The effect of different arbuscular mycorrhizal fungi strains on improving the morphophysiological traits of Chiti (*Rosa hybrida*)

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

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

Abstract

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

Materials and Methods: The experiment was carried out as a completely randomized design with four replications. Experimental treatments included three arbuscular mycorrhizal 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 and a non-inoculated control. The base growth medium consisted of garden soil, cocopeat, and perlite mixed at equal ratios (1:1:1). After flower emergence, traits including number of flowers, peduncle length, fresh and dry weight of shoots, fresh and dry weight of roots, root length, total chlorophyll content, relative water content, total phenolic 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, respectively) were obtained in the triple combined treatment (*F. castaneae* × *F. margarita* × *F. mosseae*), while the lowest values were observed in the control treatment. Compared to the control, the triple mycorrhizal treatment resulted in increases of 95.91% and 95.84% in root fresh and dry weights, respectively. In addition, total phenolic content and antioxidant capacity increased by 57.82% and 81.68%, respectively, under the triple mycorrhizal treatment compared with the control.

Conclusion: Overall, the results of this study indicate that 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.

تأثیر گونه‌های مختلف میکوریزا آربوسکولار بر بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی 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

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: تولید گیاهان زینتی به‌دلیل ارزش اقتصادی و زیبایی‌شناختی آن‌ها اهمیت بالایی دارد و تغذیه مناسب نقش مهمی در بهبود کیفیت و کمیت محصول ایفا می‌کند. کودهای زیستی حاوی میکروارگانیسم‌های مفید مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها، با بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک، رشد گیاه را تقویت می‌کنند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سه گونه مختلف میکوریزا بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه رز هیبریدا (*Rosa hybrida* cv. *Chiti*) انجام شد.

روش‌ها: آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی سه گونه میکوریزا و اثر ترکیبی دوگانه و سه گانه این قارچ‌ها که شامل: *Funneliformis mosseae*، *Funneliformis castaneae*، *Funneliformis margarita*، *Funneliformis mosseae × Funneliformis margarita*، *Funneliformis castaneae × Funneliformis mosseae*، *Funneliformis castaneae × Funneliformis margarita* و *Funneliformis mosseae × Funneliformis margarita × Funneliformis castaneae* است به همراه یک تیمار ورمی‌کمپوست همراه بستر پایه (خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت به نسبت‌های مساوی (۱:۱:۱)) و یک تیمار شاهد بود. پس از ظهور گل‌ها صفات شامل: تعداد گل، طول دمگل، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر 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. به طوری که بیشترین میزان طول دمگل (۷۳/۰۲ میلی‌متر)، تعداد گل (۶/۷۵ گل در بوته) و وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب با میانگین‌های ۶۲/۴۱ و ۳۰/۵۵ گرم در تیمار ترکیبی سه گانه *F. × F. castaneae F. mosseae × margarita* و کمترین میزان در شاهد به ترتیب با میانگین‌های ۵۰/۷۵ سانتی‌متر، ۴۹/۶۸ میلی‌متر، ۳/۷۵ گل در بوته و ۴۱/۵۳ و ۱۸/۳ گرم مشاهده شد. همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین افزایش ۹۵/۹۱ درصدی و ۹۵/۸۴ درصدی در وزن تر و خشک ریشه در تیمار ترکیبی سه قارچ نسبت به شاهد حاصل شد. همچنین افزایش ۵۷/۸۲ درصدی و ۸۱/۶۸ درصدی به ترتیب در میزان فنل کل و آنتی‌اکسیدان در تیمار ترکیبی سه قارچ نسبت به شاهد حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا آربسکولار می‌تواند در زمینه دستیابی به شاخص‌های رشدی مطلوب و افزایش گلدهی در این گیاه سودمند باشد.

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

۱- 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 طراوتشان نقش مهمی در زندگی بشر دارند (Vukajlovic *et al*., 2017; Božanić Tanjga *et al*., 2022). گل رز با نام علمی *Rosa hybrid* متعلق به خانواده گل‌سرخیان به عنوان مهم‌ترین گیاهان زینتی در سراسر جهان شناخته می‌شوند و 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 شاخه بریده 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 فاکتورهای موثر بر کیفیت و طول عمر پس از برداشت گل‌های زینتی، تغذیه آن طی دوره پرورش است (Abbasi *et al*., 2004). کودهای زیستی شامل میکروارگانیسم‌های زنده یا ترکیبات طبیعی مشتق شده از موجودات زنده مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها هستند که باعث بهبود ساختار خاک از لحاظ شیمیایی و بیولوژیکی، حاصلخیزی 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 می‌دهند و همچنین رشد گیاهان را در محیطی با مواد مغذی محدود 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 میکروارگانیسم‌های 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 به ویژه افزایش جذب عناصری مانند فسفر امکان تولید بهتر گیاهان در شرایط آب و هوایی مناطق خشک و نیمه خشک گردد (Song, 2005; Boutasknit *et al*. 2021). گزارش ارائه شده در راستای تیمار گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) با قارچ همزیست گونه *G. mosseae* بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (Sohn *et al*., 2003). از طرفی کاربرد کودهای شیمیایی اگرچه نقش موثری در تامین مواد مغذی خاک دارند ولی موجب تخریب بافت خاک‌های زراعی، آلودگی زیست محیطی مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و مشکلاتی در خصوص سلامتی انسان و سایر موجودات می‌گردند و همچنین استفاده طولانی مدت از آن‌ها سبب اختلال در اسیدیته خاک و خواص فیزیکی آن 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 موجودات خاکزی مورد توجه قرار گرفته است که مکانیسم عمل آن‌ها قابلیت جذب عناصر غذایی گیاه در خاک را افزایش می‌دهد (Razavipour *et al*., 2019). از دیگر مزایایی این کودها استخراج آسان، مقرون به صرفه بودن، غیرآلاینده، غیرسمی و همچنین حاوی ترکیبات زیست فعال طبیعی می‌باشند (Nidhi *et al*., 2021). طی تحقیق صورت گرفته روی گل شاخه بریده لاله، میکوریزا سبب افزایش رشد رویشی و گلدهی در این گیاه شد (Chutichudet *et al*., 2010). همچنین طی بررسی اثر تلقیح میکوریزا در گل ژربرا سبب افزایش سطح برگ و در نهایت افزایش وزن خشک و تر اندام هوایی شد (Autio, 2006). علاوه بر این در تحقیقی دیگر بر روی گل شاخه بریده لیلیوم طی تاثیر

