

Improving biomass production and nutrient uptake in Thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrated nutrition management

Zahra Tohidi-nejad ^a, Gholamreza Khajoei-Nejad ^b, Enayatollah Tohidi-nejad ^{*b}, Jalal Ghanbari ^{b,c}

^a Ph.D Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^b Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^c Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: e_tohidi@uk.ac.ir

Received: 1 August 2024 Accepted: 11 September 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.476283.1436

How to cite this article:

Tohidi-nejad, Z., Khajoei-Nejad, G., Tohidi-nejad, E., and Ghanbari, J. 2025. Improving biomass production and nutrient uptake in thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrated nutrition management. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 275–293. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.476283.1436>

Abstract

Introduction: Thyme (*Thymus vulgaris* L.) plant is one of the most important medicinal plants with unique medicinal properties in Iran. In arid and semi-arid regions of the world, such as Iran, the level of soil organic matter is usually very low. Therefore, maintaining and improving soil fertility is essential to maintain soil health and agricultural sustainability. Plant nutrition is considered one of the practical ways to improve the production and quality of medicinal and aromatic plants, which has largely led to the improvement of production and quality in different plants. In order to support the production of agricultural products and achieve global food security and with the aim of reducing the negative effects on the environment, a lot of emphasis has been placed on the identification and exploitation of alternative nutrient sources, such as organic and biological fertilizers. Vermicompost is one of the most important organic fertilizers that increases the growth and production of various plants, including medicinal plants. Also, biochar is a carbon-rich solid material that affects nutrient availability, water storage, and cation exchange capacity. On the other hand, arbuscular mycorrhizal fungi play an important role in the growth and productivity of the host plant by improving the acquisition of nutrients and also affect the quality of plants.

Materials and Methods: Morphological traits (biomass production, plant height, root weight and volume), chlorophyll and carotenoid content and nitrogen and phosphorus uptake of thyme were investigated in an experiment during two growing seasons (2019-2020 and 2020-2021). In this field experiment, the effect of different nutritional treatments including control (without fertilizer), vermicompost (12 tons per hectare), chemical fertilizer (100 kg nitrogen and 120 kg phosphorus per hectare), combined treatment of 50% vermicompost and 50% Chemical fertilizer (6 tons per hectare of vermicompost + 50 kg of nitrogen and 60 kg of phosphorus per hectare), combined treatment of 50%



vermicompost and biochar (6 tons of vermicompost + 5 tons of biochar per hectare) and combined treatment of 50% of chemical fertilizer and biochar (50 kg of nitrogen and 60 kg of phosphorus + 5 tons of biochar per hectare) that were applied to planting bed during two years were investigated. In each fertilizer treatment, the planting bed was subjected to inoculation and non-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus (*Funneliformis mosseae*).

Results and Discussion: the integrated treatment of vermicompost and biochar increased biomass (57%), plant height (30%), root volume (58%), root dry weight (109%) and nitrogen uptake (65%) compared to control. The highest amount of phosphorus uptake was obtained from the integrated treatment of vermicompost and biochar in the second year of growth, which showed an increase of 113% compared to the control treatment of the same year. The integrated treatment of chemical fertilizer and biochar caused an increase of 92% in the content of chlorophyll a and 64% in the content of total chlorophyll (a + b), in both of them there was no significant difference with the treatment of chemical fertilizer. All fertilizer treatments increased carotenoid content (10-18%) compared to the control, but no significant difference was observed between fertilizer treatments. In general, the first year showed higher chlorophyll a, a+b and carotenoid content than the second year. Except for chlorophyll b and carotenoid, other studied traits were significantly affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi.

Conclusion: All investigated traits except chlorophyll b and carotenoid were significantly affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. In general, fertilizer treatments were effective on morphological characteristics, chlorophyll and carotenoid content, and nutrient uptake in thyme plants. Among the fertilizer treatments, the integrated treatment of vermicompost and biochar had the greatest effect on the studied traits.

Keywords: Biochar, Mycorrhiza, Photosynthetic pigments, Plant nutrition, Vermicompost

بهبود تولید زیست توده و جذب عناصر در آویشن باغی توسط مدیریت تغذیه تلفیقی

زهرا توحیدی نژاد^۱، غلامرضا خواجویی نژاد^۲، عنایت الله توحیدی نژاد^{۳*}، جلال قنبری^{۳،۴}

۱- دانشجوی دکتری، 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- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: e_tohidi@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.476283.1436

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثرات کودهای آلی و شیمیایی و ترکیب آن‌ها همراه با تلقیح قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) بر رشد، تغذیه و تولید زیست توده آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) طی دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) انجام شد. در این ارزیابی مزرعه‌ای، تیمارهای تغذیه‌ای مختلف شامل شاهد (بدون کود)، ورمی کمپوست (۱۲ تن در هکتار)، کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶ تن ورمی کمپوست + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و بیوجار (۶ تن ورمی کمپوست + ۵ تن بیوجار در هکتار) و تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیوجار (۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر + ۵ تن بیوجار در هکتار) در طی دوره آزمایش، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تلقیح با میکوریزا زیست توده، ارتفاع، وزن خشک و حجم ریشه، محتوای کلروفیل، جذب نیتروژن و جذب فسفر را نسبت به عدم تلقیح بهبود داد. از طرف دیگر، کاربرد تلفیقی ورمی کمپوست و بیوجار باعث افزایش زیست توده (۵۷ درصد)، ارتفاع گیاه (۳۰ درصد)، حجم ریشه (۵۸ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۰۹ درصد)، جذب نیتروژن (۶۵ درصد) و جذب فسفر نسبت به شاهد شد. تیمار تلفیقی کود شیمیایی و بیوجار نیز باعث افزایش ۹۲ درصدی میزان کلروفیل a (۹۲ درصد) و کلروفیل a + b (۶۴ درصد) شد. براساس نتایج، تلقیح با میکوریزا و همچنین کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست با بیوجار برای تولید آویشن قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: بیوجار، تغذیه گیاه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، میکوریزا، ورمی کمپوست

مقدمه

سل، سرفه‌های تحریک‌پذیر و سرفه‌های اسپاسمی مورد استفاده

قرار می‌گیرد (Prasanth Reddy et al., 2014). بنابراین برای

پرورش دهندگان این گیاه، افزایش تولید زیست توده توأم با

کیفیت قابل قبول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در مناطق خشک و نیمه خشک جهان مانند ایران، سطح

ماده آلی خاک معمولاً بسیار کم است. بنابراین، حفظ و بهبود

حاصلخیزی خاک برای حفظ سلامت خاک و پایداری کشاورزی

از اهمیت اساسی برخوردار است (Afshar et al., 2014).

