Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 40, No. 4, Page 785-804 (2024)

DOI:10.22092/ijmapr.2024.364509.3404

Effects of mycorrhiza and foliar application of zinc element on morphological and biochemical properties of pink evening primrose (*Oenothera speciosa* Nutt.)

Zahra Baharmast[1], Moazzam Hassanpour Asil[2*], Mohammad Bagher Farhangi[3] and Amir Sahraroo[4]

1- Ph.D. student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
E-mail: hassanpurm@guilan.ac.ir
3- Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
4- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: December 2023 Revised: April 2024 Accepted: April 2024

Abstract

Background and objectives: Pink evening primrose is one of the world's most well-known and economically valuable medicinal plant species. It has also been cultivated as an ornamental and medicinal plant in Iran. In addition, its seed oil is used in the pharmaceutical, food, cosmetic, and healthcare industries. Micronutrients and biofertilizers can enhance the quality of agricultural products. Therefore, this study was conducted to investigate the effect of arbuscular mycorrhizal fungi and zinc foliar spraying on the nutrient uptake morphophysiological and biochemical characteristics of pink evening primrose.

Methodology: This research was conducted on evening primrose for one year, from October 2022 to September 2023. For this purpose, evening primrose seeds were first grown for 120 days in greenhouse conditions in size 10 pots and then at the time of transplanting to the main pot, they were inoculated with Glomus intraradices arbuscular mycorrhizal species, and inoculation was carried out at two levels of inoculation and non-inoculation during the transfer of the seedlings of the main pot. This experiment was carried out factorially in a completely randomized design and foliar application of zinc element in zinc sulfate at three levels of zero (control), 3 and 5 mg/L in three replications at the eight-leaf stage. Before planting the plant, samples were taken from the soil mixture used, and the physicochemical test of the soil included The concentration of nitrogen, potassium, phosphorus and biomass carbon elements. The examined traits include Morphological traits (wet and dry weight of shoot, number of flowers per stem, flower diameter, length of flowering period, number of leaves, number of capsules, number of seeds in capsule, number of lateral branches) and number of mycorrhizal spores in the soil and physiological traits including chlorophylls a, b and total, carotenoid, phenol and flavonoid and antioxidant and activity of catalase and peroxidase enzymes were evaluated in leaves.

Results: The results showed that in the foliar treatment with 5 mg/l zinc sulfate, the number of flowers per plant, number of capsules per plant, number of seeds per plant, seed yield, number of internodes, number of secondary stems, fresh and dry weight of shoot and flavonoid phytochemical traits, antioxidant, catalase and peroxidase and in addition elements of phosphorus, zinc, boron, manganese, iron and copper were significantly different at the 1%

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

probability level. Carotenoid, nitrogen and potassium elements were found to have a significant difference at the 5% probability level. The effect of inoculation treatment with arbuscular mycorrhizal fungus on the traits of number of flowers per plant, number of capsules per plant, number of seeds per plant, seed yield, flower diameter, stem diameter, leaf area, number of leaves, fresh and dry weight of shoot, plant height and length flowering period and in addition, total chlorophyll, phenol, flavonoid, antioxidant and catalase and elements of nitrogen, zinc, boron, manganese, iron and copper were significantly different at the 1% probability level. The traits of the number of secondary stems, carotenoids, and peroxidase were significant at the 5% probability level. The interaction effect of foliar spraying treatments with zinc sulfate 5 mg/litre and arbuscular mycorrhizal fungus on shoot weight and total chlorophyll at the 1% probability level, and the number of flowers, chlorophyll a, catalase and zinc element was observed to be significant difference at 5% probability level. The comparison between the treatments showed that the foliar treatment with zinc sulfate 5 mg/litre, along with the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungus, had the most significant effect on increasing the amount of flowering, seed yield and phenolic compounds and catalase and peroxidase enzymes.
Conclusion: In general, it can be concluded that among the treatments used, foliar spraying treatment with zinc sulfate (5 mg/litre) along with arbuscular mycorrhizal fungus can achieve high flower and seed yield by affecting the availability of nutrients and increasing vegetative growth. It can also increase the amount of chlorophyll and total carotenoid, flavonoid, antioxidant, catalase, and peroxidase of this valuable plant.

Keywords: Peroxidase, antioxidant capacity, total flavonoid, catalase.

اثر مایکوریزا و محلول‌پاشی عنصر روی بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گل مغربی صورتی (*Oenothera speciosa* Nutt.)

زهرا بهارمست[۱]، معظم حسن‌پور اصیل[۲*]، محمد باقر فرهنگی[۳] و امیر صحرارو[۴]

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، پست الکترونیک: hassanpurm@guilan.ac.ir

۳- استادیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۴- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: فروردین ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: گل مغربی صورتی یکی از معروف‌ترین گونه‌های دارویی با ارزش اقتصادی بالا در جهان است که در ایران نیز به‌عنوان یک گیاه زینتی دارویی کاشته می‌شود. علاوه بر آن، روغن بذر آن در صنایع دارویی، صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. کیفیت محصولات کشاورزی را می‌توان با استفاده از ریزمغذی‌ها و کودهای زیستی افزایش داد. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کاربرد قارچ آربوسکولار مایکوریزا و محلول‌پاشی عنصر روی بر جذب مواد مغذی و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل مغربی صورتی (*Oenothera speciosa* Nutt.) انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در طی یک سال از مهر ۱۴۰۱ تا شهریور ۱۴۰۲ بر روی گل مغربی انجام شد. بدین منظور بذرهای گل مغربی ابتدا به مدت ۱۲۰ روز در شرایط گلخانه در گلدان اندازه ۱۰ کشت و بعد در زمان انتقال نشاء به گلدان اصلی با گونه مایکوریزا آربوسکولار *Glomus intraradices* تلقیح شدند و مایه‌زنی در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح در زمان انتقال نشاء گلدان اصلی انجام گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و محلول‌پاشی عنصر روی به شکل سولفات روی در سه سطح صفر (شاهد)، ۳ و ۵ میلی‌گرم در لیتر در سه تکرار در مرحله هشت برگی انجام شد. پیش از کاشت گیاه از مخلوط خاک مورد استفاده نمونه‌برداری شد و آزمایش فیزیکی و شیمیایی خاک شامل غلظت عنصرهای نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کربن زیست‌توده انجام شد. صفات مورد بررسی شامل صفات مورفولوژیک (وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد گل در ساقه، قطر گل، طول دوره گلدهی، تعداد برگ، تعداد کپسول، تعداد بذر در کپسول، تعداد شاخه جانبی) و تعداد اسپور مایکوریزا در خاک و صفات فیزیولوژیک شامل کلروفیل‌های a، b و کل، کاروتنوئید، فنل و فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در برگ ارزیابی شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر صفات تعداد گل در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد بذر در بوته، عملکرد بذر، تعداد میانگره، تعداد ساقه فرعی و وزن تر و خشک اندام هوایی و صفات فیتوشیمیایی فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان، کاتالاز و پراکسیداز و علاوه بر این عنصرهای فسفر، روی، بور، منگنز، آهن و مس در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. در کاروتنوئید و عنصرهای نیتروژن و پتاسیم در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری حاصل شد. اثر تیمار تلقیح با قارچ آربوسکولار مایکوریزا بر صفات تعداد گل در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد بذر در بوته، عملکرد بذر، قطر گل، قطر ساقه، سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه و طول دوره گلدهی و علاوه بر این کلروفیل کل، فنل، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان و کاتالاز و عنصرهای نیتروژن، روی، بور، منگنز، آهن و مس در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. صفت تعداد ساقه فرعی، کاروتنوئید و پراکسیداز در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در صفت وزن تر اندام هوایی و کلروفیل کل در سطح احتمال ۱٪ و تعداد گل و کلروفیل a و کاتالاز و عنصر روی در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. مقایسه بین تیمارها نشان داد تیمار

محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا بیشترین تأثیر را بر افزایش میزان گلدهی، عملکرد بذر و ترکیبات فنلی و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشت.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در بین تیمارهای استفاده شده، تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی (۵ میلی‌گرم بر لیتر) همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا می‌تواند با تأثیر بر فراهمی عناصر غذایی و افزایش رشد رویشی در حصول عملکرد بالای گل و بذر و افزایش میزان کلروفیل‌های a و کل، کاروتنوئید، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان، کاتالاز و پراکسیداز این گیاه با ارزش مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید کل، کاتالاز.

