

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropsceince.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 541-560

### The effect of combined application of mycorrhiza with vermicompost and chemical fertilizers on licorice root and seed production and agronomy efficiency of fertilization

Mohadeseh Shahdadnejad <sup>a</sup>, Gholamreza Khajoei-Nejad <sup>\*b, c</sup>, Ghasem Mohammadi-Nejad <sup>b, c</sup>, Jalal Ghanbari <sup>c, d</sup>

<sup>a</sup> M.Sc. Student in Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>b</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>c</sup> Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

<sup>d</sup> Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

\*Corresponding Author: [khajoei@uk.ac.ir](mailto:khajoei@uk.ac.ir)

Received: 17 October 2024

Accepted: 5 January 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.483807.1443

#### How to cite this article:

Shahdadnejad, M., Khajoei-Nejad, G., Mohammadi-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2025. The effect of combined application of mycorrhiza with vermicompost and chemical fertilizers on licorice root and seed production and agronomy efficiency of fertilization. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 541-560. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.483807.1443>

## Abstract

**Introduction:** Soil microorganisms are crucial in mobilizing soil nutrients and nutrient uptake by plants. Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.), Fabaceae family, has been used as an important medicine since ancient times for numerous medicinal purposes. This plant is naturally found in arid and semi-arid areas around the world. In such environments, licorice roots are colonized by several types of microorganisms, including diverse rhizobia, other soil bacteria, such as *Pseudomonas*, actinomycetes, and Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF are amongst the most important beneficial soil microorganisms for plant growth due to the formation of symbiotic relationships with plant roots, improving nutrient uptake and use efficiency. In licorice, the improvement of root performance has been reported with the application of fertilizer resources and mycorrhizal inoculation. Integrated nutrient resources can lead to synergistic effects in improving plant production and increasing productivity. Nevertheless, increasing the agronomic efficiency of different fertilizers is one of the most important challenges of agriculture.

Dealing with the improvement of seed production as a by-product, in addition to improving productivity, provides a propagating material that can greatly reduce the pressure on natural resources. So far, the sustainable production of licorice seeds has not been studied. Most studies have focused on root production and its quality characteristics. Therefore, this study was conducted to improve licorice root and seed production, as well as improve the agronomic efficiency of vermicompost and chemical fertilizers.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Materials and Methods:** The present study investigated the integrated effect of inoculation with mycorrhiza on the diminished quantities of chemical and organic fertilizers on root production and agronomic efficiency of chemical fertilizers and vermicompost, yield components and seed yield of licorice. The experiment was conducted during two cropping seasons of 2021-2022 and 2022-2023 based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. The evaluated treatments were included: 1) control (without fertilizer application and inoculation with mycorrhiza); 2) inoculation with mycorrhiza (AM); 3) Vermicompost ( $V_{100}$ ): 100% recommended rate ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ); 4) 50% vermicompost ( $V_{50}$ ); 5) 50% vermicompost + mycorrhiza ( $V_{50+AM}$ ); 6) Chemical fertilizer ( $CF_{100}$ ): 100% of recommended rate; 7) 50% chemical fertilizer ( $CF_{50}$ ); 8) 50% chemical fertilizer + mycorrhiza ( $CF_{50+AM}$ ).

**Results and Discussion:** The results showed that the highest root yield was obtained from 50% vermicompost and mycorrhiza inoculation ( $V_{50+AM}$ ), which showed no significant difference with  $V_{100}$ ,  $CF_{100}$ , and  $CF_{50}$  treatments. Meanwhile, the application of  $V_{50+AM}$  treatment improved the root yield up to 42.5% compared to the control and 40% compared to  $V_{50}$ . This led to an increase in the agronomic efficiency of the  $V_{50+AM}$  treatment compared to other treatments. Integrated AM-inoculation and chemical fertilizers ( $CF_{50+AM}$ ) did not show a significant difference from  $CF_{50}$ . Also, the results showed that mycorrhizal inoculation alone (AM) did not show the efficiency to improve root yield compared to the control, and reduced the mycorrhizal inoculation effect compared to integrated application with fertilizer sources. The results also showed that the highest seed yield was obtained from the application of  $V_{100}$ , which showed a multifold increase in seed production compared to the control. This can be a result of a significant increase in the number of pods per unit area and finally, the number of seeds per unit area. Application of  $CF_{100}$  ranked next in terms of seed production per unit area and seed yield, despite less pod production. The application of reduced amounts of fertilizers led to a significant decrease in seed yield and its yield components. The results also showed that the AM-inoculation alone and in combination with fertilizer treatments did not show a significant effect on yield components and seed yield.

**Conclusion:** In conclusion, reduced amounts of vermicompost and mycorrhiza for root production and the application of high amounts of vermicompost for seed production may be a suitable nutritional management strategy for sustainable production of licorice.

**Keywords:** Input use efficiency, Integrated nutrient management, Mycorrhizal inoculation effect, Seed yield components

## اثر کاربرد تلفیقی مایکوریزا با ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی بر تولید ریشه و بذر شیرین بیان و کارایی زراعی کوددهی

محدثه شهپاد نژاد<sup>۱</sup>، غلامرضا خواجهی نژاد<sup>۲\*</sup>، قاسم محمدی نژاد<sup>۲</sup>، جلال قنبری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه فضلی پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

۴- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

\* مسئول مکاتبه: [khajoei@uk.ac.ir](mailto:khajoei@uk.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.483807.1443

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

### چکیده

اثر تلقیح با مایکوریزا در شرایط کاهش کاربرد کودهای شیمیایی و آلی بر تولید ریشه و کارایی زراعی کوددهی، اجزای عملکرد و عملکرد بذر شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱ و ۱۴۰۱-۲ بررسی شد. تیمارهای مورد ارزیابی شامل (۱) شاهد؛ (۲) تلقیح با مایکوریزا؛ (۳) ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (۸ تن در هکتار)؛ (۴) ۵۰ درصد ورمی کمپوست؛ (۵) ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا؛ (۶) ۱۰۰ درصد کود شیمیایی؛ (۷) ۵۰ درصد کود شیمیایی و (۸) ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ریشه از تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا حاصل شد که با تیمارهای ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود شیمیایی تفاوت معنی داری نشان نداد اما نسبت به شاهد ۴۲/۵ درصد و نسبت به تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست، ۴۰ درصد عملکرد ریشه را بهبود داد که منجر به افزایش کارایی زراعی این تیمار در مقایسه با سایر تیمارها شد. همچنین بیشترین عملکرد بذر از تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست حاصل شد که حاصل افزایش قابل توجه در تعداد غلاف و بذر در واحد سطح بود. کاهش کوددهی منجر به کاهش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد بذر شد. همچنین، تلقیح مایکوریزا به تنهایی، از کارایی لازم برای بهبود عملکرد ریشه و بذر برخوردار نبود. می توان این گونه نتیجه گرفت که برای تولید ریشه، تلقیح با مایکوریزا در شرایط ۵۰ درصد میزان کاربرد ورمی کمپوست (۴ تن در هکتار) و برای تولید بذر، کاربرد مقادیر بالای ورمی کمپوست (۸ تن در هکتار) ممکن است راهبردهای مناسبی برای مدیریت تغذیه شیرین بیان باشند.

**واژه‌های کلیدی:** اجزای عملکرد بذر، کارایی تلقیح مایکوریزا، کارایی مصرف نهاده، مدیریت تلفیقی تغذیه

### مقدمه

مهمی در احیا و مدیریت خاک‌های تخریب شده دارد (Khaitov et al., 2022). افزایش تقاضای صنایع مختلف، منجر به برداشت بی‌رویه از عرصه‌های طبیعی شده است. به همین دلیل در طبیعت، گیاه شیرین بیان وحشی تقریباً در حال نابودی و در نتیجه آن، روند بیابان‌زایی در عرصه‌های رشد این گیاه، به سرعت در حال افزایش است (Liu et al., 2020). بنابراین، تأمین نیاز صنایع مرتبط با شیرین بیان باید با هدف ایجاد بستر پایدار برای پرورش شیرین بیان باشد که اثرات بوم‌شناختی مثبت را با تکیه بر رویکرد پایدار به همراه داشته باشد (Khaitov et al., 2022).

کشاورزی فشرده با استفاده از کودهای شیمیایی به دنبال

شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده بقولات<sup>۱</sup> است که ترکیبات مؤثره ریشه آن (گلیسیریزین<sup>۲</sup>، گلابریدین<sup>۳</sup> و لیکویریتین<sup>۴</sup>) طیف وسیعی از خواص زیستی از جمله فعالیت‌های ضد باکتری، ضد التهابی، ضد ویروسی، آنتی‌اکسیدانی و ضد دیابت را نشان می‌دهند (Hayashi and Sudo, 2009). این گیاه که به‌طور طبیعی در زیستگاه‌های وحشی و در شرایط سخت رشد می‌کند، نسبت به سایر گیاهان زراعی، کاملاً کم‌توقع است و دارای سیستم ریشه‌ای عمیق بوده که تا عمق ۱۷ متر گسترش پیدا می‌کند (Khaitov et al., 2022). به همین دلایل شیرین بیان نقش

<sup>3</sup> Glabridin

<sup>4</sup> Liciridin

<sup>1</sup> Fabaceae

<sup>2</sup> Glycyrrhizin

کارایی مصرف عناصر غذایی، می‌تواند مفید واقع شود (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). در کنار تمام مزایای ذکر شده برای میکروارگانیزم‌ها، در بسیاری از منابع علمی، اثر این میکروارگانیزم‌ها در افزایش کارایی مصرف منابع مختلف کودی و افزایش کارایی مصرف عناصر نیز گزارش شده است (Emmanuel and Babalola, 2020; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). نتایج مطالعه‌ای در همین رابطه نشان داد که تلقیح با مایکوریزا به همراه کاربرد کودهای شیمیایی و کمپوست به طور قابل توجهی باعث افزایش زیست‌توده، جذب و کارایی مصرف عناصر غذایی زعفران شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). همچنین، کاربرد قارچ مایکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر (EMs)<sup>۱</sup> در سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش عملکرد دانه در کنگد و بهبود کارایی مصرف ورمی کمپوست شدند. همچنین، با افزایش سطح کاربرد ورمی کمپوست در این مطالعه، کارایی تلقیح میکروبی نیز افزایش یافت (Saeidi et al., 2024). به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا علاوه بر بهبود شرایط رشد، در افزایش عملکرد، کارایی مصرف عناصر و بهبود کیفیت گیاه نیز می‌تواند مؤثر باشد (Ghanbari et al., 2019; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Saeidi et al., 2024).

