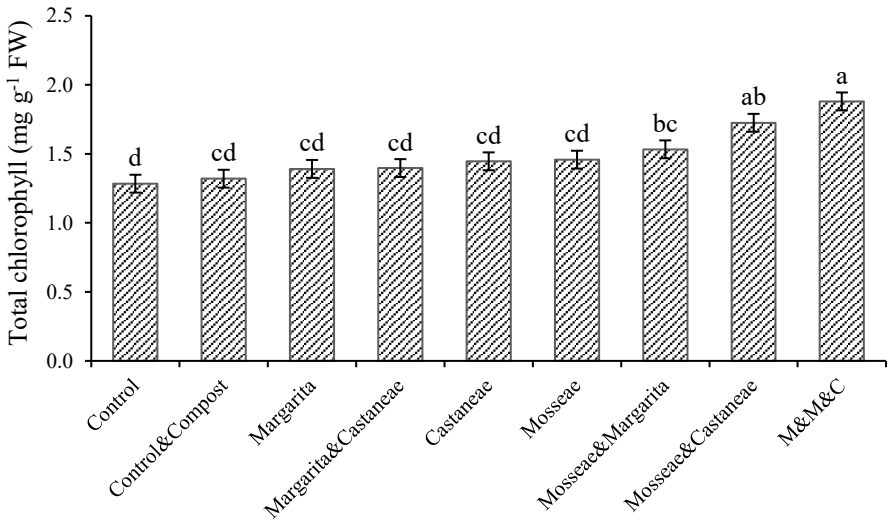
جدول ۳. تجزیه واریانس اثر قارچ‌های ریشه بر صفات فیزیولوژیک گیاه رز هیبریدا

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) for the effects of mycorrhizal fungi on physiological traits of *Rosa hybrida*

Catalase activity آنزیم کاتالاز	Antioxidant capacity ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	Total phenol فنل کل	Relative water content (RWC) محتوی نسبی آب	Total chlorophyll کلروفیل کل	Df درجه آزادی	Sources of variation منابع تغییر
24.77**	329.37**	3.65**	329.32**	0.150**	8	Fungi قارچ
0.884	12.7	0.32	12.7	0.016	27	Error خطا
17.67	8.16	9.74	4.84	8.34	-	CV (%) ضریب تغییرات (٪)

** بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

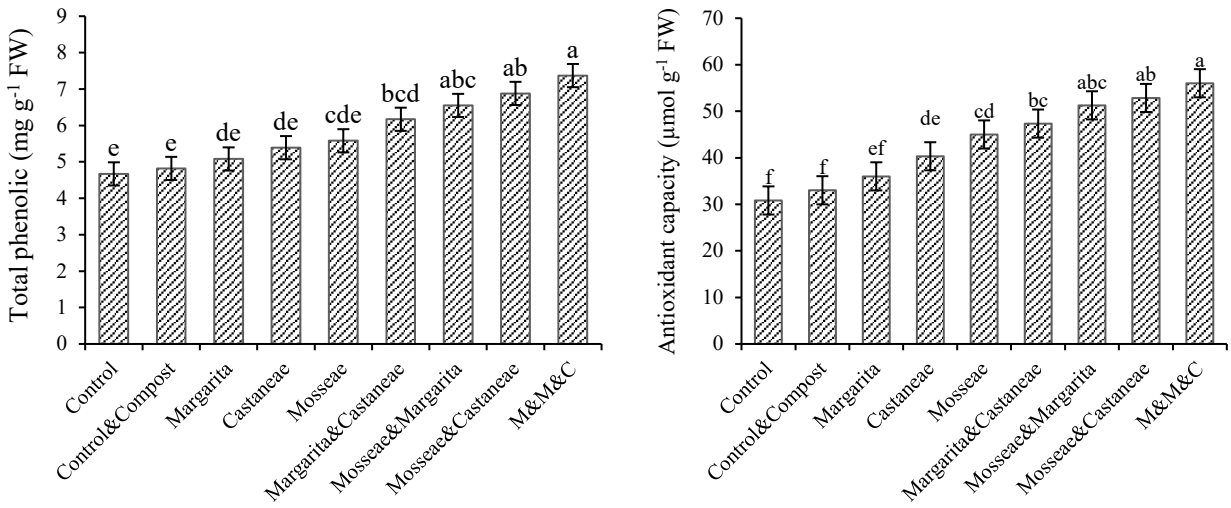
** indicates significant effect at 1% probability level.