مقدمه

جنس *Oenothera* دومین جنس بزرگ گیاهان گلدار با منشأ آمریکا در مناطق آب و هوایی معتدل و گرمسیری است که در حال حاضر در مناطق مختلف کره زمین وجود دارد و تقریباً ۱۴۵ گونه را شامل می‌شود که ۷۰ گونه از آنها را می‌توان در اروپا یافت. این گیاه بهترین فعالیت بیولوژیکی مطالعه شده را در بین تمام اعضای خانواده خود دارد و دارای طیف وسیعی از خواص دارویی است (Wagner *et al*., 2015). گل مغربی صورتی با نام علمی *Oenothera speciosa* Nutt. یک گیاه دو ساله از تیره Onagraceae و بومی آمریکای شمالی است (Singh *et al*., 2012). به‌عنوان یک گیاه دارویی تجاری، روغن بذر آن در صنایع دارویی، صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. روغن گل مغربی صورتی حاوی اسیدهای چرب ضروری ازجمله لینولئیک‌اسید (۳۳۲۷٪)، گامالینولنیک اسید (۵۰۸٪) و مشتقات آنهاست، همچنین دارای مواد فنلی، فلاونوئیدی و تاننی می‌باشد. این گیاه دارای اثرهای ضدالتهابی، کاهش مشکلات پیش از قاعدگی، تقویت پوست صورت، ترمیم سریع زخم‌ها، مهار تجمع پلاکت‌ها، تسکین بیماری‌های قلبی و عروقی، درمان بیماری‌های پوستی مانند حساسیت اگزمایی و درمان عفونت‌های ویروسی است (Singh *et al*., 2012).

علاقه برای تولید گیاهان دارویی و تقاضا برای تولید محصولات طبیعی و بدون استفاده از مواد شیمیایی در جهان رو به افزایش است (Baghbani-Arani *et al*., 2017). کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و مواد شیمیایی کشاورزی و بهبود کیفیت محصولات غذایی، میوه‌ها، سبزی‌ها و گیاهان زینتی پیش‌نیاز دستیابی به کشاورزی ارگانیک است (Golubkina *et al*., 2020a). استفاده نادرست از کودهای شیمیایی و آلی، ممکن است منجر به برخی مشکلات شود. مقادیر زیاد مصرف کودهای شیمیایی باعث آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی، کمبود ریزمغذی‌ها و تخریب خاک می‌گردد که در نهایت منجر به کیفیت پایین محصول می‌شود (Meena *et al*., 2017). استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه نه تنها برای تنوع غذایی بلکه برای جلوگیری از هدررفت حاصلخیزی خاک نیز مناسب است. تا به امروز، پیشرفت عمده‌ای در استفاده از میکروارگانیسم‌ها در راستای حاصلخیزی خاک حاصل شده است. بهره‌برداری از موجودات بومی خاک روشی برای حفاظت از حاصلخیزی خاک است (Dar *et al*., 2018). میکروارگانیسم‌های مختلف خاک بر عملکرد و کیفیت محصول تأثیر می‌گذارند. در این میان، قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا یکی از همزیست‌های اصلی ریشه گیاه هستند. با این حال، آنها مختص گیاه میزبان نیستند، بنابراین در شرایط و محصولات مختلف، گونه‌های قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا با مشارکت سایر گیاهان در ارتقای رشد یا بهره‌وری گیاهان مؤثرتر هستند (Frew, 2019). هر چه جامعه قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا متنوع‌تر باشد رشد گیاه بیشتر می‌شود. استفاده از قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در کشاورزی دارای مزیت نسبی و رقابتی است؛ بنابراین سه عامل اصلی که از کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در گیاهان حمایت می‌کنند، افزایش اهمیت اقتصادی گیاه، کاهش استفاده از کودهای معدنی و علف‌کش‌ها و تولید مقادیر بالایی از مواد ضد سرطان‌زا

هستند (Golubkina *et al*., 2020b؛ Marro *et al*., 2020). قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در کشاورزی، جایگزین‌های مناسبی برای کودهای شیمیایی هستند. این ترکیبات طبیعی کودهای زیستی در نظر گرفته می‌شوند، زیرا آنها آب و مواد مغذی به‌ویژه افزایش دسترسی به عنصر فسفر را برای گیاه میزبان فراهم می‌کنند (Berruti *et al*., 2016؛ Popescu, 2016). بنابراین، یک ابزار بالقوه برای کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی، گنجاندن محصولات قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در فعالیت‌های کشاورزی است. قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا با تأثیر بر پذیرش گرده، رشد لوله گرده، جوانه‌زنی گرده، لقاح و جوانه‌زنی بذر بر تولیدمثل گیاه تأثیر می‌گذارند (Bennett & Meek, 2020). قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا به دلیل بهبود قابلیت دسترسی و جذب مواد مغذی خاک، می‌توانند ابزار ارزشمندی برای تحقق تولید پایدار باغبانی باشند (Alori *et al*., 2017).

کمبود روی یک مشکل جهانی و مستند در گیاهان است و می‌تواند منجر به کاهش عملکرد و کیفیت غذایی شود (Kabir *et al*., 2014). اسیدیته (pH) بالای خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عنصر روی را در خاک بی‌حرکت می‌کند و دسترسی آن را برای گیاهان کاهش می‌دهد. بی‌کربنات کلسیم زیاد و مواد آلی کم از دیگر عواملی هستند که دسترسی عنصر روی در گیاهان را نیز کاهش می‌دهند (He *et al*., 2021؛ Iratkar *et al*., 2014). با این حال، کمبود عنصر روی معمولاً منجر به اختلال در عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان می‌شود که می‌تواند از طریق توسعه همزیستی برطرف شود (Jabborova *et al*., 2020). فرایندهای مهم تنظیم شده عنصر روی در گیاهان عبارت‌اند از: فتوسنتز، متابولیسم پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات، تشکیل گرده، یکپارچگی غشاء و متابولیسم اکسین (Hassan *et al*., 2020). همچنین در بسیاری از گونه‌های گیاهی، عنصر روی به‌عنوان یک کوفاکتور تنظیم‌کننده چندین آنزیم یا اجزای ساختاری که طیف وسیعی از مسیرهای فیتوشیمیایی را کاتالیز می‌کند، نقش اساسی ایفاء می‌کند. این نقش‌ها شامل پایداری ساختاری برای غشای سلولی، سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، متابولیسم پروتئین، واسطه پیام‌رسانی سلولی، تشکیل گرده، تنظیم‌کننده بیان ژن و مقاومت در برابر عفونت توسط پاتوژن‌های خاص است (Fung & Gildengorin, 2015).

رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و بکارگیری روش‌های مدیریتی آن مانند کاربرد کودهای زیستی به منظور ارتقاء عملکرد کمّی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد. با توجه به ظرفیت بالای بذر گل مغربی برای تولید گاما لینولنیک اسید و اهمیت کشت گیاهان دارویی به روش ارگانیک و با توجه به اینکه کیفیت محصولات باغی را می‌توان با استفاده از ریزمغذی‌ها و کودهای زیستی بهبود بخشید، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا آربوسکولار و عنصر ریزمغذی روی بر جذب مواد مغذی و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل مغربی صورتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی یکسال (از مهر ۱۴۰۱ تا شهریور ۱۴۰۲)، بر روی گل مغربی صورتی انجام شد. ابتدا بذرهای F1 گل مغربی از شرکت فردین کشت تهیه و اواسط آبان سال ۱۴۰۱، در گلدان اندازه ۱۰ با مخلوط پیت و کوکوپیت با نسبت ۱:۱ کشت شد و در گلخانه نگهداری گردید و بعد نشاءها در مرحله هشت برگی اواسط اسفند ۱۴۰۱ به گلدان اصلی (سطل ۴) و کشت یک گیاهچه در خاک هر گلدان که مخلوطی از خاک باغچه، کود دامی کاملاً پوسیده و ماسه با نسبت ۱: ۱: ۴ بود منتقل شد (Bakian *et al*., 2019). پیش از کشت گیاه، اوایل مهر ۱۴۰۱ از مخلوط خاک مورد استفاده نمونه‌برداری شد و آزمایش فیزیکی و شیمیایی خاک شامل غلظت عنصرهای نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کربن زیست‌توده در جدول ۱ آورده شده است (Carter *et al*., 2007). این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و مایه تلقیح سویه *Glomus intraradices* از شرکت زیست فناوری مهر آسیا تهیه شد و مایه‌زنی در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح مایکوریزا در زمان

انتقال نشاء به گلدان اصلی انجام گردید. محلول‌پاشی عنصر روی به شکل سولفات روی در سه سطح صفر (شاهد)، ۳ و ۵ میلی‌گرم در لیتر در سه تکرار در مرحله هشت برگی انجام شد (Singh & Dwivedi, 2019).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of experimental soil

EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Carbon (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	N (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil pattern
1.25	6.81	1.48	107	20.35	0.39	48.42	35.08	16.49	Loamy sand

در این پژوهش پس از اعمال تیمارها اوایل خرداد ۱۴۰۲ صفات مورفولوژیک شامل تعداد گل، برگ و شاخه جانبی در زمان اتمام گلدهی و تعداد کپسول و تعداد بذر در هر کپسول پس از رسیدن بذر شمارش شد. قطر گل و قطر ساقه توسط کولیس اندازه‌گیری شد و طول دوره گلدهی از زمان پیدایش نخستین گل تا پایان دوره گلدهی، پیش از برداشت شمارش شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل (GCL Bubel Etch Tank) ساخت کشور آلمان سنجش شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی، پس از قطع گیاهان، وزن تر توسط ترازوی دیجیتال توزین و بعد در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس تا ثابت ماندن وزن نگهداری شد و بعد وزن خشک آن توسط ترازو توزین گردید. برای تعیین محتوی کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید برگ به روش آرنون (Arnon, 1949) و از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{Chl. a (mg/g FW)} = [12.7\ (A663) - 2.69\ (A\ 645)] \times V/W$$

$$\text{Chl. b (mg/g FW)} = [22.9\ (A645) - 4.68\ (A\ 663)] \times V/W$$

$$\text{Chl. total (mg/g FW)} = [20.2\ (A645) + 8.02\ (A\ 663)] \times V/W$$

$$\text{Carten} = (1000 \times A470 - 1/8 \times \text{chl a} - 85/02 \times \text{chl b}) \div 198$$

سنجش میزان فنل: به روش فولین سیکالچو (Mirzaei *et al*., 2011) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (PG Insturment 80, Leicester, United Kingdom) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان فنل، ۱۰۰ میکرولیتر محلول استخراج شده از برگ خشک آسیاب شده، با آب مقطر به حجم ۱ میلی‌لیتر رسانده شد و بعد در نمونه ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۷/۵٪) ریخته شد و نمونه ۱/۵ ساعت در تاریکی قرار گرفت. سپس میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد.