تکثیر گیاه شیرین‌بیان به‌صورت غیر جنسی با استفاده از قلمه‌های ریشه و ریزوم و یا از طریق جنسی با استفاده از بذر انجام می‌شود. تکثیر از طریق ریزوم به‌دلیل تخریب بخش قابل توجهی از منابع ژنتیکی برای تولید گیاهان جدید، منجر به ادامه روند تخریب منابع ژنتیکی این گیاه خواهد شد. بنابراین تولید بذر برای تکثیر، می‌تواند تا حدی فشار را بر منابع طبیعی کاهش دهد. پرداختن به بهبود تولید بذر به‌عنوان یک محصول جانبی در فرایند تولید شیرین‌بیان، علاوه بر بهبود بهره‌وری، ماده تکثیری با کیفیتی را در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند تا حد زیادی فشار وارده بر عرصه‌های طبیعی جهت برداشت ریشه و ریزوم را کاهش دهد. تا کنون به موضوع تولید بذر شیرین‌بیان تحت تیمارهای تلفیقی با هدف توسعه تولید پایدار پرداخته نشده است و پژوهش‌ها، بیشتر بر تولید ریشه و خصوصیات کیفی آن متمرکز شده است. بنابراین، این پژوهش با هدف

به حداکثر رساندن تولید محصول بوده است. به‌طور کلی، به دنبال افزایش تقاضای غذا، تولید حدود نیمی از غذای جهان در سیستم‌های کشاورزی رایج با کاربرد کودهای سنتزی انجام می‌شود و ادامه این روند در طی سال‌های آینده، صعودی پیش‌بینی می‌شود (Bindraban et al., 2015). در این شرایط لازم است در جهت کاهش استفاده از کودهای شیمیایی به‌منظور تولید پایدار کشاورزی، روش‌های جدیدی برای تغذیه گیاهان ارائه شود (Zhang et al., 2015). در این زمینه، نیاز به ارائه رویکردهایی برای افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی در جهت افزایش کارایی کاربرد کودهای شیمیایی و همچنین به‌کارگیری منابع دیگر آلی و تلفیق آن‌ها با منابع زیستی است (Kraiser et al., 2011).

بهبود عملکرد ریشه با استفاده از منابع کودی و قارچ مایکوریزا در شیرین‌بیان گزارش شده است (Goudarzi et al., 2019; Liu et al., 2007; Xie et al., 2024). در مطالعه‌ای در همین رابطه گزارش شد که کاربرد مایکوریزا منجر به بالاترین وزن خشک ریزوم در مقایسه با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی به تنهایی شده است، در حالی که وزن خشک ریشه در کوددهی اوره در سال دوم رشد حداکثر بود (Goudarzi et al., 2024). همچنین، نتایج مطالعه دیگری نشان داد که گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا به طور کلی رشد و وضعیت فیزیولوژیکی بهتری از جمله هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده نشان دادند و از وزن خشک ریشه بالاتری برخوردار بودند (Xie et al., 2019).

به‌نظر می‌رسد که تلفیق منابع مختلف کودی با اثرات هم‌افزایی می‌تواند منجر به افزایش قابل توجه تولید در گیاه شده و افزایش بهره‌وری را به همراه داشته باشد. افزایش کارایی زراعی مصرف کودهای مختلف، یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی است. از طرف دیگر، نگرانی‌ها در مورد ازدست دادن مواد آلی خاک و کاهش ظرفیت تأمین عناصر غذایی خاک، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. در این شرایط، به‌کارگیری شیوه‌های تلفیقی کاربرد منابع مختلف کودی و منابع زیستی مانند میکروارگانیزم‌های مفید به‌عنوان روشی کارآمد برای به حداقل رساندن تلفات عناصر و بهبود

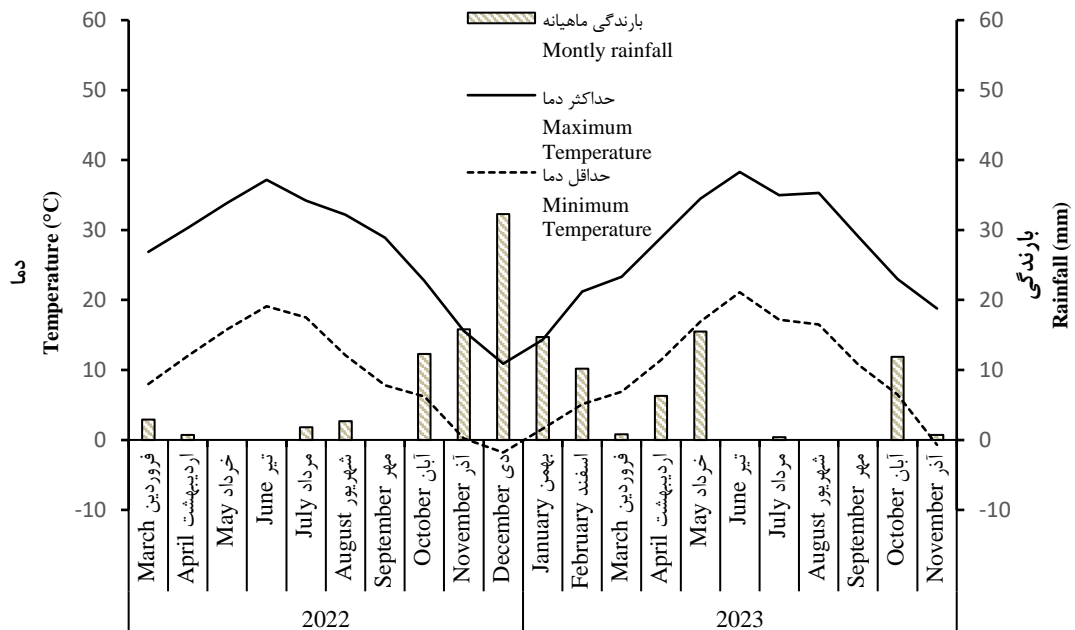
<sup>1</sup> Effective microorganisms (EMs)

کارایی زراعی کودهای آلی و شیمیایی، آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۷۷۳ متر) اجرا شد. اطلاعات هواشناسی مربوط به دوره اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.

بررسی اثر تلفیق ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی با مایکوریزا بر تولید ریشه و بذر شیرین بیان و همچنین بهبود کارایی زراعی کاربرد منابع کودی مختلف انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد بذر، عملکرد ریشه و



شکل ۱- مؤلفه‌های اقلیمی مختلف محل اجرای آزمایش طی فصل‌های رشد شیرین بیان

Figure 1- Different climatic parameters of the experimental site during the licorice growing seasons

مورد آزمایش قرار گرفت (Estefan et al., 2013). نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی، در جدول ۱ ارائه شده است.

قبل از اجرای آزمایش، از نقاط مختلف خاک مزرعه و از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری نمونه‌هایی جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش جمع‌آوری شد و پس از خشک کردن، مخلوط و همگن شده و

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some physical and chemical characteristics of the soil of the experimental site

فسفر قابل جذب	کربن آلی	نسبت سیلت به رس	نسبت شن به سیلت	نسبت هدایت الکتریکی	نسبت ظرفیت تبادل کاتیونی	نسبت نیتروژن کل	نسبت فسفر قابل جذب	نسبت پتاسیم قابل جذب
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Organic carbon (%)	Clay (%)	Silt (%)	EC (mS cm <sup>-1</sup> )	CEC (meq 100 g <sup>-1</sup> )	N (%)	K (mg kg <sup>-1</sup> )	
2.97	0.57	27	35	7.11	4.85	0.052	405.8	

مایکوریزا (V<sub>50</sub>+AM)؛ (۶) ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (CF<sub>100</sub>)؛ (۷) ۵۰ درصد کود شیمیایی (CF<sub>50</sub>) و (۸) ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا (CF<sub>50</sub>+AM) بودند.

براساس منابع محدود در دسترس، نیاز غذایی شیرین بیان سالانه ۴۰ کیلوگرم نیتروژن (N) و ۴۰ کیلوگرم فسفر (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

طرح آزمایشی به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل (۱) شاهد (بدون اعمال کود و عدم تلقیح با مایکوریزا)؛ (۲) تلقیح با مایکوریزا (AM)؛ (۳) ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>)؛ (۴) ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>50</sub>)؛ (۵) ۵۰ درصد ورمی کمپوست +

آبکشی با آب مقطر، در آون در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک و سپس وزن شد. جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد بذر، غلاف‌های هر کرت برداشت شده و تعداد خوشه و غلاف در متر مربع، وزن غلاف‌های برداشت شده (گرم)، تعداد بذر در غلاف، تعداد بذر در واحد سطح و وزن هزاردانه ارزیابی شد. سپس بذرها جهت تعیین عملکرد وزن شدند و براساس عملکرد در هکتار گزارش شد.

کارایی زراعی کود (AEF)<sup>۱</sup> برای ارزیابی کارایی مصرف کودهای مختلف براساس محتوای عناصر در هر منبع کودی از رابطه زیر محاسبه شد (Xu et al., 2012):

$$AEF (kg\ kg^{-1}) = \frac{Y_t - Y_0}{TN} \quad (1)$$

$Y_t$  عملکرد ریشه یا بذر به ازای مقدار معین کاربرد کود (TN) در هر تیمار بر حسب کیلوگرم در هکتار و  $Y_0$  عملکرد ریشه یا بذر (کیلوگرم در هکتار) لندازه‌گیری شده در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود و تلقیح با میکوریزا).

جهت ارزیابی کارایی میکوریزا در افزایش عملکرد تولیدی در شرایط کاربرد کودهای مختلف، اثربخشی تلقیح میکوریزا (MIE)<sup>۲</sup> براساس عملکرد ریشه یا بذر تولید شده در شرایط تلقیح ( $Y_i$ ) و عدم تلقیح ( $Y_0$ ) با میکوریزا از رابطه زیر محاسبه شد (Saeidi et al., 2024):

$$MIE = \frac{BY_i - BY_0}{BY_i} \times 100 \quad (2)$$

تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.0 انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ( $P < 0.05$ , LSD) مورد مقایسه قرار گرفت. برای کارایی زراعی کودهای مورد بررسی و همچنین کارایی تلقیح میکوریزا، با توجه به اینکه داده‌های مورد بررسی از اختلاف بین عملکرد در شرایط مختلف اعمال تیمار مربوطه با شاهد محاسبه شد، تعداد تعداد تیمارهای مورد بررسی (به دلیل حذف شاهد از مقایسه) و در نتیجه درجات آزادی منابع تغییر، متفاوت است. آنالیز همبستگی توسط نرم‌افزار IBM SPSS ver 22.0 انجام شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد ریشه

و ۳۵ کیلوگرم پتاسیم ( $K_2O$ ) (Liu et al., 2020) بوده که برای دو سال آزمایش ۸۰، ۸۰ و ۷۰ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منابع اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم برای تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در نظر گرفته شد. ورمی‌کمپوست مورد استفاده حاوی ۱/۱ درصد نیتروژن کل، ۰/۸ درصد فسفر قابل دسترس و ۰/۷۶ درصد پتاسیم قابل دسترس بود. ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی فسفره در شروع دوره و قبل از کاشت اعمال شد و کود اوره به صورت سرک در چهار مرحله در شروع آزمایش و اوایل بهار در سال زراعی اول و در اوایل بهار و تابستان سال زراعی دوم اعمال شد.