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر کلروفیل کل در رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

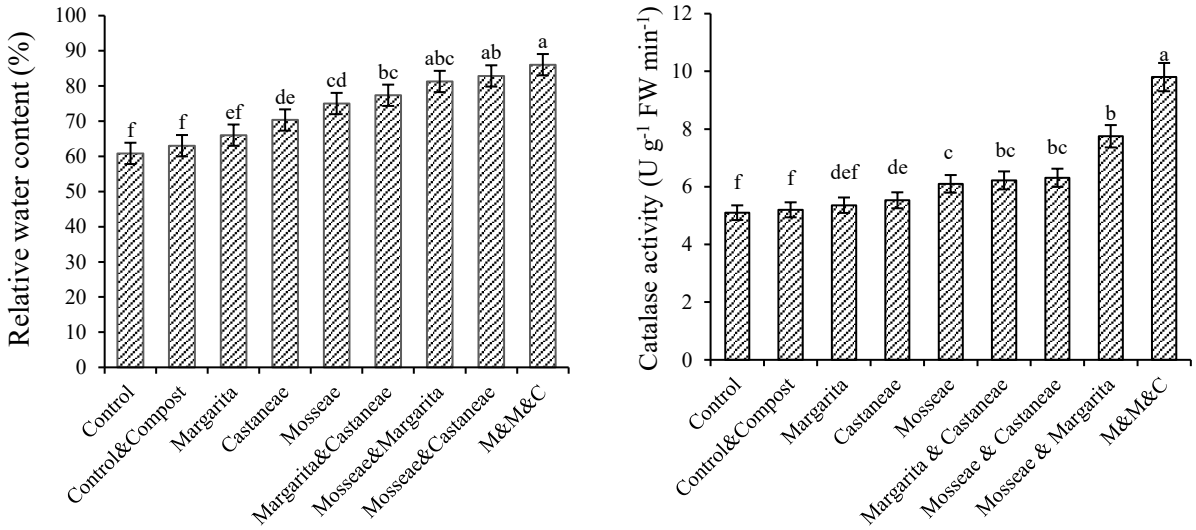
Fig. 5. Mean comparisons of the effect of different mycorrhizal fungi species on total chlorophyll in *Rosa hybrida*. Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.

بیشترین میزان، و در شاهد با میانگین ۱/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه کمترین میزان این صفت مشاهده شد (شکل ۵). براساس نتایج حاصله، افزایش ۴۶/۹ درصدی در این صفت نسبت به شاهد حاصل شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان فنل کل در اثر ترکیبی سه‌گانه قارچ‌ها با میانگین ۷/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه و کمترین مقدار آن در شاهد با میانگین ۴/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه مشاهده شد (شکل ۶). بر اساس این نتایج افزایش ۵۷/۸۲ درصدی در میزان فنل کل نسبت به شاهد حاصل شد. بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان در تیمار اثر ترکیبی سه‌گانه قارچ با میانگین ۵۶/۰۳ میکرومول بر گرم وزن تازه و کمترین میزان آن در شاهد با میانگین ۳۰/۸۴ میکرومول بر گرم وزن تازه مشاهده شد. در واقع در این تیمار افزایش ۸۱/۶۸ درصدی



شکل ۶. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

Fig. 6. Mean comparisons of the effect of different mycorrhizal fungi species on total phenoland antioxidant capacity in *Rosa hybrida.* Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.



