J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 2, Summer 2023, pp. 41-60. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.14.2.20891 DOR: 20.1001.1.27835014.1402.14.2.3.0

The Effect of Using Different Levels of Vermicompost on The Growth and Morphological and Physiological Characteristics of Medicinal-Ornamental Plant of Mullein (*Verbascum thapsus*) Under Drought Stress Conditions

R. Norouzi Esfahani[1*], Sh. Khaghani[2], M. Gomarian[2], A. Azizi[3] and F. Mortazaeinezhad[4]

(Received: 25 January 2023; Accepted: 3 June 2023)

Abstract

The use of organic fertilizers is one of the appropriate ways to produce medicinal plants due to their proper impact on the various soil properties, maintaining environmental health and better plant growth. This study was conducted to investigate the impact of various vermicompost levels on the growth and the morphological and physiological properties of the medicinal-ornamental plant of the Mullein, under drought stress conditions. The research was carried out in the form of split plots in a complete blocks design with four replicates. Experimental treatments included the use of vermicompost organic fertilizer at three levels of zero, 4, and 8 kg/m^2 (equivalent to zero, 4, and 8 tons per hectare) and drought stress at two levels of normal irrigation (no stress) and irrigation at 50% of soil field capacity (FC). The results showed that the use of vermicompost and drought stress improved the morphological and physiological traits of the medicinal plant of Mullein. The highest height of the stem, the stem flower, the number of leaves, the height of the flower, the dry weight of shoot, and the root length were obtained by the use of vermicompost at 4 and 8 kg/m^2 levels. The use of vermicompost at the rate of 8 kg/m^2 increased chlorophyll and anthocyanin, respectively, by 53.7 and 122% compared to control. It was observed that by applying vermicompost at the levels of 4 and 8 kg/m^2, significant changes in the morphological and physiological traits of the Mullein plant occurred. On the other hand, the combination of vermicompost application and mild drought stress also caused positive changes in the plant traits. Therefore, mild drought stress, and also for improving the vegetative growth and reproductive efficiency of the medicinal-ornamental plant of the Mullein, the use of vermicompost at 4 kg/m^2 (equivalent to 4 tons per hectare) are recommended.

Keywords: Flowering, Organic fertilizer, Stress, Mullein.

Background and Objective: Due to the lack of water resources, it is important to introduce and use native plant species with valuable medicinal properties such as the Mullein (1). The use of organic fertilizers is one

1- Department of Landscape Architecture and Plant Science, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak.
2- Department of Agriculture and Plant Breeding, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak.
3- Department of Chemistry, Faculty of Science, Arak University, Arak.
4- Department of Horticulture, Islamic Azad University of Isfahan Branch Isfahan.
* Corresponding author, Email: reza_norouzi98@yahoo.com

of the appropriate ways to produce medicinal plants due to its proper impact on the various soil properties, maintaining environmental health and better plant growth (2). Drought is one of the environmental stresses that affect the plant growth, structure and activities, and plant response to environmental stresses varies in morphological, cellular, and molecular levels. This study was conducted to investigate the impact of various vermicompost levels on the growth and the morphological and physiological properties of the medicinal-ornamental plant of the Mullein, under drought stress conditions.

Methods: The research was carried out in a research farm in the form of split plots in a complete blocks design with four replicates. Experimental treatments included the application of vermicompost organic fertilizer at three levels of zero, 4, and 8 kg/m^2 (equivalent to zero, 4, and 8 tons per hectare) and drought stress at two levels of normal irrigation (no stress) and irrigation at 50% soil field capacity (FC). Then, the morphological and physiological properties of the Mullein were determined and analyzed.

Results: The results showed that the use of vermicompost fertilizer and drought stress improved the morphological and physiological traits of the medicinal plant. The highest height of the stem, the stem flower, the number of leaves, the height of the flower, the dry weight of shoot, and the root length were obtained by the use of vermicompost at 4 and 8 kg/m^2 levels. The use of vermicompost at the rate of 8 kg/m^2 increased chlorophyll and anthocyanin, respectively, by 53.7 and 122% compared to the control. The production of most secondary metabolites and plant growth increased significantly in the drought stress condition presumably due to osmotic regulation. It was observed that by applying vermicompost at the levels of 4 and 8 kg/m^2, significant changes in the morphological and physiological traits of the Mullein plant occurred. The contents of chlorophyll and anthocyanin pigments increased by 1.67 and 0.25 mg/g, respectively, with the application of vermicompost fertilizer at the rate of 8 kg/m^2 compared to the control.
Therefore, mild drought stress, and also for improving the vegetative growth and reproductive efficiency of the medicinal-ornamental plant of the Mullein, the use of vermicompost at 4 kg/m^2 (equivalent to 4 tons per hectare) are recommended.