سنجش فلاونوئید: میزان فلاونوئید کل با روش کالریمتری آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد (Du *et al*., 2009). ابتدا به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده از برگ به‌ترتیب ۱۷۰۰ میکرولیتر اتانول (۳۰٪)، ۱۵۰ میکرولیتر نیتریت سدیم ۰/۵ میلی‌مولار و ۱۵۰ میکرولیتر کلریدآلومینیوم ۰/۳ میلی‌مولار اضافه گردید و بلافاصله به‌هم زده شد. پس از گذشت ۵ دقیقه، ۱۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید سدیم ۱ میلی‌مولار اضافه شد. پس از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه، میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۶ نانومتر ثبت شد.

سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدان از روش رادیکال DPPH استفاد شد. اساس این روش بر مبنای احیاء رادیکال آزاد DPPH به‌وسیله

آنتی‌اکسیدان در غیاب سایر رادیکال‌های آزاد در محیط می‌باشد که شدت آن با دستگاه طیف‌سنجی قابل اندازه‌گیری است (Prevec *et al.*, 2013). جذب نمونه‌های عصاره استخراج شده از برگ در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد. درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

درصد مهار رادیکال‌های آزاد =(A517Blank – A517Sample / A517Blank)×100

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): فعالیت آنزیم CATبا استفاده از روش Cakmak و Marschner (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد. مقدار ۲۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی استخراج شده از برگ به‌همراه ۴۰۰ میکرولیتر از محلول بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار و ۳۰۰ میکرولیتر H_2O_2مخلوط و در طول موج ۲۴۰ نانومتر و سرعت حذف H_2O_2به مدت ۲ دقیقه اندازه‌گیری شد. یادآوری می‌شود قبلاً میزان جذب H_2O_2 در بافر فسفات ۰/۴ تنظیم گردید. در این آزمایش ۲ میلی‌لیتر از بافر حاوی H_2O_2 فاقد عصاره آنزیمی به‌عنوان نمونه شاهد به منظور صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل PG Insturment 80, Leicester, United Kingdom) استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی ۳۹/۵ $mM^{-1}\ cm^{-1}$ براساس سرعت مصرف هیدروژن پراکسید در دقیقه محاسبه گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز مساوی است با اختلاف جذب تقسیم بر عدد ۳۹/۵ ضرب در ضریب خاموشی.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: فعالیت آنزیم POX با استفاده از روش Polle و همکاران (۱۹۹۷) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی ۲۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر گایاکول ۱۸ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر از H_2O_2 و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استخراج شده از برگ بود که در لوله آزمایش ریخته شد. جذب نمونه براساس اکسیداسیون گایاکول انجام شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (PG Insturment 80, Leicester, United Kingdom) به مدت ۲ دقیقه در طول موج ۴۳۶ نانومتر خوانده شد. از محلول واکنش بدون عصاره برای صفر کردن دستگاه استفاده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز مساوی است با جذب خوانده شده تقسیم بر عدد ۲۶/۶ و جذب خوانده شده برابر میزان تتراگایاکول تولید شده در یک دقیقه و ۲۶/۶ ضریب خاموشی آنزیم پراکسیداز برحسب $Mm^{-1}\ cm^{-1}$.

تعیین غلظت عنصر نیتروژن در اندام هوایی گیاه به روش کجلدال انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت عنصر فسفر در اندام هوایی گیاه از روش اولسون و از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت عنصر پتاسیم در اندام هوایی گیاه از روش فلیم‌فتومتری استفاده گردید. برای اندازه‌گیری غلظت عنصرهای آهن، مس، روی، منگنز و منیزیم در اندام هوایی گیاه از دستگاه جذب اتمی استفاده شد (Yash, 1997) و غلظت عنصر بور به روش اسپکتروفتومتری با روش Azomethine-H تعیین شد (Wolf, 1974). برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS و برای مقایسه میانگین از آزمون توکی استفاده گردید.

نتایج

براساس تجزیه واریانس (جدول ۲) صفت تعداد گل در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل این تیمارها در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در صفات تعداد کپسول و تعداد بذر و عملکرد بذر در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا و محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. صفات وزن بذر و تعداد برگ در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد و صفت تعداد میانگره در تیمار با محلول‌پاشی سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. صفت تعداد ساقه‌های فرعی در تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر در سطح احتمال ۱٪ و تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد.

۲- تجزیه واریانس تأثیر سولفات روی و مایکوریزا بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد گل مغربی صورتی (***Oenothera speciosa***)

Table 2. ANOVA of zinc sulfate and mycorrhiza effects on morphological traits and yield of *Oenothera speciosa*

S.O.V.	d. f.	M.S.							
		Number of flowers per bush	Number of capsules per bush	Number of seeds per bush	Seed weight per bush	Seed yield	Number of internodes per bush	Number of leaves per bush	Number of sub-stems per bush
(A) $ZnSO_4$	2	348.11^{**}	244.11^{**}	1041.44^{**}	0.003^{ns}	0.005^{**}	108.11^{**}	66.33^{ns}	176.77^{**}
(B) Mycorrhizal	1	1352^{**}	1901.38^{**}	4170.88^{**}	0.0015^{**}	0.011^{**}	9.38^{ns}	1476.05^{**}	12.5^{*}
A×B	2	171^{*}	70.77^{ns}	48.11^{ns}	0.0002^{ns}	0.001^{ns}	2.7^{ns}	3.44^{ns}	1^{ns}
Experimental error	12	22.76	21.86	20.83	7.75	15.06	10.82	7.29	5.91
C.V. (%)		11.77	12.96	7.21	14.36	0.28	9.28	13.70	16.14

ادامه جدول ۲- ...

Continued Table 2. …

S.O.V.	d. f.	M.S.							
		Flower diameter	Stem diameter	Plant height	Leaf area	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Flowering period length	Number of spores per bush
(A) $ZnSO_4$	2	34.93^{ns}	0.132^{ns}	42.11^{ns}	2.83^{ns}	438.11^{**}	138.54^{**}	82.33^{ns}	0.06^{ns}
(B) Mycorrhizal	1	206.45^{**}	1.77^{**}	213.55^{**}	16.41^{**}	1042.72^{**}	260.22^{**}	401.38^{**}	94.21^{**}
A×B	2	19.54^{ns}	0.116^{ns}	105.44^{ns}	0.52^{ns}	188.77^{**}	6.33^{ns}	19.44^{ns}	0.06^{ns}
Experimental error	12	6.96	26.39	3.22	14.71	21.09	19.89	2.94	46.59
C.V. (%)		6.43	5.13	8.54	9.5	15.74	14.51	7.68	27.81

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively

براساس تجزیه واریانس (جدول ۲) صفات قطر گل، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، سطح برگ، طول دوره گلدهی و تعداد اسپور در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری داشت که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱/۱۲، ۱/۱۷، ۱/۰۸، ۱/۲۰، ۱/۷۹ و ۱/۶۱ درصد افزایش نشان داد. صفت وزن خشک اندام هوایی در تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. صفت وزن تر اندام هوایی در تمام تیمارهای اعمال شده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد و بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی مربوط به تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزا با ۳۲/۸۸ گرم و کمترین میزان مربوط به تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا با ۱۷/۶۶ گرم بود. در صفات وزن تر و خشک اندام هوایی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱/۱۰٪ و ۱/۷۲٪ افزایش مشاهده شد.