شکل ۷. مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر محتوای نسبی آب و آنزیم کاتالاز در رز هیبریدا. حروف مشابه به مفهوم نبود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون دانکن است.

Fig. 7. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi species on relative water content and catalase activity in *Rosa hybrida.* Means with the same letters are not statistically different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.01$.

میزان آنتی‌اکسیدان نسبت به شاهد حاصل شد (شکل ۶). بین تیمارهای میکوریزا و افزایش میزان محتوای نسبی آب رابطه مستقیمی وجود داشت. در بین تیمارها بیشترین محتوای نسبی آب با میانگین ۸۶/۱ درصد در تیمار ترکیبی سه‌گانه میکوریزا و کمترین میزان در شاهد با ۶۰/۸ درصد مشاهده شد (شکل ۷). بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در تیمار اثر ترکیبی سه‌گانه قارچ با

میانگین ۹/۸ گرم بر وزن تازه و کمترین میزان در شاهد (۵/۱ گرم بر وزن تازه) مشاهده شد. به عبارت دیگر اثر ترکیبی سه‌گانه قارچ‌ها حدود ۹۲/۲ درصد نسبت به شاهد باعث افزایش میزان آنزیم کاتالاز شد (شکل ۷).

بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، تلقیح بستر کشت با میکوریزا آربوسکولار تأثیر چشم‌گیری در بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیک گل رز داشت. در واقع این قارچ‌ها به نوبه خود از راه عوامل همزیستی به گیاه سیگنال می‌دهند (Kosuta et al., 2003) و شناسایی آن توسط گیاه منجر به نوسانات کلسیم در سلول‌های اپیدرمی ریشه (Kosuta et al., 2008) و فعال‌سازی ژن‌های مرتبط با همزیستی گیاه می‌شود (Kosuta et al., 2003). سپس میکوریزاها تشکیل هیفوپردیوم داده و در نهایت موجب کلونیزاسیون قشر ریشه می‌شوند. پس از کلونیزاسیون ریشه، قارچ هیف‌های خود را در خاک توسعه داده و منطقه نفوذ ریشه را به میکوریزوسفر گسترش و اجازه می‌دهد حجم بیشتری از خاک، در تماس با ریشه قرار گیرد (Hodge, 2014). این تغییرات موجب بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان، بهبود محتوای نسبی آب، افزایش تخصیص و انتقال مواد غذایی از جمله فسفر، منگنز و آهن بین ریشه و ساقه، تقویت سیستم دفاعی گیاه میزبان و در نهایت موجب افزایش تعداد شاخ و برگ و سطح برگ و به دنبال آن افزایش وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه می‌شود (Sohn et al., 2003; Smith and Read, 2010 ; Dolatabadi et al., 2012; Gheisari Zardak et al., 2017). همچنین در پژوهشی روی گل مغربی (*Oenothera biennis* L.)