Conclusions: Due to improving soil physical and chemical properties and the nutritional conditions, vermicompost was able to increase the plant growth. The combination of vermicompost application and mild drought stress also caused positive changes in the plant traits. Therefore, mild drought stress, and also for improving the vegetative growth and reproductive efficiency of the medicinal-ornamental plant of the Mullein, the use of vermicompost at 4 kg/m^2 (equivalent to 4 tons per hectare) are recommended. These results suggest that the planting of Mullein (*Verbascum thapsus*) provides an opportunity for significant reductions in the water use in urban landscapes.

References:

1. Dong, X., Mkala, E., Mutinda, E., Yang, J., Wanga, V., Oulo, M., Onjolo, V., Hu, G., Wang, Q., 2022. Taxonomy, comparative genomics of *Verbascum Scrophulariaceae*, with implications for the evolution of lamiales. *BMC Genomics* 23: 1–22.
2. Xiaolu, W., 2016. Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in *Dendrobium moniliforme*. *Plant-Microbe-Animal Interactions* 94: 385–393.

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲ / صفحات ۶۰-۴۱ مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.27835014.1402.14.2.3.0 DOI: 10.47176/jspi.14.2.20891 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تأثیر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر رشد و ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی-زینتی بوصیر (*Verbascum thapsus*) در شرایط تنش خشکی

رضا نوروزی اصفهانی*[۱]، شهاب خاقانی[۲]، مسعود گماریان[۲]، امیر عزیزی[۳] و فروغ مرتضایی‌نژاد[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۳)

چکیده

استفاده از کودهای آلی به‌دلیل تأثیر مناسب در اصلاح ویژگی‌های مختلف خاک، حفظ سلامت محیط‌زیست و رشد بهتر گیاه از جمله راه‌کارهای مناسب در تولید ارگانیک گیاهان دارویی است. به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر رشد و ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی-زینتی بوصیر در شرایط تنش خشکی، پژوهشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست در سه سطح صفر، ۴ و ۸ کیلوگرم در مترمربع (معادل صفر، ۴ و ۸ تن در هکتار) و تنش خشکی در دو سطح بدون تنش و تنش ملایم خشکی آبیاری در زمان ۵۰ درصد گنجایش مزرعه‌ای (FC) خاک بود. نتایج نشان داد که کاربرد کود ورمی‌کمپوست و تنش خشکی باعث بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی بوصیر شد. بیش‌ترین ارتفاع ساقه، گل ساقه، تعداد برگ، ارتفاع گل‌آذین، وزن خشک شاخساره، طول ریشه با کاربرد ورمی‌کمپوست در سطوح ۴ و ۸ کیلوگرم در مترمربع به‌دست آمد. کاربرد ورمی‌کمپوست در سطح ۸ کیلوگرم در مترمربع باعث افزایش رنگ‌دانه‌های کلروفیل و آنتوسیانین به‌ترتیب به‌مقدار ۵۳/۷ و ۱۲۲ درصد در مقایسه با شاهد شد. مشاهده شد که با اعمال ورمی‌کمپوست در سطوح ۴ و ۸ کیلوگرم در مترمربع تغییرات معنی‌داری در صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه بوصیر رخ داد. از طرف دیگر ترکیب تیمار ورمی‌کپوست و تنش خشکی ملایم نیز باعث تغییرات مثبت در صفات گیاه شد. بنابراین اعمال تنش ملایم خشکی و از طرف دیگر برای بهبود رشد رویشی و افزایش تولید زایشی گیاه بوصیر، کاربرد ورمی‌کمپوست در سطح ۴ کیلوگرم در مترمربع (معادل ۴ تن در هکتار) پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گیاه بوصیر، کود آلی، تنش، گلدهی.