میکوریزا سبب افزایش ۴/۱۵ (تعداد) گل نسبت به شاهد شد. (Sobhani *et al*., 2016). در نتیجه با توجه به تاثیر مثبت کودهای زیستی در رشد و نمو گیاهان، این پژوهش در راستای بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریز ا به منظور بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه رز صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر قارچ‌ها بر صفات رشدی گل زینتی رز، در سال ۱۴۰۲، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی 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 سه گانه این قارچ‌ها که شامل: *F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita* × *F. margarita*، *F. castaneae* × *F. mosseae*، *F. mosseae* × *F. margarita*، *F. castaneae* × *F. mosseae* × *F. margarita*، *F. castaneae* است به همراه یک تیمار ورمی‌کمپوست همراه بستر پایه (خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت به نسبت‌های مساوی (۱:۱:۱)) و یک تیمار شاهد در نظر گرفته شد. مایه قارچی میکوریزا آربسکولار مورد استفاده در این پژوهش از شرکت دانش بنیان زیست فن‌آوران 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 ۱۰۰-۳۰۰ 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 ۴-۶ 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 زنده بودن و قابلیت کلونیزاسیون قارچ بود. همچنین نهال‌های ۲۰-۳۰ سانتی‌متری گل رز از گلخانه‌ای در شهر محلات تهیه و در گلخانه در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر و حاوی بسترهای کاملاً یکنواخت خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت به نسبت‌های مساوی (۱:۱:۱) مستقر شدند. قبل از اعمال تیمار، خاک گلدان تجزیه و آنالیز 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 اضافه شد. در طول دوره رشد گیاه، شرایط محیطی به‌گونه‌ای تنظیم که دمای روز در محدوده ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد و دمای شب بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد حفظ شد و رطوبت نسبی هوا در بازه ۵۵ تا ۷۵ درصد قرار گرفت. آبیاری براساس نیاز آبی گیاه و به منظور جلوگیری از بروز تنش رطوبتی، زمانی انجام شد که رطوبت بستر به حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت، به‌طوری‌که در هر نوبت آبیاری، خروج مختصری از زه‌آب (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) مشاهده شد.

پس از اتمام دوره رشدی گیاه و شروع گلدهی که حدوداً ۸ هفته به طول انجامید، صفات مورفوفیزیولوژیکی شامل: تعداد گل، طول دمگل، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر 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 و بعد از پاک‌سازی تمامی خاک‌های ناحیه ریشه، توسط خط‌کش از محل طوقه تا انتهایی‌ترین نقطه ریشه اندازه‌گیری صورت و بر حسب سانتی‌متر بیان شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، پس از جداسازی به طور مجزا کامل ریشه‌های را شسته و بلافاصله وزن تر اندام هوایی و ریشه به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ gr) اندازه‌گیری شد و سپس به مدت

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک قبل از شروع آزمایش

Table 1. Result of soil analysis before experiment start

K (ppm)	P (ppm)	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	N (%)	Soil texture
43	10	6.2	1.02	0.5	Light to medium

h ۲۴ هر دو قسمت گیاه به طور مجزا در آون با دمای °C ۶۰ منتقل و پس از خشک شدن، وزن خشک آن‌ها توسط ترازو توزین شد (Arghavani, 2009). برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از طریق درصد مهار رادیکال آزاد DPPH و به صورت درصد بازدارندگی بیان شد (Dehgan and Khoshkam, 2012). محتوای نسبی آب نیز به روش Ritchie and Nguyen (۱۹۹۰) و درصد کلونیزاسیون ریشه با استفاده از روش Phillips, and Hayman (۱۹۷۰) بررسی شد.

کلروفیل

اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ با استفاده از روش (Arnon, 1949) انجام گرفت. بدین منظور مقدار gr ۰/۱ از بافت تازه برگ توزین و در هاون چینی ریخته شد سپس ml ۱۰ استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه و در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت rpm/min ۵۰۰۰ به مدت min ۱۵ قرار داده شد. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ را در داخل کووت ریخته و سپس میزان جذب عصاره استخراج شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Analytikjena specord 250 در طول موج‌های nm 645 و 663 قرائت و با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل محاسبه شد.

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

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

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

A663= جذب در ۶۶۳ نانومتر، A645= جذب در ۶۴۵ نانومتر، V= حجم نمونه استخراج شده (cc)، W= وزن تر نمونه (gr)

فنل کل

اندازه‌گیری محتوای فنل کل براساس روش فولین سیوکالچو انجام شد. ابتدا ۱۱۷۰ میکرولیتر آب مقطر، ۳۰ میکرولیتر عصاره، ۳۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد در فالکون ریخته شده و بعد از گذشت ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد اضافه 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 / 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 گردید (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 طبق روش Cakmak and Hoarest (۱۹۹۱) انجام گرفت. به این منظور از بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی‌مولاری با ۶/۸ =pH، آب اکسیژنه ۱۰ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی استفاده شد. ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی 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 گردید. میزان تجزیه آب اکسیژنه با کاهش جذب طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت یک دقیقه پیگیری شد و فعالیت

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر قارچ‌های ریشه بر صفات مورفولوژیکی گیاه رز هیبریدا

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

Source of variations	df	Number of flowers	Peduncle length	Fresh shoot weight	Dry shoot weight	Fresh root weight	Root length
Fungi	8	7.17**	286.94**	168.07**	560.03**	69.16**	68**
Error	27	5.25	67.79	106.09	110.89	21.08	17.68
CV (%)	-	20.64	12.51	14.01	14.93	8.14	6.91

ns، * و ** به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: on-significantly difference and significantly difference at 5% and 1% of probability level, respectively.