آویشن گیاهی چندساله می‌باشد در نتیجه حفظ حاصلخیزی

خاک به مدت طولانی برای دستیابی به تولید بالا و سودآوری

در واحد سطح ضروری است. تغذیه گیاهی یکی از راه‌های

کاربردی در جهت بهبود تولید و کیفیت گیاهان دارویی و معطر

در نظر گرفته می‌شود که تا حد زیادی منجر به بهبود تولید و

کیفیت در گیاهان مختلف شده است

آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) یک گیاه چند ساله

علفی، معطر و دارویی از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است

که به صورت تجاری در مقیاس وسیع در بسیاری از کشورها

کشت می‌شود و ارزش اقتصادی بالایی از خود نشان داده است

(Badi et al., 2004). مردم برای قرن‌ها از آویشن به عنوان

یک طعم دهنده در آشپزی و یا به عنوان گیاه دارویی استفاده

کرده‌اند (Stahl-Biskup and Sáez, 2002). امروزه اندام‌های

هوایی آویشن به دلیل اثرات ضد التهابی، ضد اسپاسم، خلط‌آور

و آنتی‌اکسیدانی آن برای مصارف دارویی مختلف مورد استفاده

می‌باشد (Bigdeloo et al., 2017). گیاه آویشن باغی یکی از

مهمترین و شناخته شده‌ترین گیاهان دارویی در ایران است که

با خواص دارویی منحصر به فرد برای درمان انواع بیماری‌ها

مانند آنفلوآنزا، سرماخوردگی، سینوزیت، برونشیت حاد و مزمن،

استفاده‌ی آن به تنهایی پتانسیل کمی برای بهبود رشد و تغذیه گیاه دارد (Fischer and Glaser, 2012). در نتیجه در بیشتر مطالعات انجام شده کاربرد بیوچار در تلفیق با منابع عنصری آلی و معدنی توصیه شده است (Fischer and Glaser, 2012; Rivelli and Libutti, 2022). به طور کلی، می‌توان گفت استفاده از بیوچار در بهبود کارایی کودها نقش دارد (Agegnehu et al., 2016). به عنوان مثال در مطالعه‌ای که اثر بیوچار و کاربرد توأم آن با کود معدنی و آلی را بر ویژگی‌های خاک، رشد و محتوای مواد مغذی چغندر سوئیسی مورد ارزیابی قرار داد اظهار داشت استفاده مشترک از بیوچار و ورمی‌کمپوست گزینه بهتری برای افزایش عملکرد چغندر سوئیسی و در عین حال حفظ کیفیت غذایی و سلامتی محصول است (Rivelli and Libutti, 2022). همچنین کاربرد تلفیقی بیوچار با ۵۰ درصد مقدار کمپوست در تلفیق با مایکوریزا موجب بهبود خصوصیات مختلف خاک، تغذیه و تولید زیست‌توده زعفران شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021).

طی سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی، منجر به بحران آلودگی‌های زیست محیطی و به ویژه آلودگی منابع آب و خاک شده است، که این آلودگی‌ها به‌طور پیوسته به منابع غذایی مورد استفاده انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است. امروزه کودهای زیستی به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کاهش کاربرد کودهای شیمیایی، افزایش کارایی کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و افزایش حاصلخیزی خاک در تولید پایدار مطرح شده‌اند (Cavagnaro, 2015; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). از این گذشته، کشاورزی مدرن به‌طور فزاینده‌ای به سیستم‌های بیولوژیکی تأمین عناصر غذایی وابسته است (Cavagnaro, 2015). در این راستا، قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار ارتباط همزیستی متقابل را با اکثر گونه‌های گیاهی نشان داده‌اند و نقش مهمی در رشد و بهره‌وری گیاه میزبان از طریق بهبود اکتساب مواد مغذی دارند (Cavagnaro, 2015) و بر بهبود کیفیت گیاهان نیز اثرگذار می‌باشد (Ghanbari et al., 2019b; Ghanbari et al., 2019a). نتایج تحقیقات بر تاثیر مطلوب کودهای زیستی روی گیاهان مختلف از جمله آویشن باغی دلالت دارند (Vital et

Ghanbari et al., 2019a; Ghanbari et al., 2019b; Shalaby and Razin, 1992). عملکرد آویشن به شدت تحت تأثیر کودهای آلی و شیمیایی (Pal et al., 2016) همچنین میکروارگانیزم‌های مفید (Yadegari et al., 2012) قرار می‌گیرد. موفقیت در امر افزایش تولید، عموماً مستلزم افزایش ورود عناصر غذایی به‌میزان مناسب بوده که به موازات آن، باعث افزایش خروجی محصول شود. از سوی دیگر تولیدات کشاورزی با چالش در رسیدن به تعادل مناسب بین رعایت مقررات زیست محیطی و سوددهی مواجه است (Godfray et al., 2010). بنابراین، برای حمایت از تولید محصولات کشاورزی و رسیدن به امنیت غذایی در سطح جهان و با هدف کم کردن اثرات سوء بر محیط زیست، تاکید زیادی روی شناسایی و بهره‌برداری از منابع مواد مغذی جایگزین، همچون کودهای آلی و زیستی شده است (Cavagnaro, 2015).

ورمی‌کمپوست یکی از مهم‌ترین کودهای آلی است که منبع غنی از عناصر ماکرو، میکرو، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه است که سبب افزایش رشد و تولید گیاهان مختلف از جمله گیاهان دارویی می‌گردد (Prabha et al., 2007). ورمی‌کمپوست با تثبیت نیتروژن و حل کردن فسفر، دسترسی نیتروژن و فسفر را برای گیاه افزایش می‌دهد (Gholami et al., 2018). این کودهای آلی علاوه بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه، موجب حفظ سلامت خاک و محیط زیست نیز می‌شوند (Arancon et al., 2005). اما گونه‌ها و وارته‌های گیاهی خاص از نظر پارامترهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به روشی منحصر به فرد به ورمی‌کمپوست پاسخ می‌دهند (Makkar et al., 2023).

بیوچار، یک ماده جامد غنی از کربن (Praveen et al., 2022) می‌باشد که اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Munir et al., 2020; Ali et al., 2017). این ماده بر دسترسی مواد مغذی، ذخیره آب و ظرفیت تبادل کاتیونی مؤثر می‌باشد (Warnock et al., 2007). همچنین ساختار خاص بیوچار زیستگاه مناسبی برای میکروارگانیزم‌های خاک فراهم می‌آورد (Fischer and Glaser, 2012). بیوچار علی‌الرغم داشتن خصوصیات مثبت به‌ویژه اثرات مثبت بر روی خصوصیات فیزیکی خاک، محتوای عنصری پائینی داشته و به همین دلیل

شیمیایی و ترکیب آن‌ها همراه با تلقیح قارچ‌های آربوسکولار-مایکوریزا بر برخی صفات آویشن انجام شد.

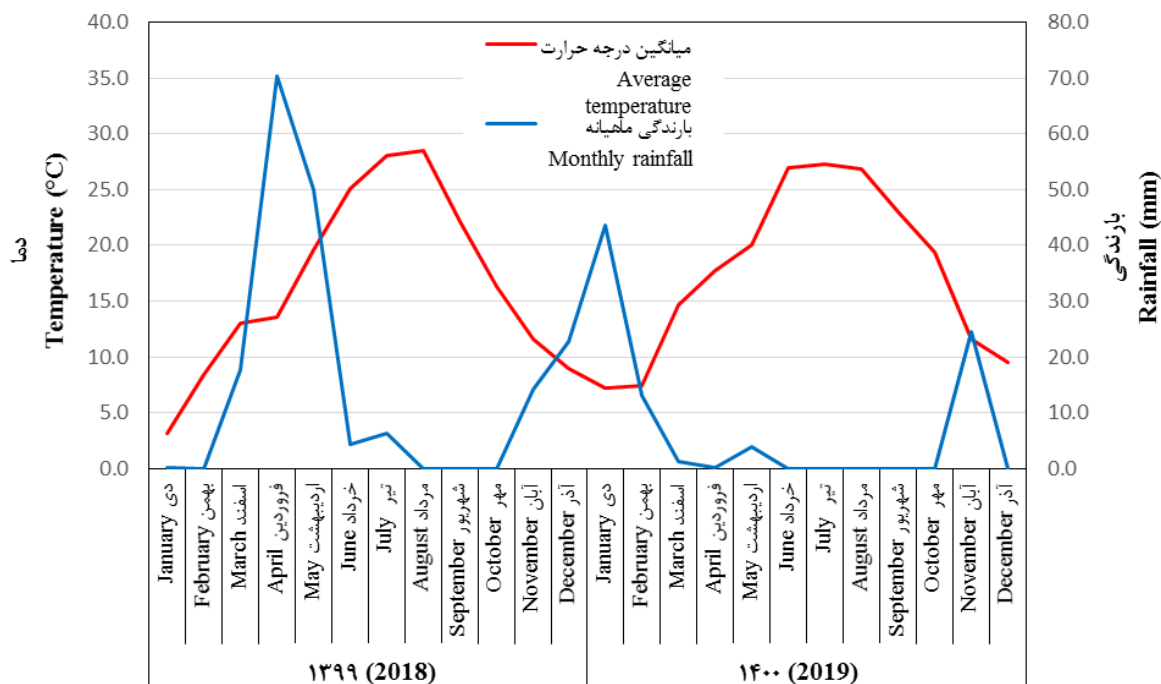
مواد و روش‌ها

مشخصات محل انجام آزمایش و تیمارهای مورد بررسی

گیاهان آویشن مورد تجزیه و تحلیل برای این مطالعه در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰۷ دقیقه و ۱۵ ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۷۷۴ متر از سطح دریا) در دو سال متوالی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) کشت شدند. داده‌های هواشناسی (اطلاعات بارش و دمای هوا) منطقه اجرای آزمایش در طول دوره انجام آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. نمونه‌برداری از خاک مزرعه از ده نقطه‌ی زمین و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر با الگوی تصادفی (Estefan, 2013) انجام و پس از مخلوط شدن و آنالیز نتایج حاصله در جدول ۱ ارائه شد.