پس از آماده‌سازی اولیه بستر کاشت، براساس تیمار مورد نظر، ورمی‌کمپوست، کودهای فسفره (از منبع سوپرفسفات تریپل)، پتاسیم (سولفات پتاسیم) و حدود یک چهارم کود اوره قبل از کاشت در سطح مزرعه در کرت‌های مربوط به هر تیمار پخش و با خاک مخلوط شد. مابقی کود اوره در تیمارهای حاوی کودهای شیمیایی، به صورت سرک در مراحل مختلف رشد اعمال شد. تکثیر گیاهان شیرین‌بیان از طریق ریزوم (تهیه شده از مناطق اطراف کرمان) انجام شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۴ متر مربع (به ابعاد ۲ متر × ۲ متر) آماده شد. در هر کرت، قطعات ریزوم با تراکم ۵ بوته در متر مربع در چهار ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر (Karkanis et al., 2016) در اوایل بهار سال ۱۴۰۱ کشت شدند. فاصله بین کرت‌ها سه متر و بین تکرارها چهار متر در نظر گرفته شد. تلقیح با میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) تهیه شده از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک، همدان) به میزان ۵ گرم به ازای هر بوته به صورت تلقیح ریزوم و اعمال در بستر کاشت ریزوم، انجام شد. آبیاری به صورت غرقابی پس از کاشت انجام و در ابتدای ظهور گیاهچه‌ها هر هفته یکبار و پس از استقرار کامل بوته‌ها، با توجه به رطوبت از دست رفته خاک و دمای هوا، فواصل آبیاری از هر ۲ هفته یکبار در تابستان تا یک ماه در اواسط پاییز تنظیم شد. وجین علف‌های هرز و سایر مراقبت‌های لازم نیز بر حسب نیاز انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد ریشه، پس از طی دوره رشد در انتهای سال دوم، برداشت از سطح یک متر مربع هر کرت در انتهای دوره آزمایش انجام شد. نمونه‌های ریشه پس از شستشوی سریع با آب و

<sup>۲</sup> Mycorrhizal inoculation effect (MIE)

<sup>۱</sup> Agronomy efficiency of fertilizer (AEF)

شیمیایی (CF<sub>100</sub>) و ۵۰ درصد کود شیمیایی (CF<sub>50</sub>) تفاوت معنی داری نشان نداد. کاربرد تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا (V<sub>50</sub>+AM) نسبت به شاهد ۴۲/۵ درصد عملکرد ریشه را بهبود داد (جدول ۳).

نتایج نشان داد که عملکرد ریشه تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد ریشه در تیمار تلفیق ۵۰ درصد ورمی کمپوست و مایکوریزا (V<sub>50</sub>+AM) حاصل شد که با تیمارهای ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>)، ۱۰۰ درصد کود

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر اجزای عملکرد، عملکرد بذر و ریشه شیرین بیان

Table 2- Analysis of variance of the effect of nutritional treatments on yield components, seed yield and root yield of licorice

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							
		تعداد خوشه در متر مربع Clusters no/m <sup>2</sup>	وزن غلاف Pod weight	تعداد غلاف Pod number	تعداد بذر در غلاف Seed no/pod	تعداد بذر در متر مربع Seed no/m <sup>2</sup>	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد ریشه Root yield
تکرار Replication	2	54.5	28.8	2856	0.0028	312	4.78	1.21	3.34
تیمار Treatment	7	286.6*	57.0 <sup>ns</sup>	12649**	0.075**	6736**	4.64 <sup>ns</sup>	63.04**	11.39*
خطا Error	14	80.1	27.6	2176	0.0033	213	2.91	1.49	3.95
ضریب تغییرات CV (%)		29.5	33.0	24.1	19.5	25.7	15.4	19.3	15.6

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد، \* : معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و <sup>ns</sup> : غیر معنی دار

\*\* : significant at 0.01 probability level, \* : significant at 0.05 probability level, and <sup>ns</sup> : not significant

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد بذر و عملکرد ریشه شیرین بیان تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای

Table 3- Mean comparison of seed yield and yield components and root yield of licorice affected by nutritional treatments

تیمار Treatment	تعداد خوشه در متر مربع Cluster no/m <sup>2</sup>	وزن غلاف Pod weight (g m <sup>-2</sup> )	تعداد غلاف Pod no/m <sup>2</sup>	تعداد بذر در غلاف Seed no/pod	تعداد بذر در متر مربع Seed no/m <sup>2</sup>	وزن هزاردانه Thousand seed weight (g)	عملکرد بذر Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	عملکرد ریشه Root yield (t ha <sup>-1</sup> )
شاهد Control	32.3 <sup>bc</sup>	19.6	178 <sup>c</sup>	0.230 <sup>cde</sup>	39.6 <sup>bc</sup>	10.5	4.21 <sup>cd</sup>	11.3 <sup>c</sup>
تلقیح با مایکوریزا Mycorrhiza inoculation (AM)	49.8 <sup>a</sup>	19.8	199 <sup>bc</sup>	0.205 <sup>de</sup>	40.6 <sup>bc</sup>	11.0	4.39 <sup>cd</sup>	10.3 <sup>c</sup>
CF <sub>50</sub>	22.3 <sup>bc</sup>	12.6	162 <sup>cd</sup>	0.312 <sup>bc</sup>	51.0 <sup>b</sup>	10.7	5.20 <sup>bcd</sup>	13.0 <sup>abc</sup>
CF <sub>50</sub> +AM	16.7 <sup>c</sup>	10.9	95 <sup>d</sup>	0.383 <sup>b</sup>	36.3 <sup>bc</sup>	10.9	3.81 <sup>cd</sup>	11.8 <sup>bc</sup>
V <sub>50</sub>	30.6 <sup>bc</sup>	22.2	294 <sup>a</sup>	0.143 <sup>e</sup>	39.4 <sup>bc</sup>	10.0	5.29 <sup>bc</sup>	11.5 <sup>bc</sup>
V <sub>50</sub> +AM	28.7 <sup>bc</sup>	11.9	162 <sup>cd</sup>	0.150 <sup>e</sup>	23.4 <sup>c</sup>	12.1	3.11 <sup>d</sup>	16.1 <sup>a</sup>
CF <sub>100</sub>	35.2 <sup>ab</sup>	12.8	183 <sup>c</sup>	0.287 <sup>bcd</sup>	52.7 <sup>b</sup>	13.7	7.33 <sup>b</sup>	13.4 <sup>abc</sup>
V <sub>100</sub>	27.5 <sup>bc</sup>	17.6	279 <sup>ab</sup>	0.626 <sup>a</sup>	172.0 <sup>a</sup>	9.9	17.23 <sup>a</sup>	14.9 <sup>ab</sup>

برای هر صفت مورد ارزیابی، حروف مشترک بین میانگین‌ها بیانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

CF: کودهای شیمیایی، V: ورمی کمپوست، AM: تلقیح با میکوریزا.

For each investigated trait, means with the common letters indicate no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

CF: chemical fertilizers, V: vermicompost, AM: Mycorrhizal inoculation.

گیاهان تلقیح نشده، در خاک استریل شده، تسهیل کرد (Yu et al., 2020). علاوه بر این، استفاده از کودهای آلی مخلوط با کود زیستی به حفظ رطوبت خاک و بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاهان کمک می کند، در نتیجه، تولید فرآورده های فتوسنتزی را افزایش می دهد، بنابراین از این طریق می تواند به افزایش عملکرد گیاه کمک کند (Barea et al., 2005; Ceritoğlu et al., 2018). همچنین، بهبود عملکرد در روش های تغذیه تلفیقی ممکن است به افزایش سطح فعالیت های میکروبی و آنزیمی نسبت داده شود (Rahimi et al., 2019). به طور مشابه، نتایج مطالعه ای نشان داد که عملکرد گیاه *Cephalaria syriaca* در شرایط تغذیه تلفیقی با کودهای زیستی و ارگانیک نسبت به کاربرد منفرد قارچ مایکوریزا یا تلفیق کودهای شیمیایی و مایکوریزا، بیشتر بود (Rahimi et al., 2019).

مشابه با نتایج این مطالعه، در مطالعه ای که به تازگی بر تولید ریشه و ریزوم در شیرین بیان تحت تأثیر تیمارهای زیستی و آلی و شیمیایی انجام شده، بالاترین تولید ریشه را از کاربرد ورمی کمپوست و اوره و بالاترین تولید ریزوم را از تلقیح با مایکوریزا گزارش کرده اند (Goudarzi et al., 2024). همچنین، افزایش تولید ریشه شیرین بیان در دیگر مطالعات نیز در تلقیح با مایکوریزا گزارش شده است (Liu et al., 2014; Liu et al., 2007; Oruji et al., 2013; Öztürk et al., 2017a; Xie et al., 2019, Xie et al., 2018; Yu et al., 2020). مثبت مایکوریزا در تلقیح با منابع کودی را می توان به این واقعیت نسبت داد که هیف های ریشه، منطقه جذب آب و عناصر غذایی را گسترش داده و گیاه میزبان را قادر می سازد آب و عناصر غذایی معدنی بیشتری دریافت کند (Xue et al., 2024). در گزارشی، کارایی بازیابی کود نیتروژن (FNRE)<sup>۱</sup>، کارایی استفاده از نیتروژن (NUtE)<sup>۲</sup> و کارایی مصرف نیتروژن<sup>۳</sup> در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا نسبت به شاهد بالاتر بود که نشان دهنده مزیت تلقیح مایکوریزا برای رشد گندم است. بنابراین، استفاده از مایکوریزا به عنوان کود زیستی در شرایط مزرعه ممکن است یک فعالیت زراعی موثر برای تضمین تولید پایدار باشد (Xue et al., 2024).