، افزایش میزان ارتفاع گیاه و وزن خشک شاخساره تحت تیمار میکوریزا (*Glomus intraradices*) گزارش شده است (Bohlouli et al., 2019). در واقع پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در گیاهان طی تلقیح با میکوریزا احتمالاً در اثر افزایش تولید ایندول استیک اسید از راه متابولیسم ال-تریپتوفان تحریک رشد ریشه رخ داده و از راه تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل‌شدن سلول‌ها، سبب افزایش طول و رشد ریشه‌های جانبی می‌گردد (Spaepen et al., 2011; Verma et al., 2016). ریسه‌های میکوریزا پس از کلونیزه‌کردن ریشه گیاه میزبان، باعث افزایش سیتوکینین و کاهش اسید آبسیزیک شده که این تغییرات موجب توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش دسترسی آن به آب و املاح معدنی مانند فسفر می‌شود. از سوی دیگر ریشه‌های گیاه تلقیح‌شده با قارچ با ترشح اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر مانند اسید مالیک و اسید فسفاتاز، موجب بهبود جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Etesami et al., 2021). در آزمایشی مشخص شد که گیاهان تلقیح‌شده با قارچ نسبت به شاهد در گیاه آکاسیا (*Acacia holosericea* L.) (Duponnois et al., 2005) و درختچه زینتی بداغ (*Viburnum dentatum* L.) در افزایش وزن خشک ریشه به دلیل جذب کافی آب و عناصر غذایی نقش بسزایی داشته است. از طرف دیگر این تیمار از راه تولید هورمون‌های محرک رشد مانند جیبرلین (تأثیر بر رشد طولی سلول‌ها به ویژه میان‌گره‌های ساقه)، اکسین و سیتوکینین (تأثیر بر تقسیم سلولی) سبب افزایش صفات رویشی و زایشی مانند افزایش طول دم‌گل و تعداد گل در گیاهان می‌شوند (Kumar et al., 2015; Ghorchiani et al., 2014) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت. افزایش تعداد گل نیز در نتیجه همزیستی با میکوریزا به افزایش جذب فسفر نسبت داده شده است (Basu et al., 2018). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، بهبود رشد رویشی و زایشی در گیاه شمعدانی معطر نیز تحت تلقیح با دو گونه میکوریزا (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) یافته‌های مشابهی حاصل شد (Beiranvand et al., 2017). اثر کود ورمی‌کمپوست نیز در بسترهای کشت معمولاً موجب بهبود جذب عناصر غذایی توسط ریشه شده و همچنین باعث افزایش گنجایش نگهداری آب و تخلخل کافی می‌شود که متعاقباً موجب افزایش رشد بهتر ریشه و شاخساره می‌شود. اگرچه در برخی پژوهش‌ها، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها برای صفت طول دم‌گل این تفاوت مشاهده شد (Bhardwaj, 2013; Verma et al., 2022).