آنزیم کاتالاز براساس تغییرات در میزان جذب ۲۴۰ نانومتر به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شده است.

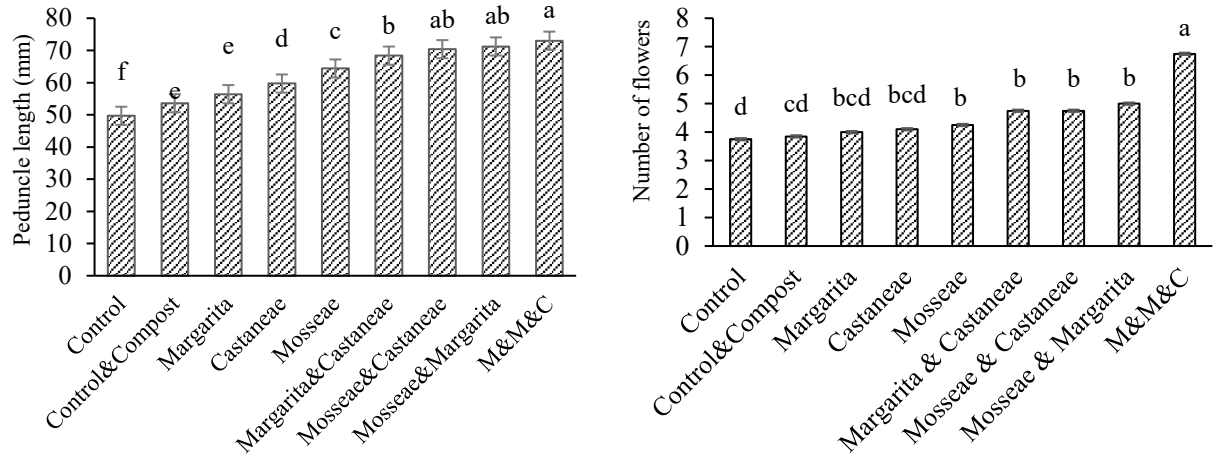
کلیه داده‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۴ آنالیز شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن(α =۰/۰۵) در سطح ۵ و ۱ درصد انجام گرفت و تمامی جداول و نمودارها در Excel ترسیم شدند.

نتایج تاثیر تیمارهای قارچی بر صفات مورفولوژیکی در گیاه رز

براساس آنالیزهای آماری، استفاده از تیمارهای میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار (در سطح یک درصد) در تمامی صفات مورفولوژیکی از جمله تعدادگل، طول دمگل، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول ریشه شد (جدول ۱). از نظر تیمار ورمی‌کمپوست با شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری در صفات مختلف مورفولوژیکی به جز طول دمگل مشاهده نشد. براساس نتایج مقایسه میانگین، در مورد طول دمگل بیشترین میزان در اثر ترکیبی سه گانه قارچ‌ها با میانگین ۷۳/۰۲ میلی‌متر نسبت به شاهد با میانگین ۴۹/۶۸ میلی‌متر مشاهده شد که افزایش ۴۶/۹۸ درصدی را تیمار قارچ در این صفت نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱). همچنین از نظر اختلاف آماری که تیمار شاهد با تیمار ورمی‌کمپوست دارد افزایش ۷/۲۸ درصدی در تیمار کمپوست نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۱). براساس شکل یک در نمودار مقایسه میانگین، در اثر کاربرد انواع میکوریزا، افزایش در تعداد گل مشاهده شد. به عبارتی بیشترین تعداد گل در تیمار اثر ترکیبی سه گانه 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. وزن تر و خشک اندام هوایی نیز تحت تیمار سه گانه میکوریزا به ترتیب با میانگین (۶۲/۴۱ و ۳۰/۵۵ گرم) بیشترین مقدار و در شاهد به ترتیب با میانگین ۴۱/۵۳ و ۱۸/۳ گرم کمترین میزان را نشان دادند. به عبارتی طبق نتایج میزان وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تیمار سه گانه قارچ به ترتیب ۵۰/۲۸ درصد و ۶۶/۹۴ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت (اشکال ۲). بین تیمارهای میکوریزا از نظر طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه رابطه مستقیمی وجود داشت. در بین تیمارها بیشترین طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با میانگین‌های ۲۸/۲۵ سانتی‌متر و ۶۲/۸۹ و ۱۹/۷۸ گرم در تیمار ترکیبی سه گانه قارچ‌های ریشه و کمترین میزان در شاهد به ترتیب با میانگین‌های ۱۵/۷۵ سانتی‌متر، ۳۲/۱ و ۱۰/۱ گرم مشاهده شد (اشکال ۳ و ۴). در واقع براساس نتایج مقایسه میانگین افزایش ۷۹/۳۷ درصدی در طول ریشه و ۹۵/۹۱ درصدی و ۹۵/۸۴ درصدی در وزن ترو خشک ریشه در تیمارهای ترکیبی سه قارچ نسبت به شاهد مشاهده شد.