۱- گروه معماری منظر و علوم گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک
۳- گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک
۴- گروه باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: reza_norouzi98@yahoo.com

مقدمه

امروزه کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در نواحی خشک و نیمه‌خشک است. کاهش رشد گیاهان در اثر تنش خشکی به‌مراتب بیش‌تر از سایر تنش‌های محیطی است (۱۰). تنش خشکی که به‌علت کاهش ذخیره آبی در محیط رشد ریشه رخ می‌دهد، به بسته‌شدن سلول‌های روزنه‌ای و کاهش ورود گاز دی‌اکسید کربن به برگ منجر می‌شود. هدررفت مقدار زیادی آب سبب ازهم‌گسیختگی متابولیسم، ساختار سلولی و توقف آثار کاتالیزوری آنزیم‌ها می‌شود. تنش خشکی شدید ممکن است به جلوگیری از فتوسنتز، سرانجام به مرگ گیاه منجر شود (۱۶). تنش خشکی سبب کاهش رشد گیاه از طریق تغییر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه مانند تغییر فعالیت آنزیم‌ها، نفوذپذیری غشاء سلول، وضعیت آب برگ و نرخ فتوسنتزی گیاه می‌شود (۴۰). گیاهان در مقابله با تنش خشکی سازوکارهای حفاظتی متفاوتی را در پیش می‌گیرند که از آن جمله می‌توان به تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول و سازوکارهای آنزیمی و غیرآنزیمی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی اشاره کرد. قندهای محلول در شرایط تنش خشکی تجمع یافته و به‌عنوان عوامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. در شرایط تنش خشکی، قندها از طریق تنظیم اسمزی و ابقاء فشار آماس و همچنین پایداری غشاءها و پروتئین‌ها از سلول‌ها محافظت می‌کنند. قندها در دوره آب‌زدایی سلول‌ها سبب افزایش تحمل گیاهان به خشکی می‌شوند (۱۰).

برگ‌های گیاه نسبت به سایر اندام‌های گیاهی حساسیت بیش‌تری نسبت به تنش خشکی دارند. کاهش رشد برگ و یا پیری برگ‌ها در شرایط تنش خشکی یکی از مکانیسم‌های سازگاری گیاه در پاسخ به تنش خشکی و کاهش تعرق است. همچنین در شرایط تنش خشکی به‌دلیل فراهم نبودن آب موردنیاز و به‌دنبال آن کاهش جذب عناصر غذایی، رشد برگ کاهش می‌یابد (۱۰). خشکی یکی از تنش‌های محیطی است که بر بیش‌تر مراحل رشد، ساختار و فعالیت‌های گیاهی تأثیر می‌گذارد. پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی در سطوح ریخت‌شناسی، سلولی و مولکولی متفاوت است. توانایی گیاهان برای سازگاری در برابر تنش‌های محیطی به نوع، شدت تنش و مرحله رخداد تنش و همچنین گونه گیاهی بستگی دارد. گیاهان دارای نیاز آبی کم برای رشد و تولید عملکرد مطلوب هستند (۶۰). درصورتی‌که حداقل نیاز آبی فراهم نشود، گیاه با تنش کم‌آبی مواجه می‌شود و در صورت بروز تنش در مراحل رشدی حساس به کمبود آب، آسیب‌های جبران‌ناپذیری به محصول وارد می‌شود. در این زمینه کاهش مصرف آب تا سطحی که عملکرد محصول از آستانه عملکرد اقتصادی کم‌تر نشود، پیشنهاد شده است. اما باید در نظر داشت که کمبود شدید آب می‌تواند آسیب‌های زیادی به رشد و نمو و مواد مؤثره دارویی گیاهان وارد نماید (۶۱). ازاین‌رو یافتن مرحله رشدی که در آن گیاه کم‌ترین آسیب ناشی از بروز تنش را نشان می‌دهد، می‌تواند در مدیریت و کاهش مصرف آب راه‌گشا باشد. شناسایی زمان بحرانی برای گیاه، می‌تواند نقش کلیدی در افزایش کارایی آب مصرفی، بهبود عملیات آبیاری و افزایش توان تحمل گیاه به کمبود آب در کشاورزی داشته باشد (۹).