براساس جدول ۳ بیشترین میزان در صفات تعداد بذر و وزن بذر و عملکرد بذر، بیشترین میزان در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا به‌ترتیب با ۱۱۳/۷۸، ۰/۰۶۱ و ۵/۴۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان در تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا به‌ترتیب با ۸۳/۳۳، ۰/۰۴۲ و ۵/۴۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که به‌ترتیب افزایش ۱/۳۶، ۱/۴۵ و ۱ درصدی نسبت به شاهد حاصل شد. صفت تعداد میانگره بیشترین میزان در تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر با ۱۹ میانگره و کمترین میزان در شاهد با ۱۳ میانگره مشاهده گردید. صفت تعداد برگ، بیشترین میزان در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۵۶/۵۵) و کمترین میزان در تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۳۸/۴۴) بود. صفت تعداد ساقه فرعی، بیشترین تعداد در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۱۹/۶۶) و کمترین تعداد در شاهد (۱۲) مشاهده شد. با توجه به داده‌های بدست آمده صفات تعداد میانگره، تعداد برگ و تعداد ساقه فرعی در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱/۴۶، ۱/۳۴ و ۱/۶۳ درصد افزایش یافتند.

مطابق جدول ۳ مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار سولفات روی همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در صفت تعداد گل در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد و بیشترین میزان در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۵۱/۶۶) و کمترین میزان در شاهد مشاهده گردید.

براساس جدول ۳ مقایسه میانگین صفات قطر گل، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول دوره گلدهی و تعداد اسپور در بیشترین میزان در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا به‌ترتیب (۴۵/۸۹ میلی‌متر، ۲/۷ سانتی‌متر، ۵۸/۵ سانتی‌متر، ۶/۴۰ سانتی‌مترمربع، ۳۲/۸۸ گرم و ۱۷/۷۰ گرم، ۸۰/۸۸ روز و $۴/۵۷\times۱۰^{۳}$) و کمترین میزان در تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا به‌ترتیب (۳۹/۱۲ میلی‌متر، ۲/۰۹ سانتی‌متر، ۵۲ سانتی‌متر، ۴/۴۹ سانتی‌متر مربع، ۱۷/۶۶ گرم و ۱۰/۱۰ گرم، ۷۱/۴۲ روز و صفر) بود که به‌ترتیب افزایش ۱/۷، ۱/۲۹، ۱/۲۵، ۱/۴۲، ۱/۸۶، ۱/۷۵، ۱/۳۲ و ۴/۵ درصدی در این صفات نسبت به شاهد مشاهده گردید.

مطابق جدول ۳ در صفت وزن تر اثر متقابل تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود داشت که بیشترین میزان آن در تیمار سولفات روی ۳ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۳۷/۶۶ گرم) و کمترین میزان آن در شاهد (۱۵ گرم) مشاهده شد. براساس جدول‌های ۶ و ۷ صفات تعداد گل در بوته و وزن تر نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۲/۲۱ و ۲/۵۱ درصدی حاصل شد. در سایر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر سولفات روی و مایکوریزا بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد گل مغربی صورتی (*Oenothera speciosa*)

Table 3. Means comparison of zinc sulfate and mycorrhiza effects on morphological traits and yield of *Oenothera speciosa*

Treatment	Number of flowers per bush	Number of capsules per bush	Number of seeds per bush	Seed weight per bush (g)	Seed yield (kg.ha^{-1})	Number of internodes per bush	Number of leaves per bush	Number of sub-stems per bush
Control	28.5^{c}	29.66^{b}	87.50^{c}	0.046^{a}	5.43^{c}	13^{c}	42^{a}	12^{c}
ZnSO4 (3mg)	35.83^{b}	36.16^{a}	99.83^{b}	0.052^{a}	5.45^{b}	16.16^{b}	46.83^{a}	15.5^{b}
ZnSO4 (5mg)	39^{a}	38.33^{a}	108.17^{a}	0.057^{a}	5.47^{a}	19^{a}	53.66^{a}	19.66^{a}
No mycorrhizal	25.77^{b}	24.44^{b}	83.33^{b}	0.042^{b}	5.42^{b}	15.33^{a}	38.44^{b}	14.88^{b}
Mycorrhizal	43.11^{a}	45^{a}	113.78^{a}	0.061^{a}	5.47^{a}	16.77^{a}	56.55^{a}	16.55^{a}

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. …

Treatment	Flower diameter (mm)	Stem diameter (cm)	Plant height (cm)	Leaf area (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Flowering period length	Number of spores per bush
Control	40.71^{a}	2.3^{a}	53.83^{a}	5.06^{a}	18.33^{c}	10.27^{c}	73.16^{a}	2.21^{a}
ZnSO4 (3mg)	42.72^{a}	2.4^{a}	55^{a}	5.27^{a}	28.16^{b}	14.43^{b}	77.33^{a}	2.29^{a}
ZnSO4 (5mg)	44.10^{a}	2.5^{a}	57.5^{a}	5.99^{a}	29.33 ^{a}	17^{a}	78^{a}	2.35^{a}
No mycorrhizal	39.12^{b}	2.09^{b}	52^{b}	4.49^{a}	17.66^{b}	10.10^{b}	71.42^{b}	0^{b}
Mycorrhizal	45.89^{a}	2.7^{a}	58.5^{a}	6.40^{b}	32.88^{a}	17.70^{a}	80.88^{a}	3.57^{a}

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. …

Treatment	Number of flowers per bush	Number of capsules per bush	Number of seeds per bush	Seed weight per bush (g)	Seed yield (kg.ha^{-1})	Number of internodes per bush	Number of leaves per bush	Number of sub-stems per bush
A0B0	23.33^{d-f}	21.66^{c}	73.66^{d}	0.042^{cd}	5.41^{de}	12^{e}	34.66^{d}	11^{e}
A0B1	33.66^{c}	37.66^{ab}	101.33^{b}	0.050^{b}	5.44^{bc}	14de	49.33^{b}	13^{c-e}
A1B0	27.66^{cd}	23.33^{bc}	84.66^{cd}	0.042^{cd}	5.42^{c-e}	16^{b-d}	37^{cd}	15^{cd}
A1B1	44^{b}	49^{a}	115^{a}	0.062^{ab}	5.48^{ab}	16.33^{bc}	56^{ab}	16^{a-c}
A2B0	26.33^{de}	28.33^{b}	91.66^{bc}	0.043^{c}	5.43^{cd}	18^{ab}	43^{c}	20.66^{ab}
A2B1	51.66^{a}	48.33^{a}	125^{a}	0.070^{a}	5.50^{a}	20^{a}	63^{a}	18.66^{a}

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. …

Treatment	Flower diameter (mm)	Stem diameter (cm)	Plant height (cm)	Leaf area (cm)	Shoot fresh weight(g)	Shoot dry weight (g)	Flowering period length	Number of spores per bush
A0B0	38.40^{de}	1.93^{d}	47de	3.87^{e}	15^{ef}	7.24^{e}	67.33^{c-e}	-
A0B1	43.01^{bc}	2.67^{bc}	59.66^{ab}	6.25^{ab}	21.66^{c}	13.30^{bc}	79^{a-c}	2.63^{b}
A1B0	39.65^{cd}	2.03^{cd}	53.66^{c-e}	4.47^{de}	17^{c-e}	10.53^{de}	72.33^{c-e}	-
A1B1	45.78^{ab}	2.78^{a}	55.33^{bc}	6.07^{bc}	39.33^{a}	18.33^{ab}	82.33^{a}	3.83^{ab}
A2B0	39.31^{de}	2.31^{cd}	60.33^{a}	5.12^{cd}	21^{cd}	12.53^{cd}	74.66^{b-d}	-
A2B1	48.89^{a}	2.71^{ab}	56.66^{a-c}	6.86^{a}	37.66^{ab}	21.48^{a}	81.33^{ab}	3.9^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Tukey test).
A0B0 (ZnSO4 (0) × No mycorrhizal), A0B1 (ZnSO4 (0) × Mycorrhizal), A1B0 (ZnSO4 (3mg) × No mycorrhizal), A1B1 (ZnSO4 (3mg) × Mycorrhizal), A2B0 (ZnSO4 (5mg) × No mycorrhizal), A2B1 (ZnSO4 (5mg) × No mycorrhizal).

براساس جدول ۴ تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی کلروفیل a اثر متقابل تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر و تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. کلروفیل کل در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا و اثر متقابل محلول‌پاشی با سولفات روی ۳ میلی‌گرم بر لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کاروتنوئید در تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ و فنل در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری داشت. فلاونوئید در تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. همچنین آنتی‌اکسیدان در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم بر لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. آنزیم کاتالاز در تیمار با سولفات روی ۳ میلی‌گرم بر لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل این تیمارها در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری نشان داد. در آنزیم پراکسیداز در تیمار با سولفات روی ۳ میلی‌گرم بر لیتر در سطح احتمال ۱٪ و در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد.