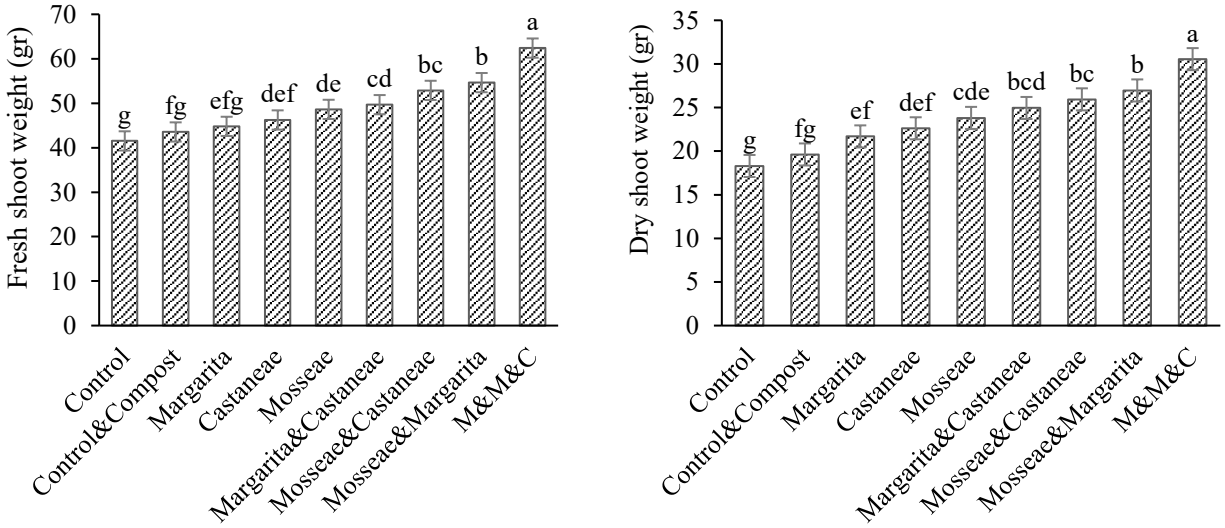
نتایج تاثیر تیمارهای قارچی بر صفات فیزیولوژیکی در گیاه رز

نتایج تجزیه واریانس در صفات فیزیولوژیکی همانند صفات



شکل ۱. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر طول دمگل و تعداد گل در رز هیبریدا (*F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita*، *F. castaneae × F. margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. mosseae × F. margarita × F. castaneae*، کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

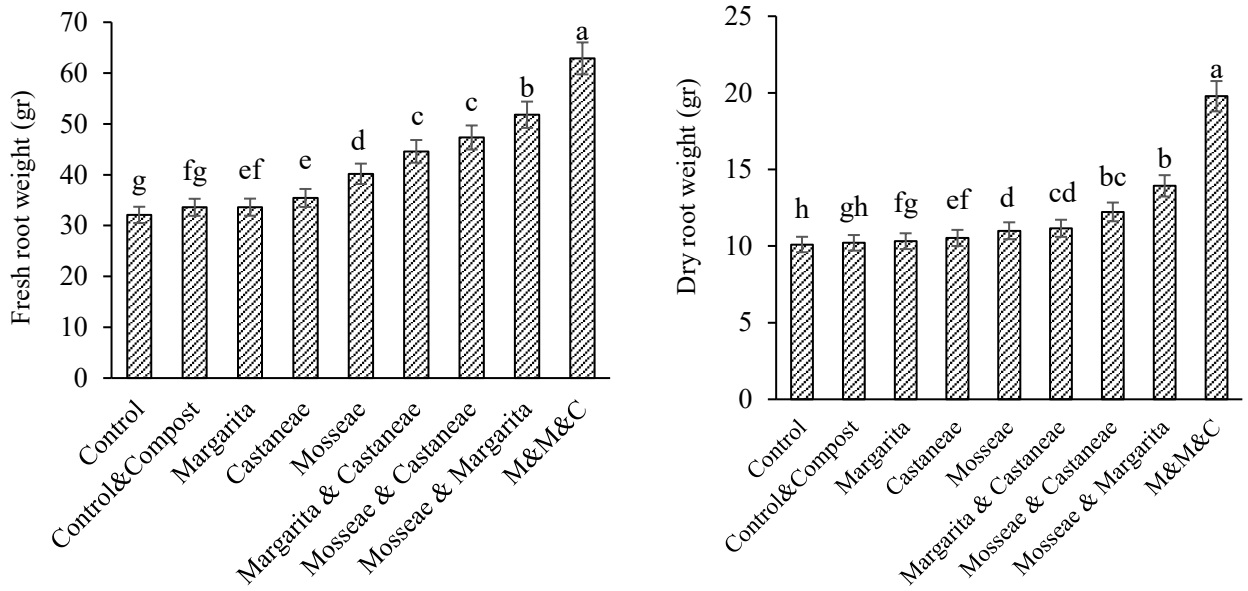
Fig 1. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on peduncle length and flower number in *Rosa hybrida*



شکل ۲. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر وزن تر و خشک اندام هوایی در رز هیبریدا (*F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita*، *F. castaneae × F. margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. mosseae × F. margarita × F. castaneae*، کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

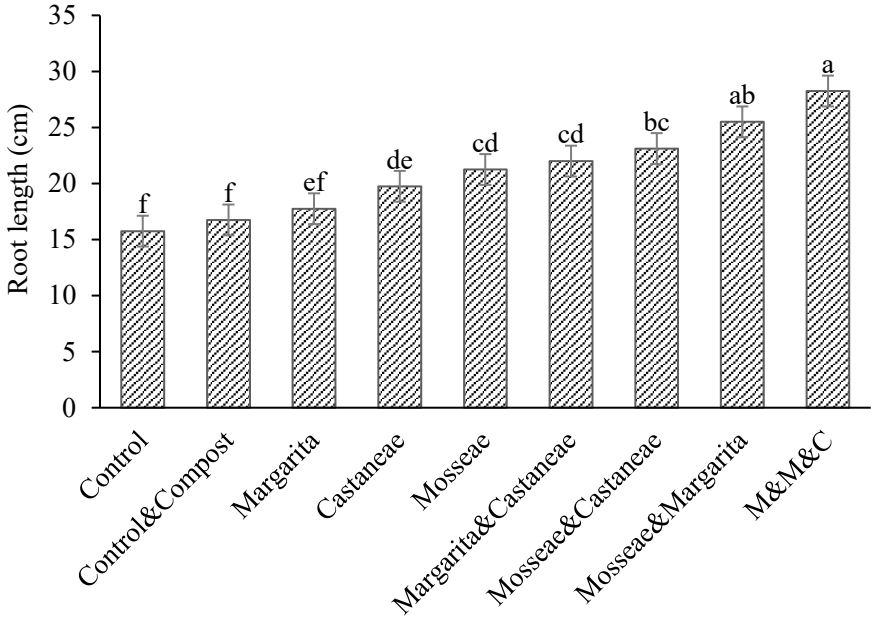
Fig 2. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on fresh shoot weight and dry shoot weight in *Rosa hybrida*