کاربرد مایکوریزا به تنهایی تفاوت معنی داری در عملکرد ریشه نسبت به شاهد ایجاد نکرد. همچنین، تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا (CF<sub>50</sub>+AM) نیز از کارایی لازم جهت افزایش عملکرد ریشه برخوردار نبود. اما تیمار مایکوریزا + ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>50</sub>+AM)، ۴۰ درصد عملکرد ریشه را نسبت به شرایط کاربرد ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>50</sub>)، بهبود داد (جدول ۳).

تاثیرات ورمی کمپوست از طرفی به دلیل اثر بر محتوای آلی خاک بوده که با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می تواند به رشد ریشه کمک کند. از طرف دیگر، با تأمین متعادل عناصر مورد نیاز برای رشد، می تواند منجر به افزایش رشد و تجمع ماده خشک در گیاه شود (Koskey et al., 2023; Manzoor et al., 2024). اثر قابل مشاهده ورمی کمپوست در مقابل کودهای شیمیایی در این پژوهش، به این دلیل است که در مقایسه با کودهای شیمیایی، اثر کودهای آلی علاوه بر آزادسازی تدریجی و متعادل عناصر، بر گیاهانی نظیر شیرین بیان، به دلیل اثر آن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اهمیت دوچندان دارد. خصوصیات فیزیکی بستر کاشت از مهم ترین عوامل موثر بر رشد اندام های زیرزمینی است که با کاربرد کودهای آلی بهبود یافته و منجر به بهبود معنی دار خصوصیات اندام های زیرزمینی گیاه می شود (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021).

کسب بهترین نتایج از کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و ورمی کمپوست از طرف دیگر نشان دهنده توانایی بالای کودهای آلی در تأمین نیازهای گیاه در سطح مطلوب است. میکروارگانیسم های مفید، مانند ریزوباکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) و قارچ های مایکوریزا، می توانند رشد گیاه را به طور مستقیم با کمک به جذب مواد مغذی و آب یا تنظیم متابولیسم هورمون های گیاهی و همچنین با دفاع غیر مستقیم از گیاهان در برابر عوامل بیماری زا تسهیل کنند (Barea et al., 2005). هم زیستی مایکوریزا می تواند تغذیه معدنی گیاه، به ویژه فسفر را بهبود بخشد و بیوسنتز متابولیت های ثانویه را برای افزایش مقاومت گیاه تنظیم کند. در مطالعه ای دیگر، تلقیح مایکوریزا به طور قابل توجهی رشد گیاه شیرین بیان را بهبود بخشید و تجمع گلیسیریزین و لیکوپیریتین را در مقایسه با

<sup>3</sup> Nitrogen use efficiency

<sup>1</sup> Fertilizer N recovery efficiency

<sup>2</sup> Nitrogen utilization efficiency

معنی دار تعداد بذر در واحد سطح نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی شد که می‌تواند علاوه بر تولید تعداد غلاف قابل توجه، حاصل بیشترین تعداد بذر در غلاف در این تیمار باشد که در نتیجه بیشترین عملکرد بذر در واحد سطح را موجب شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که بیشترین عملکرد بذر از کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار ورمی کمپوست ( $V_{100}$ ) حاصل شد که نسبت به شاهد افزایش چند برابری در تولید بذر را نشان داد. با توجه به نتایج تجزیه همبستگی بین صفات مورد بررسی (جدول ۴)، این موضوع، حاصل افزایش قابل توجه در تعداد غلاف در واحد سطح و تعداد بذر در واحد سطح بود. یافته‌های پژوهشی، قابلیت کمپوست و ورمی کمپوست را در بهبود ویژگی‌های رشد، نمو و عملکرد گیاه لوبیا نسبت به شاهد نشان داد که بهترین تیمار، کاربرد ورمی کمپوست بود. علاوه بر این، اختلاف آشکاری در مقادیر کاربرد آن وجود داشت. در بیشتر موارد برتری میزان مصرف بالاتر این دو کود به‌ویژه در مورد ورمی کمپوست ( $V_{100}$ ) نشان داده شد. این تیمار بالاترین مقادیر را از نظر اجزای رویشی، ریشه و عملکرد ثبت کرد. این مطالعه نشان داد که افزودن ورمی کمپوست به میزان ۵۰ درصد تا ۱۰۰ درصد تأثیر قابل توجهی بر توسعه، رشد و بهره‌وری گیاه لوبیا دارد (Al-Tawarah et al., 2024). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست به‌تنهایی در مقایسه با شاهد و مایکوریزا به تنهایی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاهچه مؤثرتر بود. با این حال، کاربرد ترکیبی مایکوریزا و ورمی کمپوست تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی بر یکدیگر نشان داد. در نتیجه، ورمی کمپوست هم اثر بخشی قارچ‌های مایکوریزا را افزایش داد و هم باعث افزایش جذب مواد مغذی، تجمع ماده خشک و رشد گیاهچه در لوبیا چشم‌بلبلی شد (Atakli et al., 2022). همچنین کاربرد سطوح بالای ورمی کمپوست، ویژگی‌های رویشی، تعداد کپسول و تعداد دانه در کنجد را بهبود داد و منجر به افزایش عملکرد دانه این گیاه شد (Saeidi et al., 2024).

کاربرد ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی ( $CF_{100}$ ) با وجود تولید غلاف کمتر، با تولید تعداد قابل توجه بذر در غلاف، تعداد بذر در واحد سطح را افزایش داد که از نظر عملکرد بذر، در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). در مطالعه‌ای با کاربرد سطوح مختلف کودهای شیمیایی کامل (NPK)، شامل ۱۰۰ درصد

کاربرد کودهای شیمیایی نیز تا حد زیادی نتایج مشابه با ورمی کمپوست نشان داد. گفته می‌شود که شیرین بیان خاک‌های حاصل خیز را ترجیح می‌دهد و رشد و عملکرد آن در این شرایط بهینه است (Öztürk et al., 2017b). گزارش شده است که کاربرد مخلوطی از کودها، حاوی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (N)، ۴۴ کیلوگرم در هکتار فسفر (P) و ۱۶۶ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K) باعث افزایش عملکرد ریشه شد (Öztürk et al., 2017b). همچنین در پژوهشی دیگر، استفاده از کودهای معدنی به میزان ۷۰ کیلوگرم نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۱۱۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش عملکرد شیرین بیان شد (Urmanova et al., 2021).

پژوهشگران با مطالعه تولید شیرین بیان از طریق بذر، بالاترین عملکرد ریشه (۱۲/۶ تن در هکتار) را از کوددهی با ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۴۰ کیلوگرم فسفر و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم گزارش کردند که به‌طور قابل توجهی بالاتر از کاربرد سایر سطوح کودی بود (Khaïtov et al., 2022).

### اجزای عملکرد و عملکرد بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفات تعداد خوشه و تعداد غلاف در متر مربع، تعداد بذر در غلاف، تعداد بذر در متر مربع و عملکرد بذر تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند در حالی که اثر معنی داری از تیمارهای مورد بررسی بر وزن غلاف و وزن هزاردانه مشاهده نشد (جدول ۲).

همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد، تلفیق با مایکوریزا منجر به تولید بیشترین خوشه در واحد سطح شد که با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی تفاوت معنی داری نشان نداد اما در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی، به‌طور معنی داری تعداد خوشه را افزایش داد. این در حالی بود که بیشترین تعداد غلاف در واحد سطح از تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست حاصل شد که با تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست تفاوت معنی داری نشان نداد اما در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش به‌طور معنی داری این تفاوت مشاهده شد. کمترین تعداد خوشه و تعداد غلاف در واحد سطح از کاربرد تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کودهای شیمیایی + تلفیق با مایکوریزا حاصل شد (جدول ۳).

کاربرد مقدار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست منجر به افزایش

2022). نتایج مشابه از کاربرد تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست در شرایط تلقیح با مایکوریزا از نظر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنگد نیز گزارش شده است (Saeidi et al., 2024). نتایج مطالعه دیگری که به نقش تلقیح با باکتری‌های مختلف محرک رشد شامل (*Paenibacillus polymyxa* و *Funneliformis Pantoea agglomerans*) و قارچ مایکوریزا (*mosseae*) در کاهش دوز نیتروژن کاربردی به ۷۵ و ۵۰ درصد پرداخته بود، نشان داد که رشد، تولید زیست‌توده و عملکرد لوبیا در ۷۵ درصد اعمال کودها و تلقیح میکروبی بالاتر است و از نظر آماری با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی کامل تفاوتی نشان نداد (Chauhan and Bagyaraj, 2015). در شیرین بیان اثر معنی‌داری از کاربرد تلفیقی تیمارهای کودی با مایکوریزا بر صفات عملکرد بذر مشاهده نشد. تفاوت در مطالعات مختلف از نظر کارایی تیمارهای مورد بررسی را می‌توان به تفاوت در الگوی توزیع زیست‌توده در گیاهان مختلف دانست. در شیرین بیان مخزن نهایی برای تجمع زیست‌توده، اندام‌های زیرزمینی (ریشه و ریزوم‌های) گیاه است. بنابراین اولویت گیاه برای تخصیص مواد فتوسنتزی در ابتدا، به اندام‌های زیرزمینی است. تولید بذر در این گیاه به‌عنوان محصول جانبی در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، بهتر است تولید بذر در شیرین بیان در کنار تولید اندام‌های اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

با وجود اثر قابل توجه کاربرد ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست بر عملکرد بذر، تلفیق میزان کاهش‌یافته آن با مایکوریزا منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بذر در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی شد (جدول ۳). این می‌تواند تا حدی با اثر بهبوددهندگی این تیمار برای افزایش عملکرد قابل توجه ریشه مرتبط باشد (جدول ۳). بافت‌های مخزن واردکننده خالص مواد جذبی هستند و شامل اندام‌هایی مانند مریستم‌ها و برگ‌های نابالغ و بافت‌های ذخیره رویشی مانند غده‌ها، دانه‌ها یا ریشه‌ها بوده که به سرعت در حال رشد هستند. متابولیسم منبع و مخزن کاملاً با هم مرتبط هستند. اغلب واکنش‌های گیاه به تغییرات محیطی و کارایی استفاده از منابع، مانند کودها، از عوامل کلیدی تعیین‌کننده بهره‌وری گیاه به شمار می‌روند (Foyer and Paul, 2001). اعمال برخی تیمارها منجر به تغییر در تقسیم زیست‌توده از قسمت‌های غیر قابل برداشت به محصول اصلی

کاربرد، ۷۵ درصد NPK + قارچ مایکوریزا آربوسکولار، ۵۰ درصد NPK + قارچ مایکوریزا آربوسکولار، ۷۵ درصد NPK + میکروبین<sup>۱</sup> و ۵۰ درصد NPK + میکروبین در کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم‌بلبلی، گزارش شد که کاربرد ۷۵ درصد NPK + قارچ مایکوریزا آربوسکولار و ۱۰۰ درصد کاربرد NPK منجر به افزایش در صفات مورد بررسی لوبیا چشم‌بلبلی شد (Zen El-Dein et al., 2022).