براساس داده‌های جدول ۵، مقایسه میانگین بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۴/۱۲ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین میزان در تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۳/۶ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. بیشترین میزان فنل در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۰/۸۷٪) و کمترین میزان در تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۰/۷۴٪) بود. بیشترین میزان فلاونوئید در تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۰/۵۲٪) و کمترین میزان در شاهد (۰/۳۸٪) مشاهده گردید. بیشترین میزان آنتی‌اکسیدان در تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۵۶/۰۴ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین میزان در تیمار بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۳۹/۳۷ میلی‌گرم بر گرم) بود. بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۰/۰۳۷ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین میزان در شاهد به‌ترتیب (۰/۰۳۴ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. در مقایسه صفات فیتوشیمیایی کاروتنوئید، فنل، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱/۴۴، ۱/۱۷، ۱/۳۶، ۱/۴۲، ۱/۰۲ و ۱/۰۸ درصد افزایش مشاهده شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سولفات روی و مایکوریزا بر صفات فیتوشیمیایی گل مغربی صورتی (***Oenothera speciosa***)

Table 4. ANOVA of zinc sulfate and mycorrhiza effects on phytochemical traits of *Oenothera speciosa*

		M.S.								
S.O.V.	**d. f.**	**Chlorophyll *a***	**Chlorophyll *b***	**Total chlorophyll**	**Carotenoids content**	**Phenols content**	**Flavonoids content**	**Antioxidants content**	**Catalase**	**Peroxidase**
(A) $ZnSO_4$	2	10.37^{ns}	0.08^{ns}	0.89^{ns}	0.98^{*}	0.006^{ns}	0.05^{**}	670.44^{**}	0.01^{**}	0.00002^{**}
(B) Mycorrhizal	1	0.004^{ns}	23.71^{ns}	29.44^{**}	0.57^{*}	0.074^{**}	0.09^{**}	1250^{**}	0.004^{**}	0.000003^{*}
A×B	2	42.04^{*}	8.71^{ns}	69.64^{**}	0.22^{ns}	0.001^{ns}	0.009^{ns}	74.56^{ns}	0.001^{*}	0.000002^{ns}
Experimental error	12	2.53	0.67	23.41	3.20	21.40	15.30	10.82	20.71	10
C.V. (%)		4.30	18.40	11.56	8.79	3.43	9.93	12.72	0.53	2.25

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر سولفات روی و مایکوریزا بر صفات فیتوشیمیایی گل مغربی صورتی (***Oenothera speciosa***)

Table 5. Means comparison of zinc sulfate and mycorrhiza effects on phytochemical traits of *Oenothera speciosa*

Treatment	**Chlorophyll *a* (mg.g^{-1} leaf FW)**	**Chlorophyll *b* (mg.g^{-1} leaf FW)**	**Total chlorophyll (mg.g^{-1} leaf FW)**	**Carotenoids content (mg.g^{-1} leaf FW)**	**Phenols content (mg.g^{-1} leaf DW)**	**Flavonoids content (mg.g^{-1} leaf DW)**	**Antioxidants content (mg.g^{-1} leaf FW)**	**Catalase (units.mg^{-1} leaf FW)**	**Peroxidase (units.mg^{-1} leaf FW)**
Control	13.37^{a}	16.87^{a}	7.56^{a}	3.61^{b}	0.78^{a}	0.38^{c}	40.79^{c}	2.43^{c}	0.034^{c}
ZnSO4 (3mg)	14.22^{a}	17.08^{a}	7.95^{a}	3.64^{ab}	0.81^{a}	0.46^{b}	46.69^{b}	2.47^{b}	0.036^{b}
ZnSO4 (5mg)	15.23^{a}	17.37^{a}	8.09^{a}	4.12^{a}	0.83^{a}	0.51^{a}	55.63^{a}	2.5^{a}	0.037^{a}
No mycorrhizal	14.26^{a}	15.96^{a}	6.59^{b}	3.6^{b}	0.74^{b}	0.38^{b}	39.37^{b}	2.45^{b}	0.035^{b}
Mycorrhizal	14.29^{a}	18.26^{a}	9.15^{a}	3.9^{a}	0.87^{a}	0.52^{a}	56.04^{a}	2.48^{a}	0.036^{a}

ادامه جدول ۵- ...

Continued Table 5. …

Treatment	Chlorophyll *a* (mg.g^{-1} leaf FW)	Chlorophyll *b* (mg.g^{-1} leaf FW)	Total chlorophyll (mg.g^{-1} leaf FW)	Carotenoids content (mg.g^{-1} leaf FW)	Phenols content (mg.g^{-1} leaf DW)	Flavonoids content (mg.g^{-1} leaf DW)	Antioxidants content (mg.g^{-1} leaf FW)	Catalase (units.mg^{-1} leaf FW)	Peroxidase (units.mg^{-1} leaf FW)
A0B0	15.24^{ab}	16.68^{b-d}	9.45^{ab}	3.31^{d}	0.732^{e}	0.34^{cd}	30.18^{de}	2.49^{a}	0.036^{a-c}
A0B1	11.5^{de}	17.05^{a-c}	8.86^{a-c}	3.90^{ab}	0.840^{bc}	0.42^{bc}	51.39^{bc}	2.49^{a}	0.036^{ab}
A1B0	14.19^{a-d}	15.28^{c-e}	6.61^{c-e}	3.61^{b-d}	0.750^{de}	0.37^{d}	37.96^{de}	2.45^{cd}	0.036^{a-c}
A1B1	14.24^{a-c}	18.88^{a}	9.93^{a}	3.67^{bc}	0.873^{ab}	0.54^{ab}	55.41^{ab}	2.50^{a}	0.037^{a}
A2B0	13.34^{b-e}	15.92^{c-e}	4.76^{de}	3.90^{ab}	0.759^{cd}	0.42^{bc}	49.97^{cd}	2.41^{e}	0.033^{d}
A2B1	17.12^{a}	18.84^{ab}	7.59^{a-d}	4.33^{a}	0.912^{a}	0.60^{a}	61.30^{a}	2.46^{c}	0.035^{cd}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Tukey test).

A0B0 (ZnSO4 (0) × No mycorrhizal), A0B1 (ZnSO4 (0) × Mycorrhizal), A1B0 (ZnSO4 (3mg) × No mycorrhizal), A1B1 (ZnSO4 (3mg) × Mycorrhizal), A2B0 (ZnSO4 (5mg) × No mycorrhizal), A2B1 (ZnSO4 (5mg) × No mycorrhizal).

مطابق جدول ۵ مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها در صفات کلروفیل a و کلروفیل کل و آنزیم کاتالاز به‌ترتیب بیشترین میزان مربوط به تیمار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا و سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۱۷/۱۲ میلی‌گرم بر گرم) و تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزا و سولفات روی ۳ میلی‌گرم در لیتر (۹/۹۳ میلی‌گرم بر گرم) و تیمار قارچ مایکوریزا و شاهد (۲/۵۰ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین میزان به‌ترتیب در تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزا و شاهد (۱۱/۵ میلی‌گرم بر گرم) و تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۴/۷۶ میلی‌گرم بر گرم) و تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۲/۴۱ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۱/۱۲، ۱/۰۵ و ۱/۰۰۴ درصدی داشت.

براساس جدول ۶ تجزیه واریانس، عنصر نیتروژن در تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ و تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. همچنین عنصر فسفر در تیمار با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر در سطح احتمال ۱٪ و عنصر پتاسیم در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری داشت. عنصر روی در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل این تیمارها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. عنصرهای بور، منگنز، آهن و مس در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر و قارچ آربوسکولار مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری داشتند.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر سولفات روی و مایکوریزا بر عنصرهای ضروری گل مغربی صورتی (***Oenothera speciosa***)

Table 6. ANOVA of zinc sulfate and mycorrhiza effects on essential elements of *Oenothera speciosa*

		M.S.									
S.O.V.	**d. f.**	**Nitrogen**	**Phosphorus**	**Potassium**	**Calcium**	**Magnesium**	**Zinc**	**Boron**	**Manganese**	**Iron**	**Copper**
(A) $ZnSO_4$	2	3.66^{*}	0.005^{**}	1.95^{*}	0.19^{ns}	0.01^{ns}	132.92^{**}	31.19^{**}	553.08^{**}	1667.90^{**}	28^{**}
(B) Mycorrhizal	1	1.41^{**}	0.00002^{ns}	0.62^{ns}	0.15^{ns}	0.001^{ns}	40.50^{**}	17.33^{**}	72^{**}	355.55^{**}	14.22^{**}
A×B	2	0.66^{ns}	0.001^{ns}	0.01^{ns}	0.02^{ns}	0.01^{ns}	30.14^{*}	2.23^{ns}	7.25^{ns}	25.92^{ns}	2.37^{ns}
Experimental error	12	16.42	5.04	19.14	1.78	2.52	10.45	3.95	19.24	10.38	5.78
C.V. (%)		9.23	4.69	9.58	15.03	13.10	10.96	7.67	3.78	8.65	12.02

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively

براساس جدول ۷ (مقایسه میانگین عنصرها) بیشترین میزان مربوط به عنصر نیتروژن در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۲/۷٪) و کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد (۱/۶٪) مشاهده شد. بیشترین میزان عنصر فسفر در تیمار محلول‌پاشی سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۰/۳۸٪) و کمترین میزان در تیمار قارچ مایکوریزا و شاهد (۰/۳۴٪) مشاهده شد. بیشترین میزان عنصر پتاسیم در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (۱/۹٪) و کمترین میزان در شاهد (۱/۲۶٪) مشاهده گردید. بیشترین میزان کلسیم و منیزیم در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا به‌ترتیب (۱/۴۴ و ۰/۳۵٪) و کمترین میزان در شاهد (۱/۲۰ و ۰/۲۹٪) مشاهده شد. عنصرهای بور، منگنز، آهن و مس به‌ترتیب بیشترین میزان به‌ترتیب مربوط به تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۲۲/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۷۳/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۸۲/۲۲ میلی‌گرم بر

کیلوگرم) و ۱۱/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان به‌ترتیب مربوط به شاهد (۱۹/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۶۰/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۵۹/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۸/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده گردید. به‌طوری که عنصرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب نسبت به شاهد ۱/۶۸، ۱/۱۱ و ۱/۵۰ درصد افزایش داشتند.