کلروفیل کل، ظرفیت نسبی آب، فنل کل، ظرفیت انتی‌اکسیدانی و آنزیم کاتالاز تحت تاثیر تیمارهای میکوریزا تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<۰/۰۱$) را نشان داد (جدول ۲). به عبارتی استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا روی این صفات موثر و روند افزایشی دارد. اما از نظر تیمار ورمی‌کمپوست با شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری در صفات مختلف فیزیولوژیکی مشاهده نشد. در صفت کلروفیل کل نیز با میانگین ۱/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در اثر ترکیبی سه گانه و همچنین میانگین ۱/۷۳



شکل ۳. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر وزن تر و خشک ریشه در رز هیبریدا (*F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita*، *F. castaneae × margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. mosseae × F. margarita × F. castaneae*، کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

Fig 3. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on fresh root weight and dry root weight in *Rosa hybrida*



شکل ۴. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر طول ریشه در رز هیبریدا (*F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita*، *F. castaneae × F. margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. mosseae × F. margarita × F. castaneae*، کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

Fig 4. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on root lenght in *Rosa hybrida*

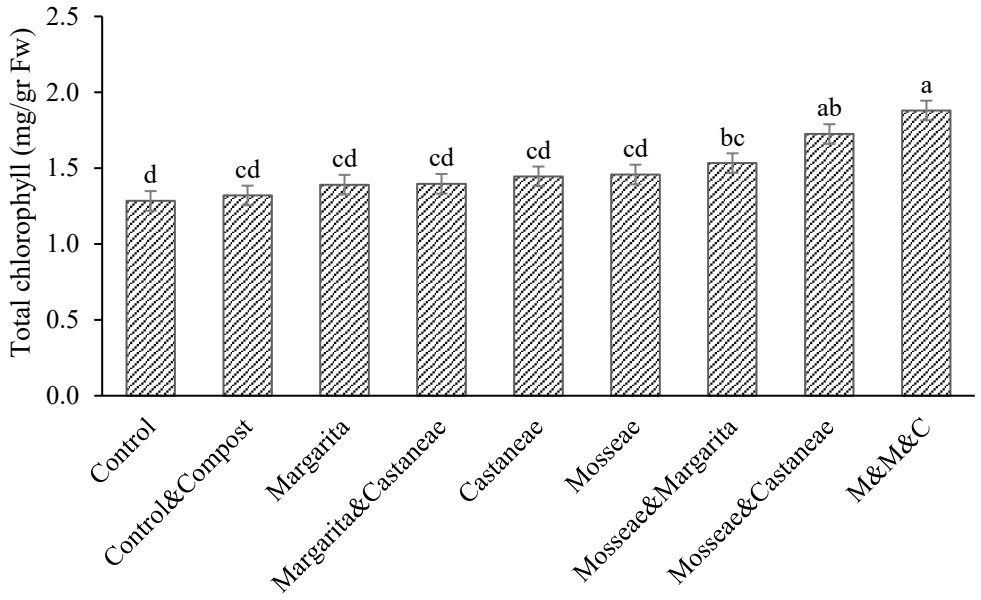
جدول ۲. تجزیه واریاس اثر قارچ‌های ریشه بر صفات فیزیولوژیک گیاه رز هیبریدا

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

Source of variations	df	Total chlorophyll	Relative water content (RWC)	Total phenolic	Antioxidant capacity	Catalase activity
Fungi	8	0.150**	329.32**	3.65**	329.37**	24.77**
Error	27	0.016	12.7	0.32	12.7	0.884
CV (%)	-	8.34	4.84	9.74	8.16	17.67

ns، * و ** به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

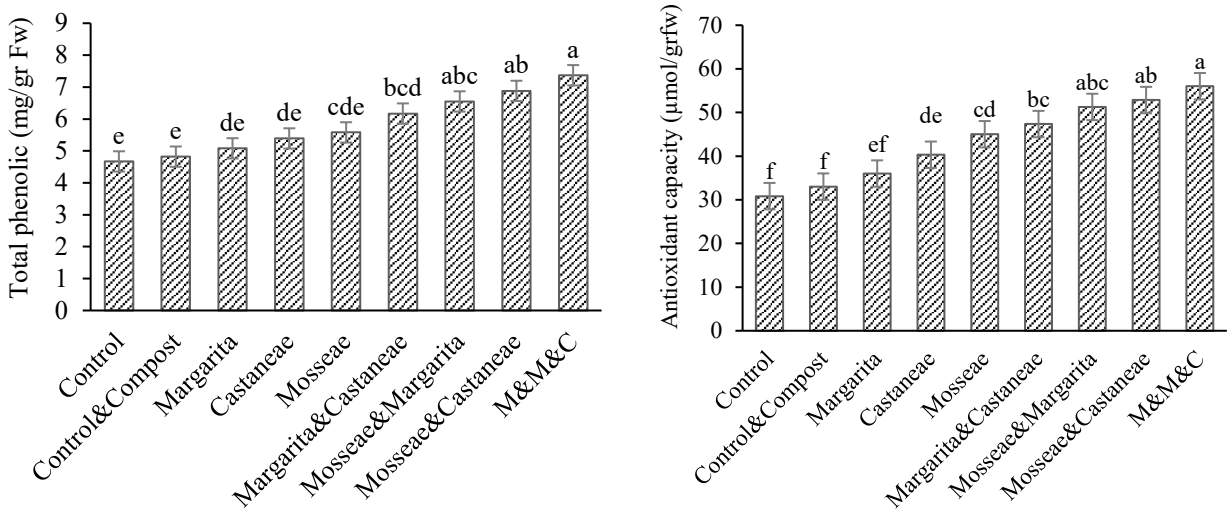
ns, * and **: on-significantly difference and significantly difference at 5% and 1% of probability level, respectively.