پژوهش‌های مختلفی به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر گیاهان زینتی و دارویی انجام شده است که بسته به نوع گیاه و شدت تنش، تغییرات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک متفاوتی را می‌توان مشاهده کرد (۵۶). با توجه به بروز خشک‌سالی‌های اخیر، استفاده از گیاهان دارویی-زینتی مقاوم به تنش‌های محیطی از اولویت برخوردارند و استفاده از این گیاهان در طراحی فضای سبز شهری اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (۱۵). پژوهشگران در پژوهشی گیاه ارکیده را به‌مدت ۲۰ روز تحت تنش خشکی (در ۴ سطح) قرار دادند. محتوای آب برگ به میزان قابل توجهی تحت تنش خشکی شدید کاهش یافت. آنزیم کاتالاز کاهش یافت و آنزیم‌های پراکسیداز و مالون دی‌آلدهید پلی‌ساکاریدها، فلاونویید و آلکالویید در ساقه افزایش یافت (۶۰).

زالینگر و همکاران (۶۲) به بررسی تأثیر تنش کم‌آبی با

اعمال دوره‌های آبیاری متفاوت بر ۶ گونه گیاه زینتی چندساله پرداختند. گیاه پنستون با تولید ریشه‌های نازک‌تر در همه سطوح تنش خشکی بهترین مقاومت را نشان داد و برای مقابله با خشکی، نسبت ریشه به شاخساره افزایش یافت و هدایت روزنه‌ای در شرایط کم‌آبی کاهش پیدا کرد. در مقایسه با گیاهان شاهد، وزن خشک شاخه گیاه رعنا زیبا ۵۰ تا ۸۴ درصد و اسطوخودوس ۴۷ تا ۹۹ درصد کاهش پیدا کرد. کیفیت ظاهری ریشه گیاه اکیناشا در تمام تیمارهای آبیاری کم بود و پژمردگی شدید مشاهده شد (۶۲). افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش تنوع زیستی خاک در اثر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی سبب شده است استفاده بیش‌تر از کودهای زیستی مورد توجه قرار گیرد. کودهای زیستی به موادی گفته می‌شود که حاوی تعداد کافی از یک یا چندگونه از ریزجانداران مفید یا فراورده‌های این جانداران هستند که روی مواد نگه‌دارنده مناسبی عرضه می‌شوند (۴۱).

یکی از مهم‌ترین کودهای زیستی، ورمی‌کمپوست است که کاربرد آنها در خاک می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان داشته باشد. ورمی‌کمپوست که از تجزیه بیولوژیک (با استفاده از کرم خاکی) کمپوست به‌وجود می‌آیند، عناصر قابل‌دسترس و مفیدی برای گیاهان دارند. کرم خاکی با خوردن کمپوست و تجزیه آن و دگرگونی که در شکل مواد غذایی ایجاد می‌کنند، فراهمی عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. از طرفی کود کمپوست با توجه به ویژگی‌های خاص خود، غالب مواد تشکیل‌دهنده، مقدار مورد مصرف در خاک، توان بهبود ساختمان خاک و افزایش گنجایش نگهداشت رطوبت، نقشی مشابه با کود دامی در خاک ایفا می‌کند. ورمی‌کمپوست علاوه بر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، دارای عناصر ریزمغذی نیز بوده که برای گیاه ضروری است (۱۷). ویژگی‌هایی که ورمی‌کمپوست را به یک کود آلی بهینه تبدیل می‌کنند، عبارتند از: وجود آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، لیپاز، آمیلاز و سلولاز، غنی‌بودن از ویتامین‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و هورمون‌های رشد، عاری از عوامل بیماری‌زا، افزایش پایداری ساختمان خاک و حفظ رطوبت خاک است (۳۶).

ورمی‌کمپوست از زهکشی مناسب، و گنجایش تهویه‌ای و نگهداشت آب زیاد برخوردار است. همچنین این ماده دارای هومات است که تأثیری مشابه با تنظیم‌کننده‌های رشد بر گیاهان دارد. این کود به دلیل تنوع زیستی (میکروبی) وسیع و فعال آن نسبت به کمپوست‌های تولیدشده در فرایند گرمادهی، به‌عنوان پالاینده و اصلاح‌کننده مهم خاک نیز به‌کار می‌رود (۵). در پژوهشی که بر روی گیاه دارویی بابونه انجام شد، مشاهده شد که با مصرف ورمی‌کمپوست، ارتفاع بوته این گیاه به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت (۱۲). همچنین مشاهده شد که کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش چشم‌گیر تعداد چتر، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گیاه بابونه شده است (۱۲).