(*al., 2002*). باکتری‌های همزیست مایکوریزا زیست‌توده را افزایش می‌دهند و رشد گیاه را عمدتاً با افزایش جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو بهبود می‌بخشند (*Hodge et al., 2001*). همچنین، تلقیح مایکوریزا نشان داده است که می‌تواند به‌طور مؤثر وضعیت مواد مغذی، کارایی مصرف مواد مغذی (*Tavarini et al., 2018*) و برخی خواص خاک (*Celik et al., 2010*) را افزایش دهد. ورمی‌کمپوست، بیوجار و قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا و همچنین انواع مختلف اصلاح‌کننده‌های ارگانیک به طور گسترده برای تغذیه محصولات ارگانیک به منظور بهبود سلامت خاک، حاصلخیزی، عملکرد زراعی و افزایش بهره‌وری کشاورزی استفاده می‌شوند (*Cavagnaro, 2015; Fischer and Glaser, 2012; Zandvakili et al., 2017*). اگرچه تأثیر کودهای آلی و شیمیایی مختلف در افزایش عملکرد گیاه به خوبی مستند شده است (*Pandey and Patra, 2015*), اما اطلاعات کمی در مورد اثرات ترکیبی ارائه شده توسط استفاده همزمان از کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد گیاه و کیفیت آن در گیاهان دارویی وجود دارد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات کودهای آلی و



شکل ۱- اطلاعات اقلیمی (میانگین درجه حرارت ماهانه و بارندگی ماهانه) منطقه اجرای آزمایش بین سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰

Figure 1- Climatic information (Average monthly temperature and monthly rainfall) of the experiment implementation area between 2018 and 2019

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

Soil type	Bulk density (gr/cm ³)	Cation exchange capacity (meq/100g)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	نیتروژن N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (mS/cm)	اسیدیته pH
لوم شنی Sandy-loam	1.55	8.19	241	2.60	0.075	0.28	3.2	7.88

در این مطالعه، ۶ تیمار کودی شامل (۱) شاهد (بدون کاربرد کود)، (۲) ورمی کمپوست (۱۲ تن در هکتار)، (۳) کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۴) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶ تن در هکتار ورمی کمپوست + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۵) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و بیوجار (۶ تن ورمی کمپوست + ۵ تن بیوجار در هکتار) و (۶) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیوجار (۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر + ۵ تن بیوجار در هکتار) در یک قطعه زمین، در طول دو سال زراعی اعمال شد. تمام مقادیر کودهای آلی و مقادیر مورد نظر برای کود فسفر در ابتدای آزمایش به خاک اضافه گردید. برای کودهای نیتروژنه، نصف مقدار در سال اول (۱۳۹۹-۱۳۹۸) در دو قسط (۲۰ و ۳۰ کیلوگرم) و نصف آن در طول سال دوم

در این مطالعه، ۶ تیمار کودی شامل (۱) شاهد (بدون کاربرد کود)، (۲) ورمی کمپوست (۱۲ تن در هکتار)، (۳) کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۴) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶ تن در هکتار ورمی کمپوست + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۵) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و بیوجار (۶ تن ورمی کمپوست + ۵ تن بیوجار در هکتار) و (۶) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیوجار (۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر + ۵ تن بیوجار در هکتار) در یک قطعه زمین، در طول دو سال زراعی اعمال شد. تمام مقادیر کودهای آلی و مقادیر مورد نظر برای کود فسفر در ابتدای آزمایش به خاک اضافه گردید. برای کودهای نیتروژنه، نصف مقدار در سال اول (۱۳۹۹-۱۳۹۸) در دو قسط (۲۰ و ۳۰ کیلوگرم) و نصف آن در طول سال دوم

جدول ۲- ویژگی‌های ورمی کمپوست و بیوجار مورد استفاده

Table 2- Characteristics of vermicompost and biochar used

Type of organic fertilizer	فسفر P (%)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (mS/cm)	اسیدیته pH
ورمی کمپوست Vermicompost	1.00	0.85	14.93	-	1.6	9.35
بیوجار Biochar	0.05	0.3	19.1	32.9	0.001 (1:10)	8.75 (1:10)

۴ نمونه با احتیاط برداشت و خاک اطراف آن‌ها در آب کاملاً شسته شده و ریشه‌ها بدون آسیب دیدگی از منطقه یقه جدا شدند سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک و حجم ریشه به آزمایشگاه منتقل شدند.

عملکرد، ارتفاع، وزن خشک و حجم ریشه

ارتفاع با استفاده از خط‌کش (با دقت میلی‌متر) اندازه‌گیری

طی فصل رشد، آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز به‌طور یکنواخت برای تمام کرت‌ها انجام شد. در اواخر فصل رشد زمانی که گیاه حدوداً به ۵۰ درصد گلدهی رسید، نمونه‌برداری از کرت‌های مختلف صورت گرفته و جهت انجام آزمایشات بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند.

همچنین برای برداشت ریشه به صورت تصادفی از هر کرت

واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 (SAS, Cary, NC, USA) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$, LSD) انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و ارتفاع

زیست‌توده آویشن به طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقیح با میکوریزا و تیمارهای کودی قرار گرفت اما اثر متقابل آن‌ها، اثر سال و اثر متقابل عوامل مورد بررسی در سال معنی‌دار نشد. همه تیمارهای کودی زیست‌توده‌ی گیاه آویشن را به نسبت تیمار شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان زیست‌توده از تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوچار به‌دست آمد (جدول ۳) که باعث افزایش ۵۷ درصدی زیست‌توده نسبت به شاهد شد. از طرف دیگر، تلقیح با میکوریزا، منجر به افزایش زیست‌توده (۱۲/۷۲ درصد) گیاه آویشن شد (جدول ۴).

در مطالعه‌ای که اثر بیوچار و کاربرد توأم آن با کود معدنی و آلی را بر روی گیاه چغندر سوئیسی^۱ مورد ارزیابی قرار دادند، گزارش شد استفاده مشترک از بیوچار و ورمی کمپوست گزینه بهتری برای افزایش عملکرد چغندر سوئیسی و در عین حال حفظ کیفیت غذایی و سلامتی محصول است (Rivelli and Libutti, 2022). همچنین در بررسی دیگری که تأثیر سطوح کودی شامل شاهد، ورمی کمپوست، بیوچار و ورمی کمپوست همراه با بیوچار بر عملکرد گیاهان گندم کشت شده در تیمارهای مختلف آب آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت، نویسندگان ادعا کردند هنگامی که ورمی کمپوست در ترکیب با بیوچار استفاده شد، افزایش بیشتری در رشد و عملکرد ثبت شد و بیوچار اثر مفید ورمی کمپوست بر عملکرد گیاه را برجسته کرد (Hafez et al., 2021).