شکل ۵. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر کلروفیل کل در رز هیبریدا (*F. mosseae*، *F. castaneae*، *F. margarita*، *F. castaneae × margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. mosseae × F. margarita × F. castaneae*، کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

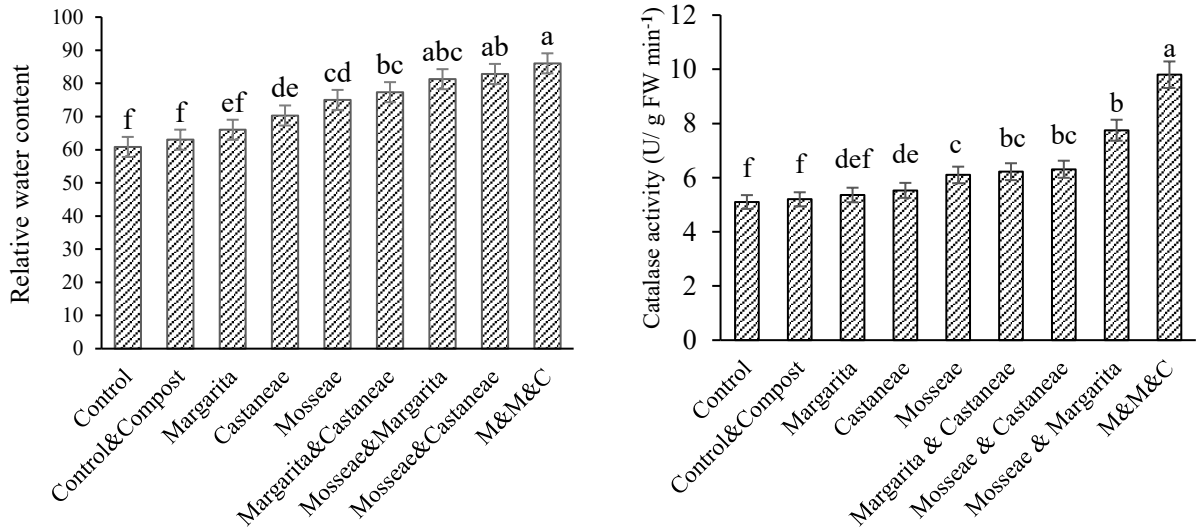
Fig 5. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on total chlorophyll in *Rosa hybrida* Zinnia

میلی‌گرم بر گرم در اثر ترکیبی دو گانه قارچ‌های *G. mosseae × G. castaneae* بیشترین میزان و در شاهد به ترتیب با میانگین ۱/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین میزان مشاهده شد (شکل ۵). براساس نتایج حاصله افزایش ۴۶/۸۸ درصدی در این صفت نسبت به شاهد حاصل شد. طبق مقایسه میانگین صورت گرفته بیشترین میزان فنل کل در اثر ترکیبی سه گانه قارچ‌ها با میانگین ۷/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین در شاهد با میانگین ۴/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد (شکل ۶). طبق این نتایج افزایش ۵۷/۸۲ درصدی در میزان فنل کل نسبت به شاهد حاصل شد. براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان در تیمار اثر ترکیبی سه گانه قارچ با میانگین ۵۶/۰۳ میکرومول بر گرم وزن تر و کمترین میزان در تیمار شاهد با میانگین ۳۰/۸۴ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده شد. در واقع در این تیمار افزایش ۸۱/۶۸ درصدی میزان آنتی‌اکسیدان نسبت به شاهد حاصل شد (شکل ۶). بین کاربرد تیمارهای میکوریزا و



شکل ۶. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل در رز هیبریدا (*F. castaneae*، *F. mosseae*، *F. margarita*، *F. castaneae × F. margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. castaneae × F. margarita × F. mosseae* کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

Fig 6. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on total phenolic and antioxidant capacity in *Rosa hybrida*



شکل ۷. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های مختلف میکوریزا بر میزان محتوای نسبی آب و آنزیم کاتالاز در رز هیبریدا (*F. castaneae*، *F. mosseae*، *F. margarita*، *F. castaneae × F. margarita*، *F. mosseae × F. margarita*، *F. castaneae × F. mosseae*، *F. castaneae × F. margarita × F. mosseae* کود ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد)

Fig 7. Mean comparisons of effect of different mycorrhizal fungi strains on relative water content and catalase activity in *Rosa hybrida*

افزایش میزان محتوای نسبی آب رابطه مستقیمی وجود داشت. در بین تیمارها بیشترین محتوای نسبی آب با میانگین ۸۶/۰۶ درصد در تیمار ترکیبی سه گانه میکوریزا و کمترین میزان در شاهد با ۶۰/۸۴ درصد مشاهده شد (شکل ۷). بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در تیمار اثر ترکیبی سه گانه قارچ با میانگین ۹/۸ گرم بر وزن تر و کمترین میزان در شاهد (۵/۱ گرم بر وزن تر)

مشاهده شد که طبق این نتایج اثر ترکیبی سه گانه قارچ‌ها حدود ۹۲/۱۶ درصد نسبت به شاهد باعث افزایش میزان آنزیم کاتالاز شد (شکل ۷).