لادن مقدم و همکاران (۳۰) با بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر گیاه همیشه‌بهار گزارش کردند که تیمار ۴۰ درصد ورمی‌کمپوست تأثیر مطلوبی بر عملکرد این گیاه دارد. کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری در تمام پارامترهای رویشی (به‌جز نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه) گیاه مرزه تابستانه ایجاد کرد (۵۱). تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد گیاه و در پی آن افزایش تعداد ساقه‌های فرعی گیاه است. تیمارهای کود آلی و زیستی با تأمین تدریجی عناصر غذایی تا حد زیادی باعث افزایش تعداد ساقه‌های فرعی گیاه شدند (۵۱). کاشت بذر گیاهان دارویی همراه با کودهای زیستی سبب افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه شده و در نتیجه فاکتورهای رشد را افزایش خواهند داد. اثر کودهای زیستی بر رشد، عملکرد و محتوای عطرمایه در گیاهان دارویی قابل‌توجه بوده، و خواص دارویی گیاهان را بهبود می‌بخشد (۲۵). در پژوهشی گزارش شده است که استفاده از کودهای آلی و زیستی باعث افزایش معنی‌دار تعداد ساقه فرعی در گیاه نسبت به تیمارهای کود شیمیایی و شاهد شد. استفاده از گیاهان دارویی-زینتی با توجه به کم‌بودن نیاز آبی (تحمل در برابر تنش‌ها)، در فضای سبز شهری پیشنهاد می‌شود (۳۷). ازجمله گیاهانی که دارای این ویژگی است

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Table 1. Results of chemical analysis of the used vermicompost

رسانایی الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) $EC_{1:5}$ (dS/m)	pH	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	نیتروژن کل (٪) Total nitrogen (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم (٪) Potassium (%)
4.74	7.09	18.1	1.75	1.418	0.31

جدول ۲. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2. Results of soil physical and chemical analyses

بافت خاک Soil texture	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Potassium (mg/kg)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg/kg)	کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)	ماده آلی Organic matter (%)	pH_e	رسانایی الکتریکی EC_e (dS/m)
شن لومی Loamy sand	210.08	39.7	38	1.06	7.32	4.48

می‌توان به گیاه بوصیر (*Verbascum thapsus*) اشاره نمود. این گیاه متعلق به جنس Verbascum است که در این جنس تاکنون بیش از ۳۶۰ گونه شناسایی شده است که به‌طور گسترده‌ای در مناطق معتدل آسیا، آفریقا و اروپا پراکنده شده‌اند (۲۳). این جنس گیاهی کمتر مورد بررسی قرار گرفته و با انجام پژوهش-های بیش‌تر گونه‌های بیش‌تری از آن به‌طور منظم در حال شناسایی هستند (۲۵).

گیاه بوصیر ازجمله گیاهان دارویی مطرح و موردتوجه عموم است که از گل‌های آن به‌عنوان داروی ضد سرفه و خلط‌آور و همچنین برای ناراحتی‌های ریوی استفاده می‌شود (۴۴). برای طراحی فضای سبز شهری و با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر استفاده از گیاهان دارویی-زینتی مانند گیاه بوصیر که به تنش‌های محیطی مانند خشکی متحمل هستند دارای اولویت می‌باشند (۳۷). در همین راستا، با توجه به چندساله بودن گیاه بوصیر و نیز تنوع رنگ گل‌ها، پیش‌بینی می‌شود که این گیاه قابلیت استفاده در فضای سبز شهری را به‌عنوان یک گیاه زینتی داشته باشد. تاکنون پژوهشی در مورد تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر رشد گیاه بوصیر و مقدار تغییرات صفات رشدی و زیست-شیمیایی این گیاه مهم زینتی و دارویی در شرایط تنش خشکی انجام نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کود ورمی‌کمپوست بر تعدیل آثار تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه بوصیر بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح تنش شامل بدون تنش و آبیاری در زمان ۵۰ درصد گنجایش مزرعه-ای (FC) که در کرت‌های اصلی و سه سطح کود ورمی‌کمپوست صفر، ۴ و ۸ کیلوگرم در مترمربع (معادل صفر، ۴ و ۸ تن در هکتار) که در کرت‌های فرعی قرار گرفتند، بود. نتایج تجزیه ورمی‌کمپوست و خاک در جداول (۱) و (۲) ارائه گردیده است.