در نتیجه این می‌تواند بیانگر اثر هم‌افزایی ورمی کمپوست و بیوچار باشد که با نتایج این مطالعه نیز مطابقت دارد. از طرفی اثر مثبت این تیمار می‌تواند به تأثیر آن بر خصوصیات مختلف خاک مرتبط باشد. در همین زمینه، گزارش شد که کاربرد

و اعداد به‌دست‌آمده بر حسب واحد سانتی‌متر گزارش شد. اندام‌های هوایی آویشن برداشت شده، در سایه و در دمای اتاق و ریشه‌های آویشن در آون با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (زیست‌توده‌ی اندام هوایی به عنوان زیست‌توده در نظر گرفته شد). برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب به دست آمد (Böhm and Böhm 1979).

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچن تالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه‌ی گیاه در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ ساییده شد و پس از سانتریفیوژ کردن، جذب آن با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Bio tek, Winooski, VT, USA) در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر در برابر شاهد (استون ۸۰٪) خوانده شد. غلظت رنگیزه‌های گیاهی با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید.

$$\text{Chl a} = (12.25 \times A_{663.2} - 2.79 \times A_{646.8}) \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = (21.50 \times A_{646.8} - 5.10 \times A_{663.2}) \quad (2)$$

$$\text{Chl a+b} = (7.15 \times A_{663.2} + 18.71 \times A_{646.8}) \quad (3)$$

$$\text{Car} = [(1000 \times A_{470} - 1.82 \times \text{Chl a} - 85.02 \times \text{Chl b}) / 198] \quad (4)$$

تعیین جذب نیتروژن و فسفر در گیاه آویشن باغی

برای به‌دست آوردن غلظت نیتروژن برگ از روش کج‌لدال (Bremner, 1960) استفاده شد و همچنین غلظت فسفر برگ بعد از هضم مواد گیاهی توسط اسید سولفوریک براساس روش رننگ سنجی وانادیم مولیبدات (Chapman and Pratt, 1962) تعیین شد. جذب عناصر (N_p) از ضرب زیست‌توده (TB) (g m⁻²) اندام هوایی در غلظت عنصر (N_c) (درصد) حاصل شد (رابطه ۵).

$$\text{NU}_p (\text{g m}^{-2}) = (\text{TB} \times \text{N}_c) / 100 \quad (5)$$

تجزیه‌های آماری

داده‌های حاصل به صورت کرت‌های خرد شده در دو سال مورد ارزیابی توسط تجزیه مرکب تجزیه و آنالیز شدند. تجزیه

¹ Swiss chard

هم‌زیستی آویشن باغی با میکوریزا موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی و تعداد شاخه‌های این گیاه شد (Sasanelli *et al.*, 2009). این موضوع نشان می‌دهد که مایکوریزا به جذب بیشتر آب، مواد غذایی، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و مواد معدنی به گیاه کمک بیشتری کرده (Nautiyal *et al.*, 2010) که در نتیجه استقرار و رشد گیاه و تولید زیست‌توده را نسبت به گیاهان شاهد در شرایط سخت محیطی افزایش می‌دهد (Caravaca *et al.*, 2002).

تلفیقی بیوچار با ۵۰ درصد مقدار کمپوست در تولید گیاه زعفران، با بهبود قابل توجه خصوصیات مختلف خاک، موجب بهبود تولید زیست‌توده و تغذیه در این گیاه شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021).

در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که میکوریزا با فراهم کردن بیشتر میزان فسفر، منگنز و آهن در اندام هوایی گیاه دارویی آویشن باغی موجب افزایش تعداد شاخ و برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه این گیاه شده است (Dolatabadi *et al.*, 2012). در پژوهش دیگری

جدول ۳- اثرات تیمارهای کودی مختلف بر زیست‌توده، ارتفاع، حجم ریشه و وزن خشک ریشه

Table 3- Effects of different fertilizer treatments on Biomass, Plant height, Root volume and Root dry weight

تیمار کودی Fertilizer treatment	زیست توده Biomass (gr/m ²)	ارتفاع Plant high (cm)	وزن خشک ریشه Root dry weight (gr)	حجم ریشه Root volume (cm ³)
شاهد Control	d 16.18 108.34 ±	2.62 c 19.98 ±	d 0.46 2.48 ±	d 0.81 5.72 ±
ورمی کمپوست Vermicompost	20.54 cd 117.94 ±	bc 3.47 22.78 ±	bc 0.58 3.45 ±	c 0.9 6.36 ±
ورمی کمپوست + بیوچار biochar+Vermicompost	a 25.5 169.98 ±	a 4.39 28.72 ±	a 1.01 5.19 ±	a 9.05 ± 1.12
کود شیمیایی Chemical fertilizer	b 21.01 148.33 ±	ab 3.08 25.91 ±	b 0.74 3.84 ±	bc 1.03 7.29 ±
کود شیمیایی + بیوچار Biochar+Chemical fertilizer	c 17.41 131.15 ±	b 3.01 24.84 ±	bc 0.68 3.67 ±	b 0.90 7.68 ±
ورمی کمپوست + کود شیمیایی Chemical +Vermicompost fertilizer	c 18.47 126.17 ±	b 4.40 23.64 ±	c 0.62 3.16 ±	c 1.01 6.99 ±
p-value	<.0001	0.0019	<.0001	<.0001

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار (۰/۰۵) می‌باشند. (LSD; P≤)

For each investigated trait, the averages (± standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; P≤0.05).

جدول ۴- اثر قارچ مایکوریزا بر تولید زیست‌توده، ارتفاع، حجم ریشه و وزن خشک ریشه

Table 4- The effect of mycorrhizal fungi on biomass production, plant height, root volume and root dry weight

مایکوریزا Mycorrhiza	زیست توده Biomass (gr/m ²)	ارتفاع Plant high (cm)	وزن خشک ریشه Root dry weight (gr)	حجم ریشه Root volume (cm ³)
عدم تلقیح Non-inoculated	97 ^b 23.66 ± 125	20 ^b 4.30 ± 23	^b 86.0 19 ± 3	12 ^b 1.64 ± 6
تلقیح Inoculated	^a 10.30 65 ± 141	^a 39.4 32 ± 25	^a 09.1 07 ± 4	49 ^a 1.66 ± 7
p-value	0.0007	0.0111	<.0001	<.0001

برای هر صفت مورد بررسی در هر ستون، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار (۰/۰۵) می‌باشند. (LSD; P≤)

For each investigated trait, the averages (± standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; P≤0.05).

و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر وزن خشک و حجم ریشه اثر معنی‌داری داشتند اما اثر سال و اثر متقابل عوامل مورد بررسی بر این صفات، معنی‌دار نبود. بیشترین مقادیر وزن خشک و حجم ریشه از تیمار مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار و کمترین آن از تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۳). تلقیح با قارچ مایکوریزا نیز باعث افزایش وزن خشک (۲۸ درصد) و حجم ریشه (۱۵ درصد) نسبت به عدم تلقیح شد (جدول ۴).

ورمی‌کمپوست سلامت و ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت و ساختار آن را بهبود می‌بخشد. خواص فیزیکی خاک تا حد زیادی بر نفوذ ریشه‌های گیاه، حجم ریشه و جذب مواد مغذی تأثیرگذار است. در مطالعه‌ای که برای بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر رشد گیاه انجام شد دریافتند که کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش ۵۷ درصدی در زیست‌توده‌ی ریشه می‌گردد (Blouin et al., 2019)، در مطالعه‌ی ما ورمی‌کمپوست و مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار به ترتیب ۳۹ و ۱۰۹ درصد وزن خشک ریشه را افزایش دادند.