مطابق جدول ۷ در مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بیشترین میزان عنصر روی مربوط به تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر (۲۲/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان مربوط به شاهد (۱۳/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که افزایش ۱/۶۰ درصدی نسبت به شاهد را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر سولفات روی و مایکوریزا بر عنصرهای ضروری گل مغربی صورتی (***Oenothera speciosa***)

Table 7. Means comparison of zinc sulfate and mycorrhiza effects on essential elements of *Oenothera speciosa*

Treatment	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Calcium (%)	Magnesium (%)	Zinc (mg.kg^{-1})	Boron (mg.kg^{-1})	Manganese (mg.kg^{-1})	Iron (mg.kg^{-1})	Copper (mg.kg^{-1})
Control	1.6^{b}	0.34^{c}	1.26^{b}	1.20^{a}	0.29^{a}	15.44^{c}	19.11^{c}	60.33^{c}	59.44^{c}	8.66^{c}
ZnSO4 (3mg)	2.1^{a}	0.35^{b}	1.86^{a}	1.38^{a}	0.33^{a}	17.72^{b}	21.22^{b}	69.22^{b}	76.11^{b}	10.66^{b}
ZnSO4 (5mg)	2.4^{a}	0.36^{a}	1.9^{a}	1.43^{a}	0.34^{a}	22^{a}	22.27^{a}	73.66^{a}	82.22^{a}	11.66^{a}
No mycorrhizal	1.8^{b}	0.34^{a}	1.5^{a}	1.25^{a}	0.31^{a}	16.88^{b}	19.88^{b}	65.74^{b}	68.14^{b}	9.4^{b}
Mycorrhizal	2.7^{a}	0.38^{a}	2.02^{a}	1.44^{a}	0.35^{a}	19.18^{a}	21.85^{a}	69.74^{a}	77.03^{a}	11.22^{a}

ادامه جدول ۷- ...

Continued Table 7. …

Treatment	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Calcium (%)	Magnesium (%)	Zinc (mg.kg^{-1})	Boron (mg.kg^{-1})	Manganese (mg.kg^{-1})	Iron (mg.kg^{-1})	Copper (mg.kg^{-1})
A0B0	1.40^{d}	0.366^{b}	1.11^{a}	1.15^{d}	0.31^{bc}	13.88^{d-f}	17.77^{de}	58.33^{e}	56.66^{e}	8.2^{de}
A0B1	1.80^{bc}	0.383^{ab}	1.41^{ab}	1.25^{cd}	0.27^{de}	17^{b-d}	20.44^{a-d}	62.33^{de}	62.22^{de}	9.1^{de}
A1B0	1.58^{cd}	0.353^{c}	1.65^{bc}	1.25^{cd}	0.28^{c-e}	14.44^{de}	20.11^{a-e}	66.44^{cd}	71.11^{cd}	9.3^{cd}
A1B1	2.67^{a}	0.334^{d}	2.06^{cd}	1.51^{ab}	0.36^{a}	21^{a-c}	22.33^{ab}	72^{bc}	81.11^{ab}	10.77^{a-c}
A2B0	2.61^{ab}	0.338^{d}	1.82^{de}	1.35^{bc}	0.33^{ab}	22.33^{a}	22.77^{a}	74^{a}	87.66^{a}	12.55^{a}
A2B1	2.80^{a}	0.385^{a}	2.23^{e}	1.55^{a}	0.36^{a}	21.66^{ab}	21.77^{a-c}	72.44^{ab}	76.77^{bc}	12^{ab}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Tukey test).
A0B0 (ZnSO4 (0) × No mycorrhizal), A0B1 (ZnSO4 (0) × Mycorrhizal), A1B0 (ZnSO4 (3mg) × No mycorrhizal), A1B1 (ZnSO4 (3mg) × Mycorrhizal), A2B0 (ZnSO4 (5mg) × No mycorrhizal), A2B1 (ZnSO4 (5mg) × No mycorrhizal).

بحث

در این پژوهش تأثیر مثبت کاربرد قارچ آربوسکولار مایکوریزا و عنصر روی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گل مغربی صورتی مشاهده شد. در مطالعه کنونی بیشترین تعداد گل، عملکرد بذر، تعداد بذر، وزن بذر، تعداد میانگره، تعداد برگ، قطر گل، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول دوره گلدهی و تعداد اسپور در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا مشاهده گردید. همچنین بیشترین تعداد کپسول، قطر ساقه در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی ۳ میلی‌گرم در لیتر همراه با تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا مشاهده شد. گزارش‌های مشابهی از همزیستی

گیاهان با قارچ‌های میکوریزایی وجود دارد که باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه ازجمله توسعه بخش‌های رویشی و افزایش وزن تر و خشک بافت‌های گیاهی شد (Atarashi *et al*., 2016). در مطالعات انجام شده هم راستا با این مطالعه، مشخص شد که افزایش در عملکرد محصول زیره سبز پس از کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا وجود دارد (Cao *et al*., 2016) و در مطالعه‌ای دیگر کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا توانست برای تنظیم گلدهی در سنبل (*Hyacinths orientalis*) منجر به گلدهی زودتر و طولانی‌مدت شود که می‌تواند به دلیل تغییرات در سطوح ایندول استیک اسید خاک باشد که ناشی از مایکوریزه شدن است (Xie & Wu, 2018). در مطالعه‌ای مشابه با این پژوهش مشاهده شد که تعداد گل‌ها با تعداد شاخه‌ها و سطح عنصر روی ارتباط مستقیم داشت که باعث فعال شدن آنزیم‌های دخیل در گلدهی و افزایش تعداد شاخه‌ها و تولید گل بیشتر در گل جعفری شد (Jat *et al*., 2012). همچنین در مطالعه انجام شده در مورد سیاهدانه، نشان داده شد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ها و تعداد فولیکول در بوته و عملکرد دانه شد (Seyyedan *et al*., 2014). در پژوهشی دیگر، مشاهده شد که استفاده از روی ۱ میلی‌گرم بر لیتر اعمال شده با استفاده از محلول‌پاشی عنصر روی باعث بهبود طول دمگل، گلدهی اولیه، تعداد گل در بوته و وزن تر و خشک آنها در مریم‌گلی آبی شد (*Salvia farinacea* L.) شد (Nahed *et al*., 2007).

بیشترین میزان کلروفیل a، کاروتنوئید، فنل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان در تیمار محلول‌پاشی سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا و بیشترین کلروفیل b و کلروفیل کل، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در تیمار محلول‌پاشی سولفات روی به مقدار ۳ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا مشاهده شد. در پژوهشی همسو با این پژوهش، افزایش فنل کل در گل آهار با همزیست قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*G. mosseae*) و ارتقای محتوای مشتقات بنزوئیک اسید در زعفران تلقیح شده با ترکیبی از (*G. mosseae* و *G. intraradices*) حکایت از تأثیر مثبت قارچ‌های آربوسکولار بر بیوسنتز ترکیبات فنلی مختلف دارد (Heidari *et al*., 2016؛ Caser *et al*., 2019). کلروفیل از ترکیبات منیزیم، کربن و نیتروژن تشکیل شده است. مایکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی از خاک، به‌ویژه نیتروژن و فسفر و بهبود روابط آبی گیاه، سبب افزایش محتوای کلروفیل در برگ گیاه می‌شود (Goss *et al*., 2017). افزایش میزان کلروفیل با کاربرد قارچ‌های مایکوریزا را به افزایش جذب نیتروژن توسط سیستم مایکوریزایی نسبت دادند. قارچ‌های مایکوریزا پس از ایجاد رابطه همزیستی با گیاهان میزبان می‌توانند بر رشد و نمو آنها از طریق بهبود فتوسنتز منجر به افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌ها شوند. برخی از محققان گزارش کرده‌اند که قارچ مایکوریزا باعث افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ گیاه میزبان می‌شود (Lotfollahi *et al*., 2020). در مطالعه‌ای روی گیاه گلرنگ، محلول‌پاشی عنصر روی موجب افزایش کلروفیل شد. علت آن به نقش این عنصر در سوخت و ساز نیتروژن و ساخت کلروفیل نسبت داده شده است و نتایج یک بررسی نشان داد که همبستگی مثبتی بین عنصر روی و میزان کلروفیل برگ گیاهان وجود دارد، هر چند عنصر روی به‌طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل مؤثر نیست، بر غلظت عنصرهای غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عنصرهایی مانند آهن و منیزیم مؤثر است که قسمتی از مولکول کلروفیل محسوب می‌شود (Kaya & Higgs, 2002؛ Zarrouk *et al*., 2005). همچنین در بررسی اثر همزیستی قارچ مایکوریزا بر گیاه ارزن مشخص شد که محتوای فلاونوئیدها در گیاهان تلقیح شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان تلقیح نشده است (Tyagi *et al*., 2017). قارچ آربوسکولار مایکوریزا گذشته از تجمع آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، سبب افزایش تجمع دیگر آنتی‌اکسیدان‌ها به‌ویژه آنتوسیانین‌ها، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها و ترکیبات فنل می‌شود که غلبه بر صدمات اکسیداتیو را در پی دارد (Abbaspour *et al*., 2011).