افزایش میزان کلروفیل کل در اثر کاربرد میکوریزا به دلیل

جذب زیاد عناصر نیتروژن و منیزیم رخ می‌دهد که از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این رنگیزه است (Begum et al., 2019; Kumar et al., 2021). کمبود این دو عنصر در گیاه سبب آسیب‌هایی چون کاهش شدید فعالیت فتوسنتزی، کوتاه و نازک‌شدن ساقه، کاهش تعداد گل و ریزش آن‌ها و در نهایت مرگ گیاه می‌گردد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان چنین استدلال کرد که میکوریزا با فراهم‌ساختن عنصر فسفر توانسته نرخ فتوسنتزی گیاه را افزایش دهد. همچنین میکوریزا منجر به افزایش قندهای محلول و در نهایت باعث بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه شده است (Aghighi Shahverdi et al., 2019). از جمله این آثار می‌توان به تأثیر در کیفیت گل و افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده در گل جعفری اشاره نمود (Asrar and Elhndi, 2011). همچنین در اثر تلقیح قارچ، افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه به عنوان پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست گزارش شده است (Basu et al., 2018). در پژوهش انجام‌شده روی زنبق آلمانی (*Iris germanica*)، تلقیح میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل شد (Ziaei et al., 2020). از نظر میزان محتوای نسبی آب، میسلیوم میکوریزا آربوسکولار در خاک، نقش مهمی در جذب آب از منافذ بسیار ریز خاک دارد (Zhang et al., 2018). از طرفی در پژوهشی مشخص شد که در گیاهان تیمارشده با میکوریزا، در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز میزان فنل کل در گیاه افزایش می‌یابد (Heidari et al., 2016). گونه‌های میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی سبب ارسال بیشتر فاکتورهای هورمونی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند که همگی در افزایش میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌توانند مؤثر باشند. در پژوهش انجام‌شده روی دانهال‌های نارنج سه برگ، میکوریزا توانست تأثیر مثبتی بر میزان اکسیژن‌های فعال در ریشه و برگ گیاه داشته و آن‌ها را کاهش دهد (Wu and Xia, 2006). همچنین در پژوهشی افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز طی تلقیح با میکوریزا در گیاه جاتروفا (*Jatropha curcas* L.) مشاهده شد (Kumar et al., 2015).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ترکیبی گونه‌های مختلف میکوریزای آربوسکولار نسبت به کاربرد منفرد آن‌ها اثر بهتری بر صفات رشدی و فیزیولوژیک گل رز داشت که می‌تواند ناشی از همکاری سینرژیستی و تکمیل‌پذیری کارکردی بین گونه‌ها باشد؛ به‌طوری‌که هر گونه از راه توسعه شبکه هیفایی متفاوت، افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود وضعیت آبی گیاه و تقویت سازوکارهای تحمل تنش، نقش ویژه‌ای ایفا کرده و در مجموع موجب افزایش کارایی همزیستی شده است. پژوهش‌های متعددی نیز گزارش کرده‌اند که تنوع گونه‌ای میکوریزا و استفاده از تلقیح‌های چندگانه می‌تواند رشد گیاه و جذب عناصر بیش از کاربرد تک‌گونه‌ای بهبود بخشد که همین عامل باعث بهبود رشد رویشی و زایشی در گیاهان می‌شود (Jansa et al., 2008; Thonar, 2014). به‌طورکلی تلقیح گیاه با قارچ همزیست آثار نامطلوب شرایط محیطی را کاهش داده و عملکرد گل، رشد و کیفیت گیاهان زینتی را بهبود می‌بخشد (El-Zahara and El-tony, 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح گیاه رز هیبریدا با گونه‌های مختلف میکوریز آربسکولار، موجب بهبود معنی‌دار صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک این گیاه شد. در بین تیمارها، ترکیب سه‌گانهٔ *F. castaneae* × *F. margarita* × *F. mosseae* به‌دلیل همکاری سینرژیستی و تکمیل‌پذیری کارکردی، بیشترین تأثیر مثبت را بر شاخص‌های رشد و کیفیت گل از جمله طول دم‌گل، تعداد گل و تجمع زیست‌توده داشت. همچنین افزایش قابل‌توجهی در وزن تازه و خشک ریشه، میزان فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش بیان‌گر آن است که استفاده از قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌تواند به‌عنوان رویکردی زیستی مؤثر در بهبود عملکرد کمّی و کیفی رز هیبریدا، کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی و توسعه‌ی تولید پایدار گیاهان زینتی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورداستفاده

References

1. Abbasi, N.A., Zahoor, S., Nazir, K., 2004. Effect of preharvest phosphorus and potassium fertilizers and postharvest $AgNO_3$ pulsing on the postharvest quality and shelf life of Zinnia (*Zinnia elegans* cv. Blue point) cut flowers. Int. J. Agric. Sci. 1(6), 129–131.
2. Adediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., Idowu, O.J., 2005. Application of organic and inorganic fertilizers for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. J. Plant Nutr. 27(7), 1163–1181. https://doi.org/10.1081/PLN-120038542.
3. Aghighi Shahverdi, M., Amini Dahaghi, M., Ataei Somagh, H., Mamivand, B., 2019. The effect of different nutritional systems with nitrogen and phosphorous fertilizers on quantitative and qualitative traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). J. Plant Prod. 41(4), 1-14. (In Persian with English abstract)
4. Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., Salimi, G., 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia 61(19), S324–S328. https://doi.org/10.2478/s11756-006-0182-x.
5. Amjazi, H., Hamidpour, M., 2012. The effect of phosphorus, vermicompost and natural zeolite on the quantitative and qualitative characteristics of Ahar flower. J. Soil Plant Interact. 3(10), 86–79. https://doi.org/20.1001.1.20089082.1391.3.2.7.7. (In Persian with English abstract)
6. Arghavani, M., 2009. Physiological and Morphological Study of *Lolium* and *Poa Pratensis* Grasses, under The Influence of Trienzopacethyl Application, Top Dressing Management and Nitrogen Source under Salt Stress Conditions. PhD Thesis, Department of Horticultural Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.
7. Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24(1), 1–15.
8. Asrar, A.A., Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi J. Biol. Sci. 18(1), 93–98. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.06.007.
9. Auge, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza 25(1), 13–24. https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4.
10. Autio, J., 1998. Supplementary lighting regimes strongly affect the quantity of gerbera flower yield. Acta Hortic. 515, 91–98.
11. Basu, S., Rabara, R.C., Negi, S., 2018. AMF: The future prospect for sustainable agriculture. Physiol. Mol. Plant Pathol. 102, 36–45. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.007.
12. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., Zhang, L., 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. Front. Plant Sci. 10, 1068. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068.
13. Beiranvand, M., Rezaei Nejad, A., Hosseini, S.Z., 2017. Effects of two mycorrhizal fungi species (*Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*) on some morphological and physiological traits of scented geranium (*Pelargonium graveolens* L.) under salinity stress. J. Sci. Technol. Greenhouse Culture. 1(8), 107–120. https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.8.1.107.
14. Bhardwaj, R.L., 2013. Effects of nine different propagation media on seed germination and the initial performance of papaya (*Carica papaya* L.) seedlings. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 88(5), 531–536. https://doi/org/ 10.1080/14620316.2013.11513002.
15. Bohlouli, M., Dehestani Ardakani, M., Shirmardi, M., Razmjou, J., 2019. Effect of organic and biological fertilizers on some growth characteristics of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) under salinity conditions. Environ. Stress. Crop Sci. 12(1), 263–280. https://doi/org/10.22077/escs.2018.1211.1248.
16. Boutasknit, A., Baslam M., Anli., M., Ben-Laouane, R., Ait Rahou, Y., ElModafar, C., Douira, A., 2022. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi and compost on the growth, water status, and photosynthesis of carob (*Ceratonia siliqua*) under drought stress and recovery. Plant Biosyst. - Int. J. Dealing Aspects Plant Biosyst. 156 (4), 994–1010. http://doi.org/10.1080/11263504.2021.1985006.
17. Božanić Tanjga, B., Ljubojević, M., Đukić, A., Vukosavljev, M., Ilić, O., Narandžić, T., 2022. Selection of garden roses to improve the ecosystem services they provide. Horticulturae 8(10), 883.