ریشه‌های گیاه در بسترهای حاوی بیوچار به خوبی رشد می‌کنند. با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی ریزوسفر، کاهش مقاومت خاک در برابر رشد ریشه مشاهده می‌شود (Altland and Locke, 2013). بیوچار همچنین می‌تواند نفوذپذیری آب خاک را بهبود بخشد و نفوذ ریشه را تسهیل کند و کلونیزاسیون ریشه در حجم بزرگتری از خاک را افزایش دهد (Atkinson et al., 2010). در بررسی که بر تأثیر سطوح کودی شامل شاهد، ورمی‌کمپوست، بیوچار و مخلوط ورمی‌کمپوست با بیوچار در تیمارهای مختلف آب آبیاری انجام شد، بیشترین میزان وزن خشک و تر ریشه‌ی گیاه بادمجان از تیمار مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار در شرایط آبیاری نرمال مشاهده گردید (Ebrahimi et al., 2021). افزایش وزن و حجم ریشه به‌وسیله تلقیح با مایکوریزا نیز توسط محققان متعددی گزارش شده است (Chandrasekaran, 2022; Shao et al., 2018).

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل a و a+b در آویشن به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی، تلقیح با مایکوریزا و سال رشد قرار گرفتند اما برای کلروفیل b هیچ

ارتفاع گیاه آویشن تحت تأثیر تلقیح با مایکوریزا و تیمارهای کودی قرار گرفت اما اثر معنی‌داری برای سایر عوامل و اثر متقابل آن‌ها مشاهده نشد. درحالی‌که تیمارهای کودی مختلف باعث افزایش ارتفاع گیاه آویشن نسبت به شاهد شدند، بیشترین میزان آن از تیمار مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار به‌دست آمد (۳۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) که تفاوت معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی نشان نداد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد گیاهان آویشن تلقیح شده با مایکوریزا از ارتفاع بیشتری نسبت به گیاهان رشد یافته در شرایط عدم تلقیح برخوردار بودند (جدول ۴).

بیوچار و ورمی‌کمپوست می‌توانند مکمل یکدیگر باشند زیرا ورمی‌کمپوست مواد مغذی را فراهم می‌کند و بیوچار ظرفیت تبادل کاتیونی و تثبیت کربن را در دراز مدت افزایش می‌دهد (Fischer and Glaser, 2012; Mukherjee and Lal, 2013). در یک مطالعه با بررسی اثر تغذیه تحت شرایط آبیاری مختلف بر گیاه بادمجان، بیشترین ارتفاع گیاهان را در کرت‌های تیمار شده با مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار در شرایط نرمال آبی مشاهده کردند (Ebrahimi et al., 2021). طول ساقه احتمالاً به دلیل نقش بیوچار و ورمی‌کمپوست در افزایش مواد معدنی به‌خصوص افزایش قابلیت دسترسی فسفر افزایش یافته است که رشد ریشه و جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد (Hussain et al., 2017; Ebrahimi et al., 2021).

اثر ترکیبی فراهمی زیستی مواد معدنی و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و جیبرلین بر رشد ارتفاع گیاه موثر است (Souri and Sooraki, 2019). بیوچار با گروه‌های عاملی فعال، خواص شیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی را بهبود می‌بخشد و دسترسی گیاه به مواد مغذی و در نتیجه رشد بهتر گیاه را موجب می‌شود (Keabetswe et al., 2019).

در یک گزارش حداکثر ارتفاع بوته در گیاه لوبیای فرانسوی^۱ از گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) مشاهده شد (Chauhan et al., 2012).

وزن خشک و حجم ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کودهای مختلف

^۱ *Phaseolus vulgaris*

در مطالعه‌ای مشاهده گردید که کاربرد بیوجار به همراه کود آلی یا معدنی باعث افزایش محتوای کلروفیل در گیاه سویا شد و در نهایت توصیه کردند که کاربرد بیوجار می‌تواند مصرف کودهای آلی و معدنی را کاهش دهد، صفات زراعی سویا را بهبود بخشد و نقش مثبتی در بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک و میکروارگانیزم‌های خاک ایفا کند (Liu et al., 2022). در مطالعه‌ای که تأثیر سطوح کودی شامل شاهد، ورمی کمپوست، بیوجار و ورمی کمپوست همراه با بیوجار در کنار تیمارهای مختلف آب آبیاری را مورد بررسی قرار می‌داد، اظهار داشتند که ورمی کمپوست در ترکیب با بیوجار باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید به نسبت شاهد در گیاه گندم شد (Hafez et al., 2021) که با نتایج ما در این مطالعه مطابقت دارد. در تحقیقی که از سه منبع مختلف کود شامل کود شیمیایی (دی آمونیوم فسفات)، ورمی کمپوست و کود دامی و دو رقم پنبه استفاده شد اظهار داشتند که بالاترین محتوای کلروفیل از تیمار کود شیمیایی حاصل شد (Cevheri et al., 2022) که در مطالعه‌ی ما نیز بعد از تیمار مخلوط کود شیمیایی و بیوجار بالاترین مقدار کلروفیل از تیمار کود شیمیایی به دست آمد.

اختلاف معنی‌داری بین عوامل مورد بررسی مشاهده نشد. محتوای کلروفیل a و a+b در همه‌ی تیمارهای کودی نسبت به شاهد افزایش نشان داد و بیشترین محتوا از تیمار مخلوط کود شیمیایی و بیوجار به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی نداشت (جدول ۵).

محتوای کاروتنوئید نیز تحت تأثیر تیمارهای کودی مختلف و سال قرار گرفت و سایر عوامل مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار بود. همه‌ی تیمارهای کودی باعث افزایش محتوای کاروتنوئید (۱۰ تا ۱۸ درصد) نسبت به شاهد شدند اما بین تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش محتوای کلروفیل a و a+b در گیاه آویشن شد (جدول ۶). همچنین در سال اول محتوای کلروفیل a، a+b و کاروتنوئید بالاتری را نسبت به سال دوم نشان داد (جدول ۷).

در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر تیمارهای کمپوست، بیوجار، کود شیمیایی (NPK) و مخلوط هر یک از آن‌ها بر گیاه ذرت پرداخت، نتایج حاکی از آن است که بیشترین محتوای کلروفیل از تیمار مخلوط کمپوست، بیوجار و کود شیمیایی به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ترکیبی کود شیمیایی و بیوجار نداشت (Naeem et al., 2018).

جدول ۵- اثر تیمارهای کودی مختلف بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

Table 5- Effect of different fertilizer treatments on chlorophyll and carotenoid content

تیمار کودی Fertilizer treatment	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل a+b Chlorophyll a+b	کاروتنوئید Carotenoid
شاهد Control	^c 47.066 ± 1	^c 63.076 ± 2	^b 0.1402 ± 1
ورمی کمپوست Vermicompost	^b 71.041 ± 2	^b 93.064 ± 3	^{ab} 0.21112 ±
ورمی کمپوست + بیوجار biochar+Vermicompost	^b 58.044 ± 2	^b 79.066 ± 3	^a 0.21117 ±
کود شیمیایی Chemical fertilizer	^{ab} 76.079 ± 2	^{ab} 02.106 ± 4	^a 0.27118 ±
کود شیمیایی + بیوجار biochar+Chemical fertilizer	^a 75.019 ± 3	^a 05.153 ± 4	^a 0.28120 ±
ورمی کمپوست + کود شیمیایی chemical fertilizer+Vermicompost	^b 82.051 ± 2	^b 05.169 ± 3	^a 0.24113 ±
p-value	<.0001	0.0004	0.0339

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD; $P \leq 0.05$) می‌باشند.

For each investigated trait, the averages (± standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; $P \leq 0.05$).

جدول ۶- اثر قارچ میکوریزا بر محتوای کلروفیل

Table 6- The effect of mycorrhizal fungi on chlorophyll content

مایکوریزا	کلروفیل a	کلروفیل a+b
Mycorrhiza	Chlorophyll a	Chlorophyll a+b
عدم تلقیح	0.74 b 2.36 ±	0.9 b 3.50 ±
Non-inoculated		
تلقیح	a 0.86 2.64 ±	a 1.13 3.94 ±
Inoculated		
p-value	0.0240	0.0095

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار می‌باشند. (LSD; $P \leq 0.05$)

For each investigated trait, the averages (\pm standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; $P \leq 0.05$).