بیشترین میزان عنصرهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلیسم

و منیزیم در تیمار محلول‌پاشی سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا حاصل شد. در مطالعه‌ای هم راستا با مطالعه کنونی، مشاهده شد که تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا باعث افزایش نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم و محتویات زیست‌توده اندام هوایی گردید (Iqbal *et al*., 2021). همچنین در مطالعه‌ای دیگر محتوای کلروفیل بیشتری در گیاه تیمار شده با قارچ آربوسکولار مایکوریزا نسبت به گیاه تلقیح شده بدون قارچ آربوسکولار مایکوریزا مشاهده شد (Golubkina *et al*., 2020b). مطالعات انجام شده همسو با این مطالعه نشان داد که قارچ آربوسکولار مایکوریزا به دلیل تأثیر آن بر جذب منیزیم، نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارد (Sheng *et al*., 2008)، ضمناً به دلیل اینکه روند تخریب کلروفیل را کُند می‌کند، سنتز جدید پروتئین‌ها و کلروفیل را بهبود می‌بخشد (Tang *et al*., 2009). در مطالعه مشابهی استفاده از قارچ آربوسکولار مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی باعث افزایش سطح برگ، نیتروژن (N)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca) و فسفر (P) شد که رشد گیاه را افزایش داد (Balliu *et al*., 2015). حتی در شرایط غیر طبیعی، قارچ آربوسکولار مایکوریزا حمایت تغذیه‌ای را برای گیاه فراهم می‌کند. تولید ساختارهای قارچی مانند مایکوریزا آربوسکولار به تبادل مواد معدنی و کربن و فسفر کمک می‌کند. به این ترتیب قارچ آربوسکولار مایکوریزا قدرت زیادی را برای گیاه میزبان فراهم می‌کند. همچنین در مطالعه‌ای افزایش محتوای فسفر و نیتروژن در گل داوودی (Wang *et al*. 2018) و افزایش درون سلولی در محتوای دی اکسید کربن، فسفر و نیتروژن همراه با بهبود وزن گیاهچه در علف چاودار چینی (*Leymus chinensis*) مشاهده شد (Lin *et al*., 2017). قارچ آربوسکولار مایکوریزا جذب تقریباً تمام مواد مغذی ضروری بجز سدیم و کلر را بهبود می‌بخشد که منجر به تحریک رشد می‌شود (Evelin *et al*., 2012). در چندین تحقیق گزارش کردند که کاربرد قارچ آربوسکولار مایکوریزا در خاک برای تقویت نیتروژن و فسفر در رشد و نمو گیاه مفید است (Smith *et al*., 2011).

بیشترین میزان عنصرهای روی، بور، منگنز، آهن و مس در تیمار سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. سایر مواد مغذی ممکن است از طریق در دسترس بودن عنصر روی در خاک و وضعیت آن در گیاه در طول فرایند رشد، به‌ویژه جذب، توزیع یا استفاده از عنصر روی، با این عنصر تعامل کنند (Hafeez *et al*., 2013). مطالعه‌ای همسو با پژوهش کنونی نشان داد که مقدار کافی روی در گیاه اثرهای مضر کمبود عنصر بور را بهبود می‌بخشد. کمبود عنصر روی با افزایش غلظت عنصر بور در برگ‌های جوان و نوک شاخه‌ها باعث کاهش رشد گیاه می‌شود. استفاده از عنصر روی باعث افزایش جذب عنصر بور توسط گیاهان در خاک‌هایی با ذخایر کافی شد (Rangel *et al*., 1998). افزایش میزان عنصرهای مس، آهن و منگنز در محلول‌پاشی با تیمار روی ۵ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند به دلیل استفاده از مقادیر کم عنصر روی در این پژوهش باشد، زیرا در مطالعات مشابه استفاده از مقادیر بیش از ۱۵ میلی‌گرم عنصر روی موجب کاهش میزان این عنصرها در گیاه شد (Mousavi, 2011). در مطالعه‌ای دیگر هم راستا با مطالعه کنونی، مشخص شد که عنصر روی به شدت جذب عنصر مس را کاهش می‌دهد. عنصر مس به‌طور رقابتی جذب روی را مهار می‌کند و تغذیه عنصر مس بر توزیع دوباره عنصر روی در گیاهان تأثیر می‌گذارد (Hafeez *et al*., 2013). همچنین در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که برهم‌کنش بین عنصرهای روی و آهن نیز مانند برهم‌کنش عنصرهای فسفر و روی پیچیده است. افزایش کاربرد روی تأثیر کمی بر غلظت عنصر آهن داشت یا غلظت عنصر آهن را در اندام هوایی کاهش داد (Hafeez *et al*., 2013). در مطالعه‌ای دیگر همسو با مطالعه کنونی دریافتند که با افزایش کاربرد عنصر روی میزان عنصر منگنز در اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (Imtiaz *et al*., 2003).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که تغذیه مناسب، که در این پژوهش کاربرد قارچ آبوسکولار مایکوریزا برای تأمین نیاز غذایی و آبی گیاه از طریق ایجاد یک رابطه همزیستی با گیاه مغربی بود و از سویی کاربرد عنصر روی

که بر افزایش فتوسنتز گیاه موثر بود، در بهبود صفات رشدی و افزایش صفات کیفی گل مغربی (*Oenothera speciose*) اثر بسیار مثبتی را نشان دادند. بیشترین عملکرد بذر و افزایش گلدهی با تأثیر معنی‌دار کاربرد سولفات روی ۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا حاصل شد. البته استفاده از میزان مناسب ریزمغذی‌های ضروری همراه با کودهای زیستی مانند قارچ آبوسکولار مایکوریزا که جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی است می‌تواند در بهروری، ارتقاء رشد و تولید پایدار این گیاه با ارزش مؤثر باشد.

References

- Abbaspour, H., Saeid-Sar, S. and Afshari, H., 2011. Improving drought tolerance of *Pistacia vera* L. seedlings by arbuscular mycorrhiza under greenhouse condition. Journal of Medicinal Plants Research, 5(32): 7065-7072.
- Atarashi, H., Kawasaki, S., Niimura, Y., Tanaka, N., Okada, S. and Shiwa, Y., 2016. Identification of sirtuin and its target as the ribosomal protein S4 in *Lactobacillus paracasei*. The Journal of General and Applied Microbiology. 62: 98-105.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1): 1-15.
- Alori, E.T., Dare, M.O. and Babalola, O.O., 2017. Microbial inoculants for soil quality and plant health. Sustainable Agriculture Reviews. Springer, 22(1): 281-307.
- Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavya, S.A.M., Akbar-Boojarb, M.M. and Mokhtassi Bidgolia, A., 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crops and Production, 109(15): 346-357.
- Bakian, M., Hassanpour Asil, M., Farhangi, M.B. and Sahraroo, A., 2020. Study of the response of *Leucojum aestivum* L. bulbs collected from different regions to organic and biological fertilizers under field conditions. Journal of Medicinal Plants and By-products, 9(2): 181-191.
- Balliu, A., Sallaku, G. and Rewald, B., 2015. AMF inoculation enhances growth and improves the nutrient uptake rates of transplanted, salt-stressed tomato seedlings. Sustainability 7(12): 15967-15981.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R. and Bianciotto, V., 2016. Arbuscular Mycorrhizae fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. Frontiers Microbiology, 19(6): 15-59.
- Bennett, A.E. and Meek, H.C., 2020. The influence of Arbuscular Mycorrhizae fungi on plant reproduction. Journal of Chemical Ecology, 46(8): 707-721.
- Carter, M.R. and Gregorich, E.G., 2007. Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton, Fl, USA: CRC Press, 1(10): 12-24.
- Cakmak, I. and Marschner, H., 1992. Manesium deficiency and high light inensity enhance activities of superoxide dismutase, ascrobate peroxidase, and glutatione reductase in bean leaves. Plant Physiology, 98(4): 1222-1227.
- Cao, J., Feng, Y., Lin, X. and Wang, J., 2016. Arbuscular Mycorrhizae fungi alleviate the negative effects of iron oxide nanoparticles on bacterial community in rhizospheric soils. Front Environ Science, 4(1): 10-22.
- Caser, M., Demasi, S., Victorino, I.M.M., Donno, D., Faccio, A., Lumini, E., Bianciotto, V. and Scariot, V., 2019. Arbuscular Mycorrhizae fungi modulate the crop performance and metabolic profile of saron in soilless cultivation. Agronomy, 9(5): 1-19.
- Dar, Z.M., Masood, A., Asif, M. and Malik, M.A., 2018. Review on Arbuscular Mycorrhizae fungi: an approach to overcome drought adversities in plants. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(3): 1040-1049.
- Du, G., Li, M., Ma, F. and Liang, D., 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits. Food Chemistry, 113: 557-562.
- Evelin, H., Giri, B. and Kapoor, R., 2012. Contribution of Glomus intraradices inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. Mycorrhizal, 22(3): 203-217.
- Frew, A., 2019. Arbuscular Mycorrhizae fungal diversity increases growth and phosphorus uptake in C3 and C4 crop plants. Soil Biology and Biochemistry, 135: 248-250.
- Fung, E.B. and Gildengorin, G., 2015. Zinc status affects glucose homeostasis and insulin secretion in patients with thalassemia. Nutrients, 7: 4296-4307.
- Golubkina, N., Krivenkov, L., Sekara, A., Vasileva, V., Tallarita, A. and Caruso, G., 2020a. Prospects of Arbuscular Mycorrhizae fungi utilization in production of allium plants. Plants, 9(2): 279.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A. and Caruso, G., 2020b. Yield, essential oil and quality

performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. Plants, 9(3): 375.
- Goss, M.J., Carvalho, M. and Brito, I., 2017. Challenges to agriculture systems. In functional diversity of mycorrhiza and sustainable agriculture-management to overcome biotic and abiotic stresses. Academic Press: Cambridge, MA, USA; Elsevier: London, UK, 231p.
- Hassan, M.U., Aamer, M., Chattha, M.U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. and Guoqin, H., 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Journal Agriculture, 10(9): 376-396.
- Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition. American Journal of Experimental Agriculture, 3(2): 374-91.
- He, H., Wu, M., Su, R., Zhang, Z., Chang, C., Peng, Q.i., Dong, Z., Pang, J. and Lambers, H., 2021. Strong phosphorus (P)-zinc (Zn) interactions in a calcareous soil-alfalfa system suggest that rational P fertilization should be considered for Zn biofortification on Zn-deficient soils and phytoremediation of Zn contaminated soils. Plant and Soil, 461(1-2): 119-134.
- Heidari, Z., Nazari Deljoo, M.J., Knowledge, Y.R. and Khazari Nejad, N., 2016. Morphophysiological and biochemical responses of *Zinnia elegans* to different irrigation regimes in coexistence with *Glomus mosseae*. International Journal of Horticultural Science and Technology, 3(1): 19-32.
- Iqbal, M.T., Ahmed, I.A., Isik, M., Sultana, F. and Ortaş, I., 2021. Role of mycorrhizae inoculations on nutrient uptake in rice grown under aerobic and anaerobic water management. Journal of Plant Nutrition, 44(4): 550-568.
- Imtiaz, M., Alloway, B.J., Shah, K.H., Siddiqui, S.H., Memon, M.Y., Aslam, M. and Khan, P., 2003. Zinc nutrition of Wheat: II: Interaction of zinc with other trace elements. Asian Journal of Plant Sciences, 2: 156-160.
- Iratkar, A.G., Giri, J.D., Kadam, M.M., Giri, J.N. and Dabhade, M.B., 2014. Distribution of DTPA extractable micronutrients and their relationship with soil properties in soil of Parsori watershed of Nagpur district of Maharashtra. Asian Journal of Soil Science, 9(2): 297-299.
- Jabborova, D., Wirth, S., Kannepalli, A., Narimanov, A., Desouky, S., Davranov, K., Sayyed, R.Z., el Enshasy, H., Malek, R.A., Syed, A. and Bahkali, A.H., 2020. Co-inoculation of rhizobacteria and biochar application improves growth and nutrientsin soybean and enriches soil nutrients and enzymes. Agronomy, 10(8): 11-42.
- Jat, R.N., Khandelwal, S.K. and Gupta, K.N., 2012. Effect of foliar application of urea and zinc sulphate on growth and flowering parameters in African marigold (*Tagetes erecta* Linn). Journal of Ornamental Horticulture, 10(4): 271-273.
- Kabir, A.H., Swaraz, A.M. and Stangoulis, J., 2014. Zinc-deficiency resistance and biofortification in plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177(3): 311-319.
- Kaya, C. and Higgs, D., 2002. Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae*, 93: 53-64.
- Lin, J., Wang, Y., Sun, S., Mu, C. and Yan, X., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, photosynthesis and photosynthetic pigments of *Leymus chinensis* seedlings under salt-alkali stress and nitrogen deposition. Science of The Total Environment, 576: 234-241.
- Lotfollahi, A., Bolandnazar, S., Aliasgharzad, N., Khoshru, B. and Siami, A., 2020. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza-like fungi on growth and phosphorus uptake of coriander. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 31(1): 87-101.
- Marro, N., Cofré, N., Grilli, G., Alvarez, C., Labuckas, D., Maestri, D. and Urcelay, C., 2020. Soybean yield, protein content and oil quality in response to interaction of Arbuscular Mycorrhizae fungi and native microbial populations from mono-and rotation-cropped soils. Applied Soil Ecology, 152: 103-575.
- Meena, S., Gautam, C., Patidar, P., Meena, M. and Prakashaand Vishwajith, G., 2017. Nano fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. International Journal of Agriculture Sciences, 9(7): 3831-3833.
- Mirzaei, A., Mohammadi, J., Mirzaei, N. and Mirzaei, M., 2011. The antioxidant capacities and total phenolic contents of some medicinal plants in Iran. Journal of Fasa University Medical Science, 1(3): 160-167.
- Mousavi, S.R., 2011. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5: 1503-1509.
- Nahed, A., El-Aziz, G. and Balbaa, L.K., 2007. Influence of tyrosine and zinc on growth, flowering and chemical constituents of *Salvia farinacea* plants. Journal of Applied Science and Research, 3(11): 1479-89.

- Prevec, T., Šegatin, N., PoklarUlrih, N. and Cigić, B., 2013. DPPH assay of vegetable oils and model antioxidants in protic and aprotic solvents. Talanta, 109: 13-19.
- Popescu, G.C., 2016. Arbuscular Mycorrhizae fungi-an essential tool to sustainable vineyard development: A review. Current Trends in Natural Sciences, 5(7): 107-116.
- Polle, A., Eiblmeier, M., Sheppard, L. and Murray, M., 1997. Responses of antioxidative enzymes to elevated co2 in leaves of beech (*Fagus Sylvatica* L.) seedlings grown under a range of nutrient regimes. Plant Cell and Environment, 20: 1317-1321.
- Rangel, E.F., Azevedo, A.C.R., Orosko, S., Lima, J.B., Souza, N.A., Pereira, T., Meneses, C.R.V., Costa, W.A., Cupollilo, E. and Brahim, L., 1998. *Lutzomyia (Nyssomyia) umbratilis* and the ecology of American cutaneous leishmaniasis in Mato Grosso state. I Bienal de Pesquisa da Fundação Oswaldo Cruz, Fiocruz, Rio de Janeiro, 122 pp.
- Seyyedan, P., Daneshian, J., Mirza, M., Maleki, A. and Valadabadi, S.A., 2014. The effect of nitrogen chemical fertilizer and zinc sulfate application on yield and its components of *Nigella sativa* L. under different humidity conditions. Bulletin of Environment. Pharmacology and Life Sciences, 3(2): 9299.
- Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M. and Smith, F.A., 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in Arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. Plant Physiology, 156: 1050-1057.
- Singh, S., Kaur, R. and Sharma, S.K., 2012. An updated review on the Oenothera genus. Journal of Integrative Medicine, 10: 717-725.
- Singh, p. and Dwivedi, p., 2019. Micronutrients zinc and boron enhance stevioside content in *Stevia rebaudiana* plants while maintaining genetic fidelity. Industrial Crops and Products, 140: 111-646.
- Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F. and Huang, Y., 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhizal, 18(6-7): 287-296.
- Tang, M., Chen, H., Huang, J.C. and Tian, Z.Q., 2009. AM fungi effects on the growth and physiology of Zea mays seedlings under diesel stress. Soil Biology and Biochemistry, 41(5): 936-940.
- Wagner, W.L., Hoch, P.C. and Zarucchi, J.L., 2015. The correct name in Oenothera for *Gaura drummondii* (Onagraceae). PhytoKeys, 25-29.
- Wolf, B., 1974. Improvements in the azomethine-H method for the determination of boron. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 5(1): 39-44.
- Xie, M.M. and Wu, Q.S., 2018. Arbuscular Mycorrhizae fungi regulate flowering of *hyacinths orientalis* l. Emirates Journal of Food and Agriculture, 30(2): 144-149.
- Yash, K., 1997. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Published by CRC Press, 320p.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gomez-Aparisi, J., Betran, J.A. and Moreno, M.A., 2005. Influence of almond peach hybrids root stocks on flower and leaf mineral concentration, yield, vigor of two peach cultivars. Scientia Horticulturae, 106(4): 502-514.