با وجود مشاهده بیشترین تعداد غلاف در واحد سطح از تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>50</sub>)، که با تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>) اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد، کاربرد این تیمار، منجر به کاهش ۷۷ درصدی تعداد بذر شد که می‌تواند به کاهش قابل توجه تعداد بذر در غلاف مرتبط باشد. همین تیمار می‌تواند با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد بذر با عملکرد بذر (جدول ۴)، منجر به کاهش ۶۹ درصدی عملکرد بذر در واحد سطح نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>) شود (جدول ۳).

با این حال، تیمار مایکوریزا قابلیت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد بذر را نداشت و در تیمارهای تلفیقی با کودهای آلی و شیمیایی عمدتاً به دلیل کاهش قابل توجه در تعداد غلاف در واحد سطح، حتی موجب کاهش در میزان عملکرد بذر شد (جدول ۳). نتایج مطالعات مرتبط نشان می‌دهد که تلفیق مایکوریزا با منابع کودی اثر قابل توجهی بر عملکرد بر جا گذاشته است. به‌عنوان مثال، در همین زمینه، مطالعه تلفیق مایکوریزا با کودهای شیمیایی و آلی بر گیاه پلمیر<sup>۲</sup> نشان داد که بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و درصد عملکرد روغن در گیاهان تیمارشده با مایکوریزا + ورمی کمپوست مشاهده شد، در حالی که بیشترین وزن هزاردانه از محلول مایکوریزا + کود دامی به‌دست آمد. همچنین، استفاده از مایکوریزا + ورمی کمپوست باعث افزایش کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئید شد و نسبت به کاربرد آن به تنهایی، مزیت بیشتری نشان داد (Rahimi et al., 2019).

نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تیمار ۷۵ درصد کودهای شیمیایی به همراه تلقیح با مایکوریزا ضمن بهبود تعداد دانه، تولید دانه در لوبیا چشم‌بلبلی را افزایش داد و تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد آن نشان نداد (Zen El-Dein et al.,

<sup>2</sup> *Cephalaria syriaca* L.

<sup>1</sup> Mycrobein

شاهد کاهش یافته است (Graham and Abbott, 2000; Ryan *et al.*, 2005; Ryan and Angus, 2003). این می‌تواند به دلیل رقابت برای کربن بین هیفاها و ریشه‌های میزبان باشد که در دسترس بودن کربن برای اندام‌های دیگر را کاهش می‌دهد (Johnson *et al.*, 2008).

### همبستگی بین صفات زراعی

نتایج تجزیه همبستگی بین صفات زراعی مورد مطالعه نشان داد که بین عملکرد بذر و ریشه با تعداد خوشه در متر مربع همبستگی منفی مشاهده شد (جدول ۴). همچنین وزن غلاف نیز همبستگی منفی با عملکرد ریشه نشان داد. از بین اجزای عملکرد بذر، تنها صفات تعداد بذر در غلاف و در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بذر نشان دادند. بین وزن هزاردانه و عملکرد بذر نیز همبستگی منفی مشاهده شد. این ارتباط منفی به همبستگی منفی بین تعداد بذر در غلاف و تعداد بذر در واحد سطح با وزن هزاردانه مرتبط است. تعداد بذر همچنین با تعداد خوشه در متر مربع همبستگی منفی نشان داد. علاوه بر این، وزن غلاف و تعداد غلاف نیز با وزن هزاردانه همبستگی منفی نشان دادند. تولید غلاف (شامل تعداد و وزن غلاف در متر مربع) نیز با عملکرد ریشه در واحد سطح همبستگی منفی نشان داد.

### کارایی زراعی کودهای مورد استفاده

نتایج نشان داد که کارایی زراعی کودهای مورد استفاده از نظر محتوای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای عملکرد ریشه و بذر، تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها روند متفاوتی برای کارایی کاربرد کودها در تیمارهای مورد بررسی نشان داد (جدول ۶). برای عملکرد ریشه، تیمار تلفیق مایکوریزا با ۵۰ درصد ورمی کمپوست ( $V_{50}+AM$ ) بیشترین کارایی زراعی را نشان داد و نسبت به کاربرد ۵۰ درصد ورمی کمپوست ( $V_{50}$ ) که کمترین کارایی را در عملکرد ریشه نشان داد، حدود ۲۰ برابر کارایی زراعی را بهبود داد. تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا ( $V_{50}+AM$ ) نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست ( $V_{100}$ )، کارایی زراعی را ۲/۷ برابر افزایش داد. در مقابل، تیمار مایکوریزا + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی ( $CF_{50}+AM$ )، کارایی

برداشت‌شده گیاهان شده است. گیاهان با قسمت‌های قابل برداشت لندام‌های زیرزمینی مانند شیرین بیان، تمایل برای سرمایه‌گذاری بیشتر در رشد اندام‌های زیرزمینی دارند که نشان‌دهنده مزیت رقابتی آن‌هاست (Veresoglou *et al.*, 2012). از طرف دیگر هم‌زیستی مایکوریزایی می‌تواند الگوی توزیع زیست‌توده را تغییر دهد. اثر تلقیح با مایکوریزا بر زیست‌توده گیاه، جذب نیتروژن (از کود و خاک)، توزیع و کارایی مصرف نیتروژن در دو رقم گندم با استفاده از ایزوتوپ  $^{15}N$  در آزمایش‌های مزرعه‌ای و گلدانی بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح مایکوریزا ضمن افزایش زیست‌توده گیاه و تجمع نیتروژن، الگوی توزیع نیتروژن را نیز در گندم تغییر داد. تلقیح مایکوریزا به‌طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت نیتروژن ریشه و کاهش غلظت نیتروژن دلنه و برگ شد. کاهش نیتروژن دلنه توسط مایکوریزا عمدتاً به تغییرات در تجمع نیتروژن قبل از گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی و کاهش مقدار انتقال نیتروژن نسبت داده شد. مایکوریزا به‌طور قابل توجهی وزن خشک ریشه و جذب نیتروژن ریشه را افزایش داد. این نشان می‌دهد اولویت مایکوریزا در شرایط عدم دسترسی کافی به عناصر، توزیع عناصر در ریشه است. در مقابل، در صورت تأمین عناصر کافی توسط منابع کودی، انتقال عناصر را به بخش‌های هوایی و دانه نیز انجام می‌دهد (Xue *et al.*, 2024). بسته به گیاه مورد نظر، نشان داده شده است که مایکوریزا بر توزیع زیست‌توده بین اندام‌های هدف و اندام‌های رویشی تأثیرگذار است. بنابراین، گزارش شده است که مایکوریزا تأثیر مثبتی بر تولید گیاه دارد (Zaller *et al.*, 2011)، زیرا زیست‌توده بیشتری به اندام‌های هدف نسبت به اندام‌های دیگر در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا اختصاص داده شد (Miller *et al.*, 2002). در تایید این نتایج، گزارش شد که گیاهان گندم تلقیح‌شده با مایکوریزا نسبت به شاهد، درصد بالاتری از زیست‌توده را به ریشه اختصاص دادند (Xue *et al.*, 2024). در مطالعه حاضر نیز، کاربرد تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست با مایکوریزا با وجود تأثیر منفی بر عملکرد بذر، بالاترین مقدار تولید ریشه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). علاوه بر این، اثر مایکوریزا در بسیاری مطالعات مثبت گزارش شده است. با این وجود، برخی از محققان گزارش کردند که زیست‌توده کل گیاهان در تیمار با مایکوریزا در مقایسه با

زراعی را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF<sub>50</sub>) و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی (CF<sub>100</sub>) کاهش داد. این در حالی بود که کاهش میزان کاربرد کودهای شیمیایی به نصف مقدار، کارایی زراعی کود را در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF<sub>100</sub>)، ۶۴ درصد افزایش داد (جدول ۴).

جدول ۴- همبستگی صفات زراعی با عملکرد بذر و ریشه شیرین بیان

Table 4- Correlation of agronomic traits with seed and root yield of licorice

	تعداد خوشه در متر مربع Clusters no/m <sup>2</sup>	وزن غلاف Pods weight (g m <sup>-2</sup> )	تعداد غلاف Pods no/m <sup>2</sup>	تعداد بذر در غلاف Seeds no/pod	تعداد بذر در متر مربع Seeds no/m <sup>2</sup>	وزن هزاردانه Thousand seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )
تعداد خوشه در متر مربع Clusters no/m <sup>2</sup>	1						
وزن غلاف Pods weight (g m <sup>-2</sup> )	0.562	1					
تعداد غلاف Pods no/m <sup>2</sup>	0.328	0.757*	1				
تعداد بذر در غلاف Seeds no/pod	-0.371	-0.179	0.126	1			
تعداد بذر در متر مربع Seeds no/m <sup>2</sup>	-0.098	0.162	0.539	0.885**	1		
وزن هزاردانه Thousand seed weight (g)	0.189	-0.561	-0.405	-0.263	-0.343	1	
عملکرد دانه Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	-0.061	0.166	0.589	0.848**	0.989**	-0.246	1
عملکرد ریشه Root yield (t ha <sup>-1</sup> )	-0.356	-0.505	0.054	0.293	0.364	0.302	0.389

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

\*\* : significant at 0.01 probability level

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر عملکرد شیرین بیان و کارایی زراعی کودهای مورد استفاده از نظر محتوای عناصر پرمصرف هر منبع کودی

Table 5- Analysis of variance results of the effect of nutritional treatments licorice yield and agronomy efficiency of applied fertilizers in terms of the content of macro elements of each fertilizer resource

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	کارایی زراعی کود Agronomy efficiency of fertilizer (kg kg <sup>-1</sup> )					
		عملکرد بذر Seed yield			عملکرد ریشه Root yield		
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
تکرار Replication	2	236.1	256.4	377.0	10.4	80.1	11.5
تیمار Treatment	5	11161**	20982**	23098**	4159**	8321**	9014**
خطا Error	10	58.0	59.5	77.8	124.7	211.8	224.6
ضریب تغییرات CV (%)		22.7	18.1	19.3	28.4	29.7	28.4

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

\*\* : significant at 0.01 probability level

تفاوت معنی داری با این تیمار نشان نداد. کارایی زراعی کاربرد کود برای عملکرد بذر در تیمارهای تلفیقی با مایکوریزا منفی بود که نتیجه کاهش عملکرد بذر در این تیمارها نسبت به شاهد بود (جدول ۳). این نشان می‌دهد که کاربرد مایکوریزا علی‌رغم تأثیر قابل توجه در بهبود کارایی زراعی برای عملکرد ریشه شیرین بیان، با اثر منفی که بر عملکرد بذر دارد، کارایی زراعی را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از نظر عملکرد بذر، روند متفاوتی در بین تیمارهای مورد ارزیابی مشاهده شد (جدول ۶). بالاترین کارایی زراعی عملکرد بذر برای منابع کودی مختلف از کاربرد سطوح بالای کودها حاصل شد. کاربرد ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>) بیشترین مقدار کارایی کاربرد کود را برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان داد. تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF<sub>100</sub>) در رتبه بعدی قرار گرفت که با وجود کارایی بالاتر برای نیتروژن نسبت به تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>50</sub>) از نظر فسفر و پتاسیم

جدول ۶- مقایسه میانگین کارایی زراعی کودهای کاربردی از نظر محتوای عناصر پر مصرف تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای

Table 6- Mean comparison of the agronomy efficiency of applied fertilizers in terms of the content of macro elements affected by nutritional treatments.