جدول ۷- اثر سال بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

Table 7- Effect of year on chlorophyll and carotenoid content

سال	کلروفیل a	کلروفیل a+b	کاروتنوئید
Year	Chlorophyll a	Chlorophyll a+b	Carotenoid
۱۳۹۸ - ۱۳۹۹	0.73 a 2.90 ±	0.95 a 4.24 ±	0.18 a 1.29 ±
2019-2020			
۱۳۹۹ - ۱۴۰۰	b 0.68 2.10 ±	b 0.86 3.21 ±	b 0.15 0.98 ±
2020-2021			
p-value	0.0090	0.0210	0.0010

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار می‌باشند. (LSD; $P \leq 0.05$)

For each investigated trait, the averages (\pm standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; $P \leq 0.05$).

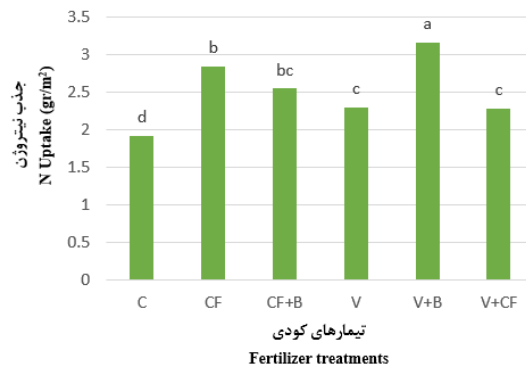
نیترژن را به نسبت تیمار شاهد افزایش داده و بیشترین میزان جذب نیترژن از تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار حاصل شد که جذب نیترژن را به نسبت شاهد ۶۵ درصد افزایش داد (شکل ۲). تلقیح با مایکوریزا نیز باعث افزایش ۱۴ درصدی در میزان جذب نیترژن شد (شکل ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تیمارهای کودی در سال و اثر متقابل تلقیح با مایکوریزا در سال برای جذب فسفر معنی‌دار شد. با توجه به شکل ۴ بیشترین میزان جذب فسفر از تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار در سال دوم رشد حاصل شد که به نسبت تیمار شاهد همان سال، افزایش ۱۱۳ درصدی نشان داد. در سال دوم، همه تیمارهای کودی به جز اعمال ورمی کمپوست، میزان جذب فسفر را افزایش دادند درحالی‌که در سال اول به‌غیر از تیمار ورمی کمپوست، تیمار مخلوط کود شیمیایی و بیوجار نیز اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۳). تلقیح با مایکوریزا در هر دو سال باعث افزایش معنی‌دار در میزان جذب فسفر شد و بالاترین میزان آن از گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا در سال دوم حاصل شد (شکل ۵).

در تحقیقی که با هدف بررسی اثرات مختلف کوددهی (شاهد، ورمی کمپوست، کود شیمیایی و مخلوط کود شیمیایی و ورمی کمپوست) بر ترکیب کاروتنوئیدها و همچنین محتوای کلروفیل در گیاه علف مار^۱ انجام شد نشان داده شد که کاربرد ورمی کمپوست در مقایسه با کود شیمیایی تأثیر ناچیزی بر کلروفیل و کاروتنوئید دارد. با این حال، مخلوط ورمی کمپوست و کود شیمیایی نیز باعث افزایش کلروفیل و کاروتنوئید نسبت به شاهد شد گزارشات متعددی از افزایش کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تلقیح با مایکوریزا نیز مشاهده شده است (Baslam et al., 2013; Ye et al., 2022; Zare-Maivan et al., 2017).

جذب نیترژن و فسفر

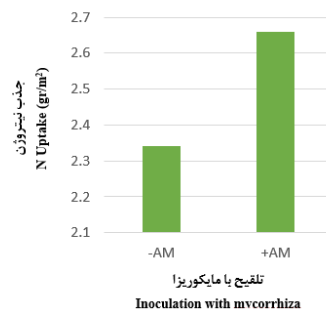
جذب نیترژن تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای کودی و مایکوریزا قرار گرفت و برای سایر عوامل مورد بررسی، اثر معنی‌داری مشاهده نشد. همه تیمارهای کودی میزان جذب

¹ *Clinacanthus nutans* Lindau



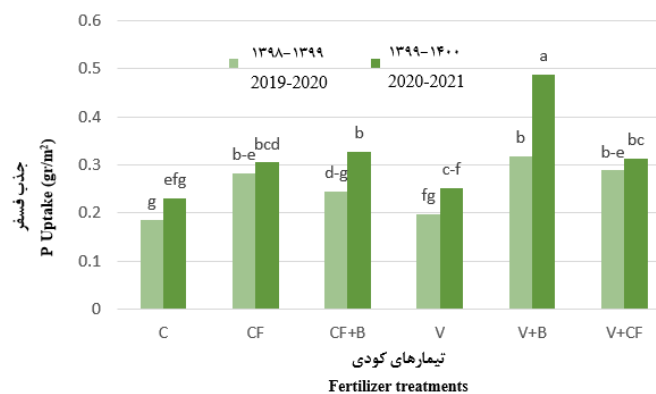
شکل ۲- اثر تیمارهای کودی بر جذب نیتروژن. میانگین‌های (میانگین \pm خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD; P \leq 0.05$) می‌باشند. C: شاهد؛ CF: کود شیمیایی؛ CF+B: مخلوط کود شیمیایی و بیوجار V: ورمی‌کمپوست؛ V+B: مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوجار.

Figure 2- The effect of fertilizer treatments on nitrogen absorption. Means (mean \pm standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ($LSD; P \leq 0.05$). C: Witness; CF: chemical fertilizer; CF+B: mixture of chemical fertilizer and biochar V: vermicompost; V+B: mixture of vermicompost and biochar



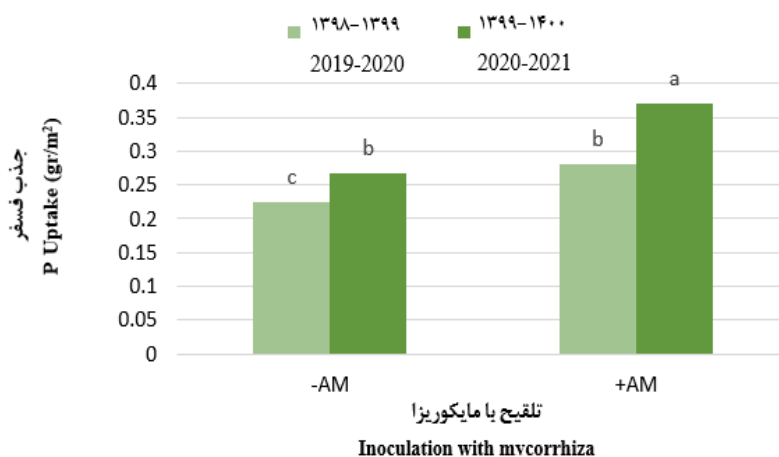
شکل ۳- اثر مایکورریزا بر جذب نیتروژن. میانگین‌های (میانگین \pm خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD; P \leq 0.05$) می‌باشند. C: شاهد؛ CF: کود شیمیایی؛ CF+B: مخلوط کود شیمیایی و بیوجار V: ورمی‌کمپوست؛ V+B: مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوجار.

Figure 3- The effect of mycorrhiza on nitrogen absorption. Means (mean \pm standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ($LSD; P \leq 0.05$). C: Witness; CF: chemical fertilizer; CF+B: mixture of chemical fertilizer and biochar V: vermicompost; V+B: mixture of vermicompost and biochar.