بحث

مطابق نتایج به دست آمده از این مطالعه، تلقیح بستر کشت با میکوریزا آربوسکولار سبب تاثیر چشمگیری در بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیکی در گل رز شده است. در واقع این قارچ‌ها به نوبه خود از طریق 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 می‌دهند 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). در نتیجه موجب بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان، حفظ بیشتر محتوای نسبی آب، افزایش تخصیص و انتقال مواد غذایی از جمله فسفر، منگنز و آهن بین ریشه و ساقه، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت و در نهایت موجب افزایش تعداد شاخ و برگ و سطح برگ و به دنبال آن افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه می‌گردد (Sohn *et al*., 2003; Smith and Read, 2008; Dolatabadi *et al*., 2012; Gheisari Zardak *et al*., 2017). از جمله در پژوهش صورت گرفته روی گل مغربی (*Oenothera biennis* L.) افزایش میزان ارتفاع گیاه و وزن خشک شاخساره تحت تیمار با میکوریزا (*Glomus intraradices*) گزارش شده است (Bohlouli *et al*., 2019). در واقع پژوهش‌ها نشان داد که احتمالاً طی افزایش تولید ایندول استیک اسید از طریق متابولیسم ال- تریپتوفان در گیاهان طی تلقیح با میکوریزا تحریک رشد ریشه اتفاق می‌افتد و از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل شدن سلول‌ها، سبب افزایش طول و رشد ریشه‌های جانبی می‌گردد (Spaepen *et al*., 2010; Verma *et al*., 2016). ریسه‌های میکوریزا پس از کلونیزه کردن 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 می‌گردد و از سوی دیگر با ترشح اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر مانند اسید مالیک و اسید فسفاتاز، موجب تسهیل جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Etesami *et al*., 2021). طی آزمایشی مشخص شد که گیاهان تلقیح شده 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 طرفی دیگر از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد مانند جیبرلین (تاثیر در رشد طولی سلول‌ها به ویژه میانگره‌های ساقه)، اکسین و سیتوکینین (تاثیر بر تقسیم سلولی) سبب افزایش صفات رویشی و زایشی مانند افزایش طول دمگل و تعداد گل در گیاهان می‌شوند که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت (Kumar *et al*., 2015; Ghorchiani *et al*., 2011). طی تحقیقات صورت گرفته افزایش تعداد گل نیز در نتیجه همزیستی با میکوریزا به افزایش جذب فسفر نسبت داده شده است (Supratim *et al*., 2018). هم‌راستا با نتایج این آزمایش در خصوص بهبود رشد رویشی و زایشی در گیاه شمعدانی معطر نیز تحت تلقیح با دو گونه میکوریزا (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) این نتایج حاصل شد (Beiranvand *et al*., 2017). از نظر اثر کود ورمی‌کمپوست نیز در بسترهای کشت معمولاً موجب بهبود در جذب بیشتر عناصر غذایی توسط ریشه می‌شود و همچنین باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و تخلخل کافی می‌گردد که متعاقباً موجب افزایش رشد بهتر ریشه و اندام‌های هوایی می‌گردد. اگر چه در نتایج این تحقیق اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تنها در صفت طول دمگل این اختلاف مشاهده شد (Bhardwaj, 2013; Pant and Verma, 2022). افزایش میزان کلروفیل کل طی کاربرد

میکوریزا به دلیل جذب بالای عنصر 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 نازک شدن ساقه، کاهش تعداد گل و ریزش آن‌ها و در نهایت مرگ گیاه می‌گردد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان چنین استدلال کرد که میکوریزا با فراهم ساختن عنصر فسفر توانسته نرخ فتوسنتزی گیاه را بالا ببرد همچنین منجر به افزایش قندهای محلول شود و در نهایت باعث بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه گردد (Aghighi Shahverdi *et al*., 2019). از جمله این بهبود و افزایش رشد می‌توان به تاثیر در کیفیت گل و افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده در گل جعفری اشاره نمود (Asrar and Elhndi, 2011). همچنین طی تلقیح افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه به عنوان پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست گزارش شده است (Supratim *et al*., 2018). طی تحقیقات صورت گرفته روی زنبق آلمانی (*Iris germanica*) با تلقیح میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل شد (*Ziaei et al.,* 2020). از نظر میزان محتوای نسبی آب، میسیلیوم قارچ آربوسکولار در خاک، نقش مهمی در جذب آب از منافذ بسیار ریز خاک دارد (Zhang *et al*., 2018). از طرفی طی تحقیقی مشخص شد که در گیاهان تیمار شده 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 موثر باشند. طی تحقیق انجام شده روی دانهال‌های نارنج سه برگ، میکوریزا توانست تاثیر مثبتی بر میزان اکسیژن‌های فعال در ریشه و برگ گیاه داشته و آن‌ها را کاهش دهد (Wu and Xia, 2006). همچنین طی 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 فیزیولوژیکی گل رز داشت که می‌تواند ناشی از همکاری سینرژیستی و تکمیل‌پذیری عملکردی بین گونه‌ها باشد؛ به‌طوری‌که هر گونه از طریق توسعه شبکه هیفایی متفاوت، افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود وضعیت آبی گیاه و تقویت مکانیسم‌های تحمل تنش، نقش ویژه‌ای ایفا کرده و در مجموع موجب افزایش کارایی همزیستی شده است. مطالعات 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 می‌گردد (Jansa *et al*., 2008; Thonar, 2014). به طور کلی تلقیح گیاه با قارچ همزیست تاثیرات 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 مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی این گیاه شد. در میان تیمارها، ترکیب سه‌گانه‌ی *F. castaneae* × *F. margarita* × *F. mosseae* به دلیل همکاری سینرژیستی و تکمیل‌پذیری عملکردی، بیشترین تأثیر مثبت را بر شاخص‌های رشد و کیفیت گل از جمله طول دمگل، تعداد گل و تجمع زیست‌توده داشت. همچنین افزایش قابل توجهی در وزن تر و خشک ریشه، میزان فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که استفاده از قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌تواند به‌عنوان رویکردی زیستی مؤثر در بهبود عملکرد کمی 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 مورد استفاده