تیمار Treatment	کارایی زراعی کودها Agronomy efficiency of fertilizer (kg kg <sup>-1</sup> )					
	عملکرد بذر Seed yield			عملکرد ریشه Root yield		
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
	N	P	K	N	P	K
CF <sub>50</sub>	24.8 <sup>c</sup>	24.8 <sup>c</sup>	28.4 <sup>c</sup>	42.7 <sup>b</sup>	42.7 <sup>bc</sup>	48.8 <sup>bc</sup>
CF <sub>50</sub> +AM	-10.0 <sup>d</sup>	-10.0 <sup>d</sup>	-11.4 <sup>d</sup>	11.9 <sup>cd</sup>	11.9 <sup>d</sup>	13.6 <sup>d</sup>
V <sub>50</sub>	24.6 <sup>c</sup>	33.8 <sup>bc</sup>	35.4 <sup>bc</sup>	5.6 <sup>d</sup>	7.6 <sup>d</sup>	8.0 <sup>d</sup>
V <sub>50</sub> +AM	-25.0 <sup>e</sup>	-34.4 <sup>e</sup>	-36.1 <sup>e</sup>	109.0 <sup>a</sup>	149.8 <sup>a</sup>	157.2 <sup>a</sup>
CF <sub>100</sub>	38.9 <sup>b</sup>	38.9 <sup>b</sup>	44.5 <sup>b</sup>	26.1 <sup>bc</sup>	26.1 <sup>cd</sup>	29.8 <sup>cd</sup>
V <sub>100</sub>	147.9 <sup>a</sup>	203.4 <sup>a</sup>	213.4 <sup>a</sup>	40.8 <sup>b</sup>	56.0 <sup>b</sup>	58.8 <sup>b</sup>

برای هر صفت، حروف مشترک بین میانگین‌ها بیانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. CF: کودهای شیمیایی، V: ورمی کمپوست، AM: تلفیق با مایکوریزا.

For each investigated trait, means with the common letters indicate no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

CF: chemical fertilizers, V: vermicompost, AM: Mycorrhizal inoculation.

قرار گیرد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022). گزارش شده است که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر افزایش کارایی مصرف عناصر، کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در بستر کشت زعفران به‌خصوص در تلفیق با تیمارهای کودی کمپوست و کودهای شیمیایی بود. دلیل این تأثیر، به نقش مهم مایکوریزا در افزایش جذب عناصر و در نتیجه رشد گیاه به‌ویژه در شرایط کاربرد تیمارهای کودی نسبت داده شد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022). دلیل دیگر برای بهبود کارایی مصرف عناصر منابع کودی این

اثر مشاهده‌شده از اعمال تیمار تلفیقی مایکوریزا و ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V50+AM) منجر به افزایش کارایی ورمی کمپوست از نظر بهبود کارایی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، برای تولید عملکرد ریشه نسبت به سایر تیمارهای کاربردی شد (جدول ۶). بهبود رشد و تغذیه گیاه با میکروارگانیسم‌های مختلف موجود در ریزوسفر نظیر قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا، با بهبود کارکردهای بوم‌نظام‌های کشاورزی از طریق پویایی عناصر خاک (Marschner, 2012)، به‌عنوان ابزاری مهم برای بهبود تغذیه گیاه و جذب و کارایی مصرف عناصر به‌خصوص فسفر و نیتروژن، می‌تواند مورد استفاده

کودی شیمیایی و آلی کاهش داد. بیشترین کارایی تلقیح زمانی مشاهده شد که تلقیح مایکوریزا در شرایط کاربرد ورمی کمپوست انجام شد (شکل ۲).

در مطالعه‌ای روی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی، عملکرد مایکوریزا به تنهایی در آزمایش رضایت‌بخش نبود. حدس زده می‌شود که دلیل عدم پاسخ مناسب به کاربرد مایکوریزا ناشی از مسیر فتوسنتزی گیاهان نیز باشد. در مطالعه مذکور، عنوان شد که حبوبات و لوبیا چشم‌بلبلی به دلیل مسیر فتوسنتزی C<sub>3</sub>، نسبت به سایر گونه‌های گیاهان دارای مسیر C<sub>4</sub>، پاسخ مناسبی به تلقیح مایکوریزا نمی‌دهند (Wilson and Hartnett, 1998). در نتیجه، کاربرد ورمی کمپوست یک سناریوی سازگار با محیط زیست و مؤثر برای جذب مواد مغذی و رشد گیاهچه در کشت لوبیا چشم‌بلبلی است و بیشتر، کاربرد ترکیبی ورمی کمپوست با مایکوریزا تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی بر یکدیگر دارد (Atakli et al., 2022). همچنین در مطالعه‌ای اثر تلقیح مایکوریزا به تنهایی و در شرایط اعمال کودهای مختلف بررسی و گزارش شد که کاربرد مایکوریزا به تنهایی، درصد کلونیزاسیون پایین‌تری با ریشه گیاه زعفران نشان داد و از کارایی لازم برای بهبود عملکرد برخوردار نبود (Ghanbari et al., 2019).

### کارایی تلقیح مایکوریزا

نتایج تجزیه واریانس حاصل از بررسی کارایی تلقیح با مایکوریزا از نظر تأثیر بر عملکرد ریشه و بذور نشان داد که تیمارهای مختلف اثرات معنی‌داری بر کارایی تلقیح نشان دادند (جدول ۷).

نتایج کارایی تلقیح مایکوریزا نشان داد که کاربرد مایکوریزا به تنهایی برای افزایش عملکرد ریشه، کارایی منفی داشته است (شکل ۲-a). با این حال، تلفیق کودهای شیمیایی با مایکوریزا تا حدی اثر مثبت نشان داد و کارایی تلقیح را افزایش داد. بیشترین کارایی تلقیح مایکوریزا برای تولید ریشه، زمانی مشاهده شد که تلقیح مایکوریزا در شرایط کاربرد ورمی کمپوست انجام شد (شکل ۲-a).

در مقابل، نتایج برای عملکرد بذور نشان داد که تلفیق کودهای مختلف با مایکوریزا به دلیل اثر منفی بر عملکرد بذور، کارایی تلقیح را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و بالاترین کارایی از کاربرد مایکوریزا به تنهایی حاصل شد (شکل ۲-b).

آزمایش، می‌تواند کاربرد مقادیر متعادل و تقسیط مناسب تیمارهای کود شیمیایی حاوی عنصر نیتروژن در طول فصل رشد نیز باشد، همان‌طور که نتایج مشابه بر کارایی مصرف نیتروژن و فسفر کمپوست و کودهای شیمیایی، گزارش شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022).

تلقیح بذور گل همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) با قارچ مایکوریزا و سویه‌های مختلف ازوتوباکتر، سودوموناس و آزوسپیریوم به‌طور قابل توجهی پارامترهای رشد، وزن خشک اندام هوایی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای عناصر درشت‌مغذی در برگ و ریشه را افزایش داد (Hosseinzadah et al., 2011). همچنین، مایکوریزا با مشارکت در جذب کربن و نیتروژن در طول رشد دانه، منجر به افزایش کارایی بازیابی عناصر، کارایی مصرف عناصر و کارایی بهره‌وری عناصر در گندم شد. درصد کلونیزاسیون ریشه، وزن خشک دانه و جذب بالاتر نیتروژن از منابع کودی توسط گیاه در زمان رسیدگی، با کارایی مصرف نیتروژن، همبستگی مثبت داشت (Xue et al., 2024). با این وجود، تیمار تلقیح با مایکوریزا + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی (CF<sub>50</sub>+AM) تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی (CF<sub>50</sub>) نشان نداد و کارایی کود شیمیایی را با توجه به کاهش عملکرد به‌طور قابل توجهی نسبت به تیمار CF<sub>50</sub> کاهش داد (جدول ۶).

تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>50</sub>) با توجه به عملکرد غیر معنی‌دار در مقایسه با شاهد، کارایی زراعی را در این سطح کاربرد، نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>) به‌طور قابل توجهی کاهش داد (جدول ۲).

در سایر مطالعات نیز در بیشتر موارد برتری میزان مصرف بالاتر کمپوست و ورمی کمپوست به‌ویژه در مورد ورمی کمپوست (V<sub>100</sub>) نشان داده شده است. این تیمار بالاترین مقادیر را از نظر اجزای رویشی، ریشه و عملکرد لوبیا ثبت کرد و کاهش مقادیر در اکثر صفات، کارایی کاربرد و عملکرد را کاهش داد (AI-; Tawarah et al., 2024).

تلقیح مایکوریزا به تنهایی (AM) نیز از کارایی لازم برای بهبود عملکرد ریشه نسبت به شاهد برخوردار نبود (جدول ۶). همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، کاربرد مایکوریزا به تنهایی، کارایی تلقیح مایکوریزا را نسبت به کاربرد همزمان با منابع

مغذی لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که کاربرد ترکیبی مایکوریزا و ورمی کمپوست تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی بر یکدیگر داشته است. در نتیجه، ورمی کمپوست هم اثر بخشی قارچ‌های مایکوریزا را افزایش داد و هم باعث افزایش جذب مواد مغذی، تجمع ماده خشک، رشد گیاهچه و افزایش کارایی مصرف عناصر در لوبیا چشم‌بلبلی شد (Atakli et al., 2022).