شکل ۴- اثر متقابل تیمارهای کودی و سال بر جذب فسفر. میانگین‌های (میانگین \pm خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD; P \leq 0.05$) می‌باشند. C: شاهد؛ CF: کود شیمیایی؛ CF+B: مخلوط کود شیمیایی و بیوجار V: ورمی‌کمپوست؛ V+B: مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوجار؛ -AM: عدم تلقیح و +AM: تلقیح با قارچ مایکورریزا.

Figure 4- The interaction effect of fertilizer and year treatments on phosphorus absorption. Means (mean \pm standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ($LSD; P \leq 0.05$). C: Witness; CF: chemical fertilizer; CF+B: mixture of chemical fertilizer and biochar V: vermicompost; V+B: mixture of vermicompost and biochar; -AM: no inoculation and +AM: inoculation with mycorrhizal fungi



شکل ۵- اثر متقابل مایکوریزا و سال بر جذب فسفر. میانگین‌های (میانگین \pm خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD; P \leq 0.05$) می‌باشند. -AM: عدم تلقیح و +AM: تلقیح با قارچ مایکوریزا.

Figure 5- Interaction effect of mycorrhiza and sal on phosphorus absorption. Means (mean \pm standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test (LSD; $P \leq 0.05$). -AM: no inoculation and +AM: inoculation with mycorrhizal fungi

به میزان قابل توجهی افزایش دهند. آنها این کار را با افزایش حجم خاک کاوش شده توسط گیاه انجام می‌دهند (Yang *et al.*, 2023). همراهی مایکوریزا با ریشه گیاهان باعث افزایش جذب آب و بهبود جذب مواد مغذی خاک (عمدتاً فسفر) شده، که بر متابولیسم گیاه نیز تأثیر می‌گذارد (Urcoviche *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از آزمایش مزرعه نشان داد، تمامی صفات مورد بررسی به‌غیر از کلروفیل b و کاروتنوئید، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تلقیح با قارچ آربوسکولار میکوریزا قرار گرفت. تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار در صفات زیست‌توده، ارتفاع، وزن و حجم ریشه، کاروتنوئید و جذب نیتروژن و فسفر بالاترین میزان را به خود اختصاص داد. تلفیق کودهای شیمیایی و بیوجار با اثر بر محتوای کلروفیل a+b و از سایر تیمارها متمایز شد.

تیمار شاهد (بدون کود) نیز اکثراً با کمترین میزان تولید از سایر تیمارها تمایز پیدا کرد. به‌طور کلی، تیمارهای کودی بر خصوصیات مورفولوژیکی، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید و جذب عناصر در گیاه آویشن اثرگذار بودند.

سپاس‌گزاری

هزینه اجرای این طرح توسط پژوهشکده فناوری تولیدات

در مطالعه‌ای که برای ارزیابی اثر بیوجار، کمپوست، کود شیمیایی و ترکیب آن‌ها برای بهبود جذب مواد مغذی و بهره‌وری گیاه ذرت انجام شد، مشاهده شد که در حالی که همه‌ی تیمارها به‌جز تیمار بیوجار، غلظت عناصر غذایی را افزایش دادند بیشترین میزان غلظت عناصر غذایی (K و P، N) از تیمار مخلوط کمپوست، بیوجار و کودهای معدنی مشاهده شد (Naeem *et al.*, 2018). استفاده از بیوجار و ورمی کمپوست در شرایط آبیاری نرمال منجر به بالاترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در برگ گیاه بادمجان شد (Ebrahimi *et al.*, 2021).

بیوجار مورد استفاده در آزمایش ما غنی از کربن و مواد آلی بوده و در دمای بالا تولید شده است. نشان داده شده است که تولید بیوجار در چنین دماهای بالا منجر به تغییرات قابل توجهی در ترکیب بیوجار و افزایش سطح مخصوص آن می‌شود (Marra *et al.*, 2018). بیوجار به دلیل سطح مخصوص بالای خود به عنوان یک منبع غذایی و همچنین یک مبدل کاتیونی مناسب عمل می‌کند که منجر به در دسترس بودن مواد مغذی و جذب بیشتر آن‌ها توسط ریشه گیاه می‌شود (Ebrahimi *et al.*, 2021). ورمی کمپوست و کمپوست تأثیر قابل توجهی بر رشد گیاه و جذب مواد مغذی داشتند که با ترکیب با مایکوریزا این تأثیر افزایش یافت (Paymaneh *et al.*, 2023).

قارچ‌های میکوریزا می‌توانند جذب فسفر و عناصر کمیاب را

تعارض منافع

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

گیاهی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران (طرح شماره ۵۶/۰۱/۹) تامین شده است که بدین‌وسیله تقدیر و تشکر می‌شود.

References

- Afshar, R.K., Chaichi, M.R., Assareh, M.H., Hashemi, M. and Liaghat, A., 2014. Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). *Industrial Crops and Products*, 58, pp.166–172. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.043>
- Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N. and Bird, M.I., 2016. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, pp.295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M., Arif, M.S., Hafeez, F., Al-Wabel, M.I. and Shahzad, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, pp.12700–12712. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8904-x>
- Altland, J.E. and Locke, J.C., 2013. Effect of biochar type on macronutrient retention and release from soilless substrate. *HortScience*, 48(11), pp.1397–1402. <https://doi.org/10.21273/hortsci.48.11.1397>
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J. D. and Lucht, C., 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49(4), pp.297–306. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.001>
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*, 337, pp.1–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- Badi, H.N., Yazdani, D., Ali, S.M. and Nazari, F., 2004. Effects of spacing and harvesting time on herbage yield and quality/quantity of oil in thyme, *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*, 19(3), pp.231–236. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.005>
- Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J.I. and Goicoechea, N., 2013. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, pp.3119–3128. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4526-x>
- Bigdeloo, M., Hadian, J. and Nazeri, V., 2017. Composition of essential oil compounds from different populations of *Thymus caramanicus* Jalas. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7, pp.95–98. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.06.005>

- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S. and Mathieu, J., 2019. Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, pp.1–15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Böhm, W. and W. Böhm. 1979. Root parameters and their measurement. *Methods of Studying Root Systems*, pp.125–138. https://doi.org/10.1007/978-3-642-67282-8_12
- Bremner, J.M., 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*, 55(1), pp.11–33. <https://doi.org/10.1017/s0021859600021572>
- Caravaca, F., Barea, J.M. and Roldán, A., 2002. Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* L. seedlings afforested in a degraded semiarid soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(8), pp.1139–1145. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(02\)00047-0](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00047-0)
- Cavagnaro, T.R., 2015. Biologically regulated nutrient supply systems: compost and arbuscular mycorrhizas—a review. *Advances in Agronomy*, 129, pp.293–321. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.09.005>
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M. and Akpinar, C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160(2), pp.236–243. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>
- Cevheri, C.İ., Sakin, E. and Ramazanoglu, E., 2022. Effects of different fertilizers on some soil enzymes activity and chlorophyll contents of two cotton (*G. hirsutum* L.) varieties grown in a saline and non-saline soil. *Journal of Plant Nutrition*, 45(1), pp.95–106. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1949467>
- Chandrasekaran, M., 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: a meta-analysis. *Journal of Fungi*, 8(7), pp.660. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>
- Chapman, H.D. and Pratt, P.F., 1962. Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), pp.68. <https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00015>
- Chauhan, H., Bagyaraj, D.J., Thilagar, G. and Ravi, J.E., 2012. Plant growth response of French bean to arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Soil Biology and Ecology*, 32(1–2), pp.50–56.
- Dolatabadi, H.K., Goltapeh, E.M., Moieni, A. and Varma, A., 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. *African Journal of Biotechnology*, 11(7), pp.1644–1650. <https://doi.org/10.5897/ajb10.1336>
- Ebrahimi, M., Souri, M.K., Mousavi, A. and Sahebani, N., 2021. Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under deficit irrigation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, pp.1–14. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00216-9>
- Estefan, G., 2013. *Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Fischer, D. and Glaser, B., 2012. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. *Management of Organic Waste*, 1, pp.167–198. <https://doi.org/10.5772/31200>