References

1. Abbasi, N.A., Zahoor, S., Nazir, K., 2004. Effect of preharvest phosphorus and potassium fertilizers and postharvest AgNO3 pulsing on the postharvest quality and shelf life of Zinnia (Zinnia elegans cv. Blue point) cut flowers. Int. J. Agric. Sci. 1, 129–131.
2. Adediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., Idowu, O.J., 2004. Application of organic and inorganic fertilizers for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. J. Plant Nutr. 27, 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. (Agronomy, Breeding and Horticulture), 41(4): 1-14. (In Persian)
4. Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., Salimi. G., 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and Bradyrhizobium japonicum on drought stress of soybean. Biol. Bratis. 19: 324-328.
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. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.20089082.1391.3.2.7.7پ
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. Pp. 98.
7. Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in beta vulgaris, Plant Physiol., 24: 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., 19: 38-46.
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: 13-24.
10. Autio, J. 2006. Supplementary lighting regimes strongly affect the quantity of gerbera flower yield. Acta Horticulturae. 515: 91 -98.
11. Bandurska, H. 2022. Drought stress responses: Coping strategy and resistance. Plants (Basel), 11(7), 922. https://doi.org/10.3390/plants11070922
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: 1 - 15.
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. Journal of Greenhouse Cultivation Techniques, 8, 107–121.
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. Doi: 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. Environmental Research in Agricultural Sciences, 12, 263–280.
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 Bio systems. 156 (131). 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. Plantarum. 83: 463-468.
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. 5:1-10.
20. Dokora, F.D., Matiru, V., King, M., Phillips, D.A., 2002. Plant growth promotion in legumes and cereals by lumichrome, a rhizobial signal metabolite. In: Finan, T.M., o'Brain, M.R., Layzell, D.B., Vessey, K., Newton, W.E. (Eds.), Nitrogen Fixation: Global Perspectives. Walling Ford, UK: CABI Publishing, pp. 321–325. J. Biol. Chem., 37: 1460-1468.
21. 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. J. Biotechnol., 11(7): 1644-1650.
22. 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.
23. 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.
24. 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, 699-618. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699618
25. Evelin, H., Kapoor, R., Giri. B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: A review. Ann. Bot., 104: 1263-1280.
26. Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M., Khan-Ahmadi, M., 2018. The effects of mycorhiza (Glomus mosseae and Glomus intraradiceae) and phosphorus on growth and phytochemical traits of Dracocephalum moldavica L. under drought stress. J. Med. Plants., 2(66): 100-112. (in Persian)
27. Garcia-Gonzalez, J., Sommerfeld. M., 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga Acutodesmus dimorphus. J. Appl. Phycol. 28: 1051-1061. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0625-2
28. 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. (In Persian)
29. Ghorchiani, M., Akbari, G., Alikhani, H. A., Allahdadi, I., Zarei, M., 2011. 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, J. Soil Water Conserv., 21: 97-114. (In Persian)
30. Hamzei, J., Salimi, F., 2014. Root colonization, yield and yield components of milk thistle (Silybum marianum) affected by mycorhizal fungi and phosphorus fertilizer. J. Agric. Sci. Sustain. Prod., 24(4): 85-96. (In Persian).
31. 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.
32. Hodge, A. 2014. Interactions between Arbuscular mycorrhizal fungi and organic material substrates. Adv. Appl. Microbiol. 89: 47-99. Doi: 10.1016/B978-0-12-800259-9.00002-0.
33. Jansa, J., Smith, F. A., Smith, S.E., 2008. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? New Phytologist, 177, 779–789
34. Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in Foeniculum vulgare mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresour. Technol., 93: 307-311.
35. 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. Doi: 10.1104/pp.011882.
36. 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. Doi: 10.1073/pnas.0803499105.
37. 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 Biosystems, 149: 260-269.
38. Kumar, S., Sindhu, S.S., Kumar, R., 2021. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Curr Res Microb Sci.100094.
39. Nidhi, V., Sehrawat, D., Poonam, M., 2021. Potential use of Ascophyllum nodosum as a biostimulant for improving the growth performance of Vigna aconitifolia (Jacq.) Marechal. Plants. 10, 2361. https://doi.org/10.3390/plants10112361
40. Ogata, J., Kanno Y., Itoh Y., Tsugawa H., Suzuki M., 2005. Plant biochemistry anthocyanin biosynthesis in roses. Nature, 435: 757-758.
41. 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. Doi: 10.56093/ijas. v92i3.122680.
42. Phillips, J.M. and D.S. Hayman, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular

arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Brit. Myco. Soc. 55(1): 158–161.
43. Razavipour, T., Siavash Moghadam, S., Davalit, Y., Jang Jo, F., 2019. Organic and biological fertilizers and their importance in sustainable agriculture. National Rice Research Institute, Iran. 1, 202. (In Persian)
44. Ritchie, S.W., Nyvgen, H.I., Halady, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30: 105-111.
45. Shajari, M.A., 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.). Journal of Agroecology, 6(3): 425-443. (In Persian)
46. Smith, S.E., Read, D., 2008. Mycorrhizal Symbiosis, 3ed edition, Academic Press is an imprint of Elsevie. Pp 787.
47. 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. Proceedings of the First International and Second National Congress of Flowers and Ornamental Plants of Iran. (In Persian)
48. 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.
49. 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. Doi: 10.1016/S0304-4238(02)00210-8.
50. Song, H., 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. J. Plant Nutr., 1(3), 44-48.
51. Spaepen, S., Vanderleyden, J., 2010. Auxin and Plant-Microbe Interactions, Cold Spring Harb Perspect Biol, Pp 1-13
52. 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: 2425-2444.
53. Sunarpi, H., Kurnianingsih, R., Ghazali, M., 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(1), 1-11. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1750642
54. Supratim, B., Roel, C.R., Sangeeta, N., 2018. AMF: The future prospect for sustainable agriculture. Physiol. Mol. Plant Pathol.,102: 36-45.
55. Thonar, C. 2014. Interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil fertility on plant growth. Soil Biology & Biochemistry, 68, 1–9.
56. Veresoglou, S.D., Rillig, M.C., 2012. Suppression of fungal and nematode plant pathogens through arbuscular mycorrhizal fungi. Biology Letters. 8: 214-217.
57. Verma, P., Saxena, R, Tomar, R.S., 2016. Rhizobacteria: A promising tool for drought tolerance in crop plants. Proceeding of International Conference on Recent Advances in Biotechnology (Int- BIONANO-2016).
58. Vukajlovic, D., van Veghel, H., Durovic, S., 2017. Economic justification for floriculture development in Serbia. Econ. Agric., 64: 687 -699.
59. 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.
60. 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.
61. 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: 77-84.
62. 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 and Function, 9(38), 397–414
63. 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.