https://doi.org/10.3390/horticulturae8100883.
18. Cakmak, I., Horst, J.H., 1991. Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). Physiol. Plant. 83(3), 463–468. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x.
19. Chutichudet, P., Chutichudet, B., Boontiang, K., 2010. Effect of 1-MCP fumigation on vase life and other postharvest qualities of Siam tulip (*Curcuma aeruqinosa* Roxb) cv. Laddawan. Int. J. Agric. Res. 5(1), 1–10. https://doi.org/10.3923/ijar.2010.1.10.
20. Dolatabadi, H., Mohammadi Goltapeh, E., Moieni, A., Varma. A., 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. Afr. J. Biotechnol. 11(7), 1644–1650. https://doi.org/10.5897/AJB10.1336.
21. Duponnois, R., Colombet, A., Hien V., Thioulouse. J., 2005. The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. Soil Biol. Biochem. 37(8), 1460–1468. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.09.016.
22. El-Zahara, F., El-tony, H., 2020. Effect of the use of arbuscular mycorrhizal for plant growth promotion on morphophysiological properties of *Antirrhinum majus* L. under salinity stress. Acta Sci. Agric. 4(7), 139–149.
23. Etesami, H., Jeong, B.R., Glick, B.R., 2021. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and silicon to P uptake by plant. Front. Plant Sci. 12, 699618. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699618.
24. Evelin, H., Kapoor, R., Giri. B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: A review. Ann. Bot. 104(7), 1263–1280. https://doi.org/10.1093/aob/mcp251.
25. Garcia-Gonzalez, J., Sommerfeld. M., 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. J. Appl. Phycol. 28(2), 1051–1061. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0625-2.
26. Gheisari Zardak, S., Dehnavi, M. M., Salehi, A., Gholamhoseini, M., 2017. Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants. 5, 16–25. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.09.004.
27. Ghorchiani, M., Akbari, G., Alikhani, H. A., Allahdadi, I., Zarei, M., 2014. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi and *Pseudomonas florescence* bacterium on the ear traits, chlorophyll content and yield of (*Zea mays* L.) under moisture stress conditions. Water Soil Sci. 21(1), 97–117. (In Persian with English abstract)
28. Heidari, Z., Nazarideljou, M.J., Rezaie Danesh, Y., Khezrinejad, N., 2016. Morphophysiological and biochemical responses of *Zinnia elegans* to different irrigation regimes in symbiosis with *Glomus mosseae*. Int. J. Hortic. Sci. Technol. 3(1), 19–32.
29. Hodge, A., 2014. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and organic material substrates. Adv. Appl. Microbiol. 89, 47–99. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800259-9.00002-0.
30. Jansa, J., Smith, F. A., Smith, S.E., 2008. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? New Phytol. 177(3), 779–789. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02294.x.
31. Kosuta, S., Chabaud, M., Lougnon, G., Gough, C., Dénarié, J., Barker, D.G., Bécard, G., 2003. A diffusible factor from arbuscular mycorrhizal fungi induces symbiosis-specific MtENOD11 expression in roots of *Medicago truncatula*. Plant Physiol. 131(3), 952–962. https://doi.org/10.1104/pp.011882.
32. Kosuta, S., Hazledine, S., Sun, J., Miwa, H., Morris, R.J., Downie, J.A., Oldroyd, G.E.D., 2008. Differential and chaotic calcium signatures in the symbiosis signaling pathway of legumes. Proc. Natl. Acad. Sci. 105(28), 9823–9828. https://doi.org/10.1073/pnas.0803499105.
33. Kumar, A., Sharma, S., Mishra, S., Dames, J.F., 2015. Arbuscular mycorrhizal inoculation improves growth and antioxidative response of *Jatropha curcas* (L.) under Na_2SO_4 salt stress. Plant Biosyst. - Int. J. Dealing Aspects Plant Biosyst. 149(2), 260–269. https://doi.org/10.1080/11263504.2013.845268.
34. Kumar, S., Sindhu, S.S., Kumar, R., 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Curr. Res. Microb. Sci. 3, 100094. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094.
35. Verma, N., Sehrawat, K.D., Mundlia, P., Sehrawat, A.R., Choudhary, R., Rajput, V.D., Minkina, T., van Hullebusch, E.D., Siddiqui, M.H. and Alamri, S., 2021. Potential use of *Ascophyllum nodosum* as a biostimulant for improving the growth performance of *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal. Plants. 10(11), 2361. https://doi.org/10.3390/plants10112361.
36. Ogata, J., Kanno Y., Itoh Y., Tsugawa H., Suzuki M., 2005. Anthocyanin biosynthesis in roses. Nature 435(7043), 757–758. https://doi.org/10.1038/nature435757a.
37. Pant, P., Verma, M. K., 2022. Standardization of media and container for improving seed and seedling growth in papaya (*Carica papaya*) cv. Red Lady. Indian J. Agric. Sci. 92(3), 329-333. https://doi.org/10.56093/ijas. v92i3.122680.
38. Phillips, J.M., Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55(1), 158–161. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
39. Razavipour, T., Siavash-Moghadam, S., Dolati, B., Jangjo, F., 2020. Organic and Biological Fertilizers and Their