- 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, pp.113447. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113447>
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Erasmus, S.W. and van Ruth, S.M., 2019a. Identification and characterisation of volatile fingerprints of saffron stigmas and petals using PTR-TOF-MS: Influence of nutritional treatments and corm provenance. *Industrial Crops and Products*, 141, pp.111803. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111803>
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Van Ruth, S.M. and Aghighi, S., 2019b. 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>
- Gholami, H., Saharkhiz, M.J., Fard, F.R., Ghani, A. and Nadaf, F., 2018. Humic acid and vermicompost increased bioactive components, antioxidant activity and herb yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14, pp.286–292. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.03.021>
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), pp.812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Hafez, E.M., Omara, A.E.D., Alhumaydhi, F.A. and El-Esawi, M.A., 2021. Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, 172(2), pp.587–602. <https://doi.org/10.1111/ppl.13261>
- Hodge, A., Campbell, C.D. and Fitter, A.H., 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 413(6853), pp.297–299. <https://doi.org/10.1038/35095041>
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A.M., Solaiman, Z.M., Alghamdi, S.S., Ammara, U., Ok, Y.S. and Siddique, K.H.M., 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*, 17, pp.685–716. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1360-2>
- Keabetswe, L., Shao, G.C., Cui, J., Lu, J. and Stimela, T., 2019. A combination of biochar and regulated deficit irrigation improves tomato fruit quality: A comprehensive quality analysis. *Folia Horticulturae*, 31(1), pp.181–193. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0013>
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp.350–382). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Liu, M., Linna, C., Ma, S., Ma, Q., Guo, J., Wang, F. and Wang, L., 2022. Effects of biochar with inorganic and organic fertilizers on agronomic traits and nutrient absorption of soybean and fertility and microbes in purple soil. *Frontiers in Plant Science*, 13, pp.871021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.871021>

- Makkar, C., Singh, J., Parkash, C., Singh, S., Vig, A. P. and Dhaliwal, S.S., 2023. Vermicompost acts as bio-modulator for plants under stress and non-stress conditions. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), pp.2006–2057. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02132-w>
- Marra, R., Vinale, F., Cesarano, G., Lombardi, N., d’Errico, G., Crasto, A., Mazzei, P., Piccolo, A., Incerti, G. and Woo, S.L., 2018. Biochars from olive mill waste have contrasting effects on plants, fungi and phytoparasitic nematodes. *PLoS One*, 13(6), pp.e0198728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198728>
- Mukherjee, A. and Lal, R., 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2), pp.313–339. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020313>
- Munir, M.A.M., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q. and Ullah, H., 2020. Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) in coal-mining contaminated soil. *Chemosphere*, 240, pp.124845. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124845>
- Naeem, M.A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., Khan, W.-D. and Ahmad, N., 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), pp.112–122. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381734>
- Nautiyal, C. S., Chauhan, P. S., DasGupta, S. M., Seem, K., Varma, A. and Staddon, W. J., 2010. Tripartite interactions among *Paenibacillus lentimorbus* NRRL B-30488, *Piriformospora indica* DSM 11827, and *Cicer arietinum* L. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26, pp.1393–1399. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0312-z>
- Pal, J., Adhikari, R.S. and Negi, J.S., 2016. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and green herb yield of *Thymus serpyllum*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, pp.406–410. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.501.040>
- Pandey, V. and Patra, D.D., 2015. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L’Hér. under integrated supply of various organic and chemical fertilizers. *Industrial Crops and Products*, 67, pp.257–263. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.042>
- Paymaneh, Z., Sarcheshmehpour, M., Mohammadi, H. and Hesni, M.A., 2023. Vermicompost and/or compost and arbuscular mycorrhizal fungi are conducive to improving the growth of pistachio seedlings to drought stress. *Applied Soil Ecology*, 182, pp.104717. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104717>
- Prabha, M.L., Jayraaj, I.A., Jayaraj, R. and Rao, D.S., 2007. Effect of vermicompost and compost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology Biotechnology and Environmental Sciences*, 9(2), pp.321.
- Prasanth Reddy, V., Ravi Vital, K., Varsha, P.V. and Satyam, S., 2014. Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Medicinal and Aromatic Plants*, 3(164), pp.412–2167. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000167>
- Praveen, S., Jegan, J., Bhagavathi Pushpa, T., Gokulan, R. and Bulgariu, L., 2022. Biochar for removal of dyes in contaminated water: an overview. *Biochar*, 4(1), pp.10. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00131-8>

- Rivelli, A.R. and Libutti, A., 2022. Effect of biochar and inorganic or organic fertilizer co-application on soil properties, plant growth and nutrient content in Swiss chard. *Agronomy*, 12(9), pp.2089. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092089>
- Sasanelli, N., Anton, A., Takacs, T., D'Addabbo, T., Birò, I. and Malov, X., 2009. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the nematicidal properties of leaf extracts of *Thymus vulgaris* L. *Helminthologia*, 46, pp.230–240. <https://doi.org/10.2478/s11687-009-0043-6>
- Shalaby, A.S. and Razin, A.M., 1992. Dense cultivation and fertilization for higher yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 168(4), pp.243–248. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.1992.tb01005.x>
- Shao, Y.-D., Zhang, D.-J., Hu, X.-C., Wu, Q.-S., Jiang, C.-J., Xia, T.-J., Gao, X.-B. and Kuča, K., 2018. Mycorrhiza-induced changes in root growth and nutrient absorption of tea plants. *Plant, Soil and Environment*, 64(6), pp.283–289. <https://doi.org/10.17221/126/2018-pse>
- Souri, M.K. and Sooraki, F.Y., 2019. Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *Journal of Plant Nutrition*, 42(6), pp.650–656. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1568461>
- Stahl-Biskup, E. and Sáez, F., 2002. *Thyme: the genus Thymus*. CrC press. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.499>
- Tavarini, S., Passera, B., Martini, A., Avio, L., Sbrana, C., Giovannetti, M. and Angelini, L.G., 2018. Plant growth, steviol glycosides and nutrient uptake as affected by arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorous fertilization in *Stevia rebaudiana* Bert. *Industrial Crops and Products*, 111, pp.899–907. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.055>
- Urcoviche, R.C., Gazim, Z.C., Dragunski, D.C., Barcellos, F.G. and Alberton, O., 2015. Plant growth and essential oil content of *Mentha crispa* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of phosphorus. *Industrial Crops and Products*, 67, pp.103–107. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.016>
- Vital, W.M., Teixeira, N.T., Shigihara, R. and Dias, A.F.M., 2002. Organic manuring with pig biossolids with applications of foliar biofertilizers in the cultivation of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Ecossistema*, 27, pp.69–70.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W. and Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300, pp.9–20. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9391-5>
- Yadegari, M., Farahani, G.H.N. and Mosadeghzad, Z., 2012. Biofertilizers effects on quantitative and qualitative yield of Thyme (*Thymus vulgaris*). *African Journal of Agricultural Research*, 7(34), pp.4716–4723.
- Yang, S., Imran, and Ortas, I., 2023. Impact of mycorrhiza on plant nutrition and food security. *Journal of Plant Nutrition*, 46(13), pp.3247–3272. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2192780>
- Ye, Q., Wang, H. and Li, H., 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, photosynthetic activity, and chlorophyll fluorescence of vitis vinifera l. cv. ecolly under drought stress. *Agronomy*, 12(7), pp.1563. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071563>

- Zandvakili, O.R., Ebrahimi, E., Hashemi, M., Barker, A.V. and Akbari, P., 2017. The potential of green manure mixtures to provide nutrients to a subsequent lettuce crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(19), pp.2246–2255. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1408819>
- Zare-Maivan, H., Khanpour-Ardestani, N. and Ghanati, F., 2017. Influence of mycorrhizal fungi on growth, chlorophyll content, and potassium and magnesium uptake in maize. *Journal of Plant Nutrition*, 40(14), pp.2026–2032. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346119>