همانطور که برای کارایی زراعی کودها مشاهده شد، تیمارهای تلفیقی مایکوریزا و کودها با اثر منفی بر عملکرد بذر، کارایی تلفیح را نیز به‌طور منفی تحت تأثیر قرار دادند.

ورمی کمپوست کارایی تلفیح مایکوریزا را برای تولید ریشه بهبود داد (شکل ۲-a). مطالعه‌ای به‌منظور مشاهده تأثیر ترکیبی تیمارهای مایکوریزا و ورمی کمپوست بر رشد گیاه و جذب مواد

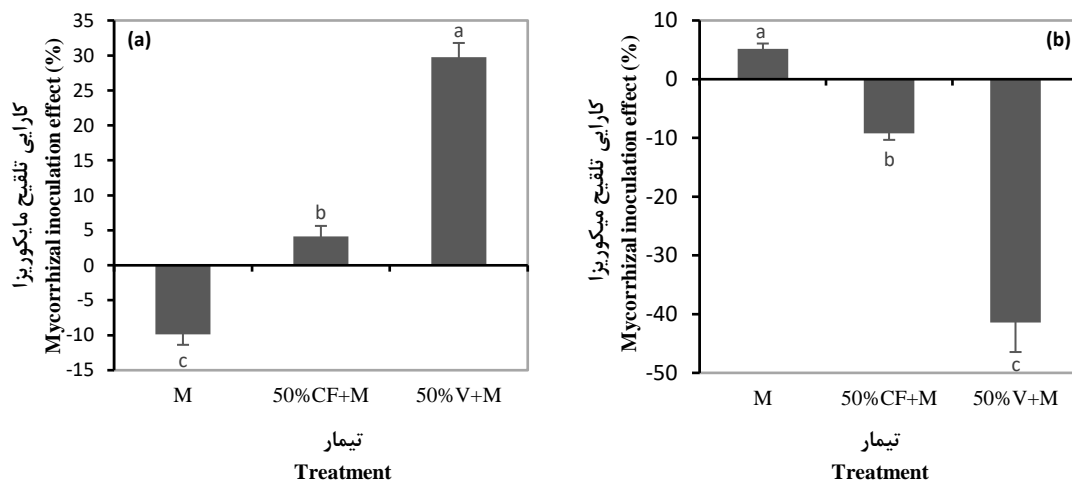
جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر کارایی تلفیح مایکوریزا از نظر عملکرد بذر و ریشه

Table 7- Analysis of variance results of the effect of nutritional treatments on the mycorrhizal inoculation effect in terms of seed and root yield

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی تلفیح مایکوریزا (عملکرد ریشه)	کارایی تلفیح مایکوریزا (عملکرد بذر)
Sources of variation	df	effect (Root yield) Mycorrhizal inoculation	effect (Seed yield) Mycorrhizal inoculation
تکرار	2	12.4	22.5
Replication			
تیمار	2	1211**	1708**
Treatment			
خطا	4	6.8	29.6
Error			
ضریب تغییرات			
CV (%)		32.5	-35.9

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

\*\* : significant at 0.01 probability level



شکل ۲- مقایسه میانگین کارایی تلفیح مایکوریزا از نظر تولید ریشه (a) و بذر (b) بین تیمارهای تغذیه‌ای مختلف

Figure 2- Mean comparison of mycorrhizal inoculation effect in terms of root (a) and seed (b) production among different nutritional treatments

*culinaris* L. در سال ۲۰۲۰، در مقایسه با شاهد شد (Koskey et al., 2023). اثر مثبت عصاره ورمی کمپوست توسط داده‌های هم‌زیستی ریشه با مایکوریزا در یافته‌های تحقیقی دیگر نیز تایید شده است، که افزایش هم‌زیستی قارچ‌های مایکوریزا را در گیاه *Physalis ixocarpa* Brot.

گزارش شده که پتانسیل تلفیح مایکوریزی خاک در طول فصل رشد افزایش یافت و کاربرد عصاره ورمی کمپوست باعث افزایش فعالیت مایکوریزا در مزارع کشت‌شده با آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) در هر دو سال و در عدس (*Lens*

توزیع عناصر در ریشه است. در مقابل، در صورت وجود عناصر کافی تأمین شده توسط منابع کودی، انتقال عناصر را به بخش‌های هوایی و دانه نیز انجام می‌دهد (Xue et al., 2024).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بهترین تیمار برای تولید بذر در شیرین بیان، کاربرد مقدار مورد نیاز از منبع ورمی کمپوست بود. همچنین، کاربرد ورمی کمپوست بهترین شرایط را برای تولید ریشه شیرین بیان فراهم کرد. کاهش مقادیر کاربرد کودهای شیمیایی و آلی عملکرد بذر را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار داد و منجر به کاهش آن شد. در حالی که، بهترین تیمار برای تولید ریشه، کاربرد ۵۰ درصد مقدار ورمی کمپوست در تلفیق با مایکوریزا بود که ضمن بهبود قابل توجه عملکرد، کارایی زراعی کود را بر مبنای تولید ریشه افزایش داد، در حالی که با اثر منفی بر تولید بذر، کارایی زراعی را به‌شدت کاهش داد. در مقابل، کاربرد مایکوریزا به تنهایی یا در تلفیق با کودهای شیمیایی بر تولید ریشه موثر نبود و کارایی زراعی کودهای شیمیایی از نظر تولید ریشه را کاهش داد. تلفیق تیمارهای کودی، کاهش کارایی تلفیق مایکوریزا را برای تولید بذر به‌همراه داشت، در حالی که، تلفیق با ورمی کمپوست، کارایی تلفیق مایکوریزا را برای تولید ریشه بهبود داد. به‌نظر می‌رسد اثر تلفیق با مایکوریزا در گیاهان مختلف با توجه به روابط مبدا و مخزن تعیین شود. بنابراین، برای توصیه کودی ضروری است اثر مایکوریزا در تلفیق با سایر منابع هم‌زمان در اندام‌های زیرزمینی و تولید بذر این گیاه مد نظر قرار گیرد.

### سپاسگزاری

هزینه اجرای این پژوهش از محل طرح شماره ۷۴۱۴/۰۱ مصوب پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان تأمین شده است که به این وسیله قدردانی به عمل می‌آید.

### تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

تیمارشده با عصاره ورمی کمپوست گزارش کردند (Cruz-Koizumi et al., 2018). اثرات مثبت کاربرد ورمی کمپوست بر کارایی تلفیق مایکوریزا را می‌توان به اثرات به‌دست آمده از مطالعات گروهی از پژوهشگران مرتبط کرد که دریافتند افزودن ورمی کمپوست به بستر شن + ورمی کولیت باعث جوانه‌زنی هاگ، رشد هیف و رشد میسلیم گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا می‌شود (Coelho et al., 2014). به همین ترتیب، در تحقیقی، افزایش کلونیزاسیون ریشه با مایکوریزا را در مقایسه با عدم تلفیق در گیاه *Capsicum assamicum* L. تیمارشده با ورمی کمپوست مشاهده کردند که این امر را به اثر بر میکروبیوتای خاک به واسطه اسید هیومیک در ورمی کمپوست نسبت دادند که منجر به بهبود کیفیت خاک و زیست‌توده میکروبی نیز شد (Khan et al., 2014).

همچنین گزارش شده است که تلفیق با مایکوریزا به تنهایی هیچ اثر معنی‌داری بر وزن بنه زعفران و کارایی زراعی مصرف نیتروژن و فسفر در کرت‌های کوددهی نشده نداشت که عمدتاً به دلیل کاهش اثر تلفیق مایکوریزا (MIE) بود. تجزیه و تحلیل مقادیر MIE تأیید کرد که کارایی تلفیق مایکوریزا به‌طور قابل توجهی در طول زمان در کرت‌های کوددهی نشده کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد کارایی بهینه مایکوریزا می‌تواند تحت‌تأثیر سیستم تأمین عناصر غذایی قرار گیرد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022).

علاوه بر این، نتایج پژوهشی نشان داد که نسبت توزیع نیتروژن در ریشه گندم افزایش یافت، اما در دانه کاهش یافته است. علاوه بر این، مایکوریزا به‌طور قابل توجهی جذب گیاه را از کود با  $^{15}\text{N}$  ۱۷/۸-۱۵ درصد افزایش داد. بیشتر نیتروژن جذب‌شده از مایکوریزا از منبع کود بود و درصد پایینی از نیتروژن خاک را جذب کرد. راندمان بازیابی کود نیتروژن (FNRE)، راندمان استفاده از نیتروژن (NUE) و کارایی مصرف نیتروژن در گیاهان تلفیق‌شده با مایکوریزا نسبت به شاهد بالاتر بود که نشان‌دهنده مزایای قابل توجه تلفیق مایکوریزا بر رشد گندم است. بنابراین، استفاده از مایکوریزا به عنوان کود زیستی در شرایط مزرعه ممکن است یک عمل زراعی مؤثر برای تضمین تولید پایدار باشد که نشان می‌دهد اولویت مایکوریزا در شرایط عدم دسترسی کافی به عناصر،

## References

- Al-Tawarah, B., Alasasfa, M.A. and Mahadeen, A.Y., 2024. Efficacy of compost and vermicompost on growth, yield and nutrient content of common beans crop (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Ecological Engineering*, 25(2), pp.215–226. <https://doi.org/10.12911/22998993/176862>
- Atakli, S.B., Sahin, S., Ceritoglu, M. and Cagatay, H.F., 2022. Vermicompost enhances the effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi, cowpea development and nutrient uptake. *Legume Research – An International Journal*, 45(11), pp.1406–1413. <https://doi.org/10.18805/lrf-698>
- Barea, J.M., Werner, D., Azcón-Guilar, C. and Azcón, R., 2005. Interactions of arbuscular mycorrhiza and nitrogen-fixing symbiosis in sustainable agriculture. In *Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment* (pp., 199–222). Springer. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3544-6\\_10](https://doi.org/10.1007/1-4020-3544-6_10)
- Bindraban, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A. and Rabbinge, R., 2015. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*, 51(8), pp.897–911. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7>
- Ceritoğlu, M., Şahin, S. and Erman, M., 2018. Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), pp.607–615. <https://doi.org/10.15316/sjafs.2018.143>
- Chauhan, H. and Bagyaraj, D.J., 2015. Inoculation with selected microbial consortia not only enhances growth and yield of French bean but also reduces fertilizer application under field condition. *Scientia Horticulturae*, 197, pp.441–446. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.001>
- Coelho, I.R., Pedone-Bonfim, M.V.L., Silva, F.S.B. and Maia, L.C., 2014. Optimization of the production of mycorrhizal inoculum on substrate with organic fertilizer. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45, pp.1173–1178. <https://doi.org/10.1590/s1517-83822014000400007>
- Cruz-Koizumi, Y.P., Alayón-Gamboa, J.A., Morón-Ríos, A., Castellanos-Albores, J., Aguilar-Chama, A. and Guevara, R., 2018. Effects of organic and chemical agriculture systems on arbuscular mycorrhizal fungi and green tomato production in Calakmul, Mexico. *Agricultural Sciences*, 9(9), pp.1145–1167. <https://doi.org/10.4236/as.2018.99080>
- Emmanuel, O.C. and Babalola, O.O., 2020. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. *Microbiological Research*, 239, 126569. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126569>
- Estefan, G., Sommer, R. and Ryan, J., 2013. *Methods of soil, plant, and water analysis: A manual for the West Asia and North Africa region* (pp.170–176).
- Foyer, C.H. and Paul, M.J., 2001. Source–sink relationships. *eLS*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001304>
- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2022. Relationships between growth indices, dry matter production, and nutrient use efficiency in saffron: Integrative effect of mycorrhizal inoculation and nutrient resources. *Journal of Plant Nutrition*, 45(14), pp.2077–2095. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2063138>

- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2021. Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops and Products*, 166, 113447. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113447>
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., van Ruth, S.M. and Aghighi, S., 2019. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, pp.301–310. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064>
- Goudarzi, T., Tabrizi, L., Nazeri, V. and Etemadi, M., 2024. Nutrient distribution in various tissues of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) and the influence of soil fertility on the levels of its bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 209, 118073. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118073>
- Graham, J.H. and Abbott, L.K., 2000. Wheat responses to aggressive and non-aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 220(1), pp.207–218. <https://doi.org/10.1023/A:1004709209009>
- Hayashi, H. and Sudo, H., 2009. Economic importance of licorice. *Plant Biotechnology*, 26(1), pp.101–104. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.26.101>
- Hosseinzadah, F., Satei, A. and Ramezanzpour, M.R., 2011. Effects of mycorrhiza and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrients uptake and physiological characteristics in *Calendula officinalis* L. *Middle East Journal of Scientific Research*, 8(5), pp.947–953.
- Johnson, N.C., Rowland, D.L., Corkidi, L. and Allen, E.B., 2008. Plant winners and losers during grassland N-eutrophication differ in biomass allocation and mycorrhizas. *Ecology*, 89(10), pp.2868–2878. <https://doi.org/10.1890/07-1394.1>
- Karkanis, A., Martins, N., Petropoulos, S.A. and Ferreira, I.C.F.R., 2016. Phytochemical composition, health effects, and crop management of liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.): A medicinal plant. *Food Reviews International*, 34(2), pp.182–203. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261300>
- Khaitov, B., Karimov, A., Khaitbaeva, J., Sindarov, O., Karimov, A. and Li, Y., 2022. Perspectives of licorice production in harsh environments of the Aral Sea regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11770. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811770>
- Khan, M.H., Meghvansi, M.K., Gupta, R., Veer, V., Singh, L. and Kalita, M.C., 2014. Foliar spray with vermiwash modifies the arbuscular mycorrhizal dependency and nutrient stoichiometry of bhut jolokia (*Capsicum assamicum*). *PLoS ONE*, 9(3), e92318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092318>
- Koskey, G., Avio, L., Turrini, A., Sbrana, C. and Bàrberi, P., 2023. Biostimulatory effect of vermicompost extract enhances soil mycorrhizal activity and selectively improves crop productivity. *Plant and Soil*, 484(1), pp.183–199. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05783-w>
- Kraiser, T., Gras, D.E., Gutiérrez, A.G., Gonzalez, B. and Gutiérrez, R.A., 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(4), pp.1455–1466. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq425>

- Liu, H., Tan, Y., Nell, M., Zitter-Eglseer, K., Wawscrah, C., Kopp, B., Wang, S. and Novak, J., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization of *Glycyrrhiza glabra* roots enhances plant biomass, phosphorus uptake and concentration of root secondary metabolites. *Journal of Arid Land*, 6(2), pp.186–194. <https://doi.org/10.1007/s40333-013-0208-5>
- Liu, J., Wu, L., Wei, S., Xiao, X., Su, C., Jiang, P., Song, Z., Wang, T. and Yu, Z., 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation*, 52(1), pp.29–39. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9174-2>
- Liu, Y., Li, Y., Luo, W., Liu, S., Chen, W., Chen, C., Jiao, S. and Wei, G., 2020. Soil potassium is correlated with root secondary metabolites and root-associated core bacteria in licorice of different ages. *Plant and Soil*, 456(1), pp.61–79. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04692-0>
- Manzoor, A., Naveed, M.S., Ali, R.M.A., Naseer, M.A., Ul-Hussan, M., Saqib, M., Hussain, S. and Farooq, M., 2024. Vermicompost: A potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae*, 336, 113443. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113443>
- Marschner, P., 2012. Chapter 15 - Rhizosphere Biology. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed., pp.369–388). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384905-2.00015-7>
- Miller, R.M., Miller, S.P., Jastrow, J.D. and Rivetta, C.B., 2002. Mycorrhizal mediated feedbacks influence net carbon gain and nutrient uptake in *Andropogon gerardii*. *New Phytologist*, 155(1), pp.149–162. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00429.x>
- Orujei, Y., Shabani, L. and Sharifi-Tehrani, M., 2013. Induction of glycyrrhizin and total phenolic compound production in licorice by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60(6), pp.855–860. <https://doi.org/10.1134/s1021443713050129>
- Öztürk, M., Altay, V., Hakeem, K.R. and Akçiçek, E., 2017a. Liquorice-Mycorrhiza interactions. In M. Öztürk, V. Altay, K. R. Hakeem, & E. Akçiçek (Eds.), *Liquorice: From Botany to Phytochemistry* (pp.31–40). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74240-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74240-3_5)
- Öztürk, M., Altay, V., Hakeem, K.R. and Akçiçek, E., 2017b. Cultivation. In M. Öztürk, V. Altay, K.R. Hakeem, & E. Akçiçek (Eds.), *Liquorice: From Botany to Phytochemistry* (pp.127–132). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74240-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74240-3_9)
- Rahimi, A., Siavash Moghaddam, S., Ghiyasi, M., Heydarzadeh, S., Ghazizadeh, K. and Popović-Djordjević, J., 2019. The influence of chemical, organic and biological fertilizers on agrobiological and antioxidant properties of Syrian *Cephalaria* (*Cephalaria syriaca* L.). *Agriculture*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture9060122>
- Ryan, M.H. and Angus, J.F., 2003. Arbuscular mycorrhizae in wheat and field pea crops on a low P soil: increased Zn-uptake but no increase in P-uptake or yield. *Plant and Soil*, 250(2), pp.225–239. <https://doi.org/10.1023/a:1022839930134>
- Ryan, M.H., van Herwaarden, A.F., Angus, J.F. and Kirkegaard, J.A., 2005. Reduced growth of autumn-sown wheat in a low-P soil is associated with high colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 270(1), pp.275–286. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1611-7>

- Saeidi, M., Khajoei-Nejad, G., Tohidi-Nejad, E. and Ghanbari, J., 2024. Influence of mycorrhiza, vermicompost, and effective microorganisms (EMs) on nutrient use efficiency and yield of sesame. *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(1), pp.169–185. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.379518.1308>
- Urmanova, M., Kuziev, A., Burkhanova, D., Kadirova, D., Namozov, N. and Shadieva, N., 2021. Influence of soil treatment methods and standards of mineral fertilizers on growth and development of malt and soil fertility. *E3S Web of Conferences*, 240, 2036. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124402036>
- Veresoglou, S.D., Menexes, G. and Rillig, M.C., 2012. Do arbuscular mycorrhizal fungi affect the allometric partition of host plant biomass to shoots and roots? A meta-analysis of studies from 1990 to 2010. *Mycorrhiza*, 22(3), pp.227–235. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0398-7>
- Wilson, G.W.T. and Hartnett, D.C., 1998. Interspecific variation in plant responses to mycorrhizal colonization in tallgrass prairie. *American Journal of Botany*, 85(12), pp.1732–1738. <https://doi.org/10.2307/2446507>
- Xie, W., Hao, Z., Yu, M., Wu, Z., Zhao, A., Li, J., Zhang, X. and Chen, B., 2019. Improved phosphorus nutrition by arbuscular mycorrhizal symbiosis as a key factor facilitating glycyrrhizin and liquiritin accumulation in *Glycyrrhiza uralensis*. *Plant and Soil*, 439(1), pp.243–257. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3861-9>
- Xie, W., Hao, Z., Zhou, X., Jiang, X., Xu, L., Wu, S., Zhao, A., Zhang, X. and Chen, B., 2018. Arbuscular mycorrhiza facilitates the accumulation of glycyrrhizin and liquiritin in *Glycyrrhiza uralensis* under drought stress. *Mycorrhiza*, 28(3), pp.285–300. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0827-y>
- Xu, G., Fan, X. and Miller, A.J., 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>
- Xue, J., Guo, L., Li, L., Zhang, Z., Huang, M., Cai, J., Wang, X., Zhong, Y., Dai, T., Jiang, D. and Zhou, Q., 2024. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake, partitioning and use efficiency of nitrogen in wheat. *Field Crops Research*, 306, 109244. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109244>
- Yu, M., Xie, W., Zhang, X., Zhang, S., Wang, Y., Hao, Z. and Chen, B., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi can compensate for the loss of indigenous microbial communities to support the growth of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.). *Plants*, 9(1), pp.7. <https://doi.org/10.3390/plants9010007>
- Zaller, J.G., Saccani, F. and Frank, T., 2011. Effects of earthworms and mycorrhizal fungi on the growth of the medicinal herb *Calendula officinalis* (Asteraceae). *Plant, Soil and Environment*, 57(11), pp.499–504. <https://doi.org/10.17221/189/2011-pse>
- Zen El-Dein, A.A.M., Koriem, M.H.M., Alsubeie, M.S., Alsalmi, R.A., Masrahi, A.S., Al-Harbi, N.A., Al-Qahtani, S.M., Awad-Allah, M.M.A. and Hefny, Y.A.A., 2022. Effect of mycorrhiza fungi, preceding crops, mineral and bio fertilizers on maize intercropping with cowpea. *Agriculture*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture12111934>
- Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P. and Shen, Y., 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), pp.51–59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>