Importance in Sustainable Agriculture. Rice Research Institute of Iran, Iran, 202 p. (In Persian)
40. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30(1), 105–111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x.
41. Shajari, M.A., Moghaddam, P.R., Ghorbani, R., Mahallati, M.N., 2014. Effects of organic, biological and chemical fertilizers on vegetative indices and essential oil content of coriander (*Coriandrum sativum* L.). J. Agroecol. 6(3): 668. https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.43405. (In Persian with English abstract)
42. Smith, S.E., Read, D.J., 2010. Mycorrhizal Symbiosis, 3ed Edition, Academic Press, 787 pp.
43. Sobhani, Y., Rasouli, M., Movahedi, Z., 2016. Effects of phosphorus and mycorrhizal fungi on some morphological and physiological traits of cut lily (*Lilium* cv. Royal Trinity) under greenhouse conditions. In: Proceedings of the First International and Second National Congress of Flowers and Ornamental Plants of Iran, August 23–25, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract)
44. Sogvar, O.B., Rabiei, V., Razavi, F., Gohari, Gh., 2020. Phenylalanine alleviates postharvest chilling injury of plum fruit by modulating antioxidant system and enhancing the accumulation of phenolic compounds. Food Technol. Biotechnol. 58(4), 433–444. https://doi.org/10.17113/ftb.58.04.20.6717.
45. Sohn, B.K., Kim, K.Y., Chung, S.J., Kim, W.S., Park, S.M., Kang, J.G., Rim, Y.S., Cho, J.S., Kim, T.H., Lee. J.H., 2003. Effect of the different timing of AMF inoculation on plant growth and flower quality of chrysanthemum. Sci. Hortic. 98(2), 173–183. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00210-8.
46. Song, H., 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. eJBio. 1(3), 44–48.
47. Spaepen, S., Vanderleyden, J., 2011. Auxin and plant-microbe interactions. Cold Spring Harb. Perspect. Biol. 3(4), a001438. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001438.
48. Sujatha, S., Tejaswini, P. and Laxman, R.H. 2020. Biomass, carbon and nutrient stocks in different categories of rose (*Rosa* spp.) for optimizing input use. J. Plant Nutr. 43(16), 2425–2444. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771581.
49. Sunarpi, H., Kurnianingsih, R., Ghazali, M., Fanani, R.A., Sunarwidhi, A.L., Widyastuti, S., Nikmatullah, A., Prasedya, E.S., 2020. Evidence for the presence of growth-promoting factors in Lombok *Turbinaria murayana* extract stimulating growth and yield of tomato plants (*Lycopersicum esculentum* Mill). J. Plant. Nutr. 43(12), 1813–1823. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1750642.
50. Thonar, C., 2014. Interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil fertility on plant growth. Soil Biol. Biochem. 68, 1–9.
51. Veresoglou, S.D., Rillig, M.C., 2012. Suppression of fungal and nematode plant pathogens through arbuscular mycorrhizal fungi. Biol. Lett. 8(2), 214–217. https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0874.
52. Verma, P.R., Saxena, R.A., Tomar, R.S., 2016. Rhizobacteria: A promising tool for drought tolerance in crop plants. In: Proceeding of International Conference on Recent Advances in Biotechnology (Int- BIONANO-2016), Gwalior, India.
53. Vukajlovic, D., van Veghel, H., Durovic, S., 2017. Economic justification for floriculture development in Serbia. Econ. Agric. 64(2), 687–699.
54. Wu, Q.S., Xia, R.X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant Physiol. 163(4), 417–425. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024.
55. Zhang, F., Zou, Y.N., Wu, Q.S., 2018. Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress. Sci. Hortic. 229, 132–136. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.038.
56. Zhang, T., Sun, Y., Song, Y. C., Tian, C.Y., Feng, G., 2011. On-site growth response of a desert ephemeral plant, *Plantago minuta*, to indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in a central Asia desert. Symbiosis 55(2), 77–84. https://doi.org/10.1007/s13199-011-0148-9.
57. Ziaei, Z., Dehestani Ardakani, M., Shirmardi, M., Azimi, M.H., 2020. Effect of mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics of three German iris (*Iris germanica* L.) genotypes under salinity stress. Plant Process. Function. 9(38), 397–414. (In Persian with English abstract)
58. Ziane, H., Hamza, N., Meddad-Hamza, A., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization rates optimize tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth and yield in a Mediterranean agroecosystem. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 20(7), 454–458. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.009.