بذور به‌مدت ۵ تا ۷ دقیقه با هیپوکلریت سدیم تجاری ۵ درصد ضدعفونی شده و به‌دفعات با آب مقطر شستشو داده شد. بذور مورد استفاده از مرکز تحقیقات بذر، دانشگاه آزاد اصفهان تهیه گردید و در گلخانه پژوهشی دانشگاه با تراکم ۲۰ بذر در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر در عمق ۳-۲ سانتی‌متری کشت شد. درون تمامی گلدان‌ها به

جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیایی کوکوپیت

Table 3. Results of chemical analysis of cocopeat

رسانایی الکتریکی $EC_{1:4}$ (dS/m)	pH	کلسیم Calcium (mg/L)	منیزیم Magnesium (mg/L)	فسفر Phosphorus (mg/L)	پتاسیم Potassium (mg/L)	منگنز Manganese (mg/L)
0.56	5.8	8	5.2	1.5	191.5	2.4

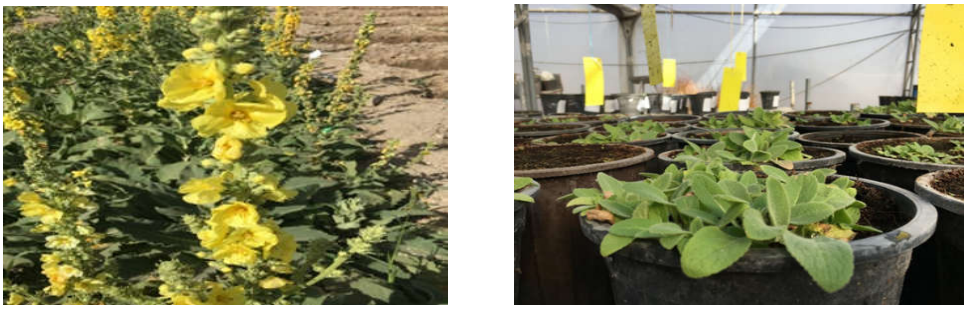
نسبت وزنی ۲ به ۱ خاک با بافت شن لومی و کوکوپیت (جدول ۳) ریخته شد (شکل ۱). برای آبیاری گلدان‌ها از آبی با رسانایی الکتریکی ۰/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. شرایط گلخانه به‌صورت ۱۵ ساعت روشنایی و دمای ۲۹ درجه سلسیوس در روز و ۲۲ درجه سلسیوس در شب و همچنین رطوبت ۷۴ درصد تنظیم شد. در نیمه اسفندماه به‌منظور مقاوم‌سازی گیاهان، گلدان‌ها به‌مدت یک هفته به بیرون از گلخانه انتقال داده شدند و سپس در مرحله پنج‌برگی در مزرعه آزمایشی دانشگاه آزاد واحد اصفهان کشت شد. تا زمان سبزشدن، برای تمامی گلدان‌ها آبیاری به‌صورت روزانه انجام شد و پس از انتقال به مزرعه اولین آبیاری برای تمام تیمارها بلافاصله پس از کاشت اعمال گردید. سپس ۸ عدد از نشاءهای ذکرشده در کرت‌های ۱×۲ متر کاشته شدند. نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های روزانه فراسنجه‌های هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی اصفهان و رابطه (۱) و اندازه‌گیری رطوبت خاک با دستگاه انعکاس‌سنجی امواج[1] (TDR) برآورد شد:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \qquad (1)$$

که در این رابطه: ET_c تبخیر و تعرق (نیاز آبی) گیاه بوصیر (میلی‌متر در روز)، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c ضریب گیاهی بوصیر است. لازم به توضیح است مقادیر ET_0، بر پایه روش استاندارد فائو-پنمن-مانیث برآورد شد. پس از آن آبیاری بر اساس عرف منطقه به روش نشتی انجام شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از حسگرهای دفنی دستگاه TDR استفاده شد. با استفاده از دستگاه TDR سه‌شاخه میزان رطوبت در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در چهار نقطه از هر یک از کرت‌ها اندازه‌گیری شد و زمان آبیاری بر اساس زمان رسیدن به هر یک از تیمارهای تنش خشکی تعیین شد. نیاز آبی تیمار تنش خشکی بر پایه نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش خشکی (۵۰ درصد)، برآورد و توزیع شد (میزان آب ورودی به هر کرت نیز با استفاده از کنتور تعیین شد). در پایان آزمایش به‌منظور اندازه‌گیری صفات، از هر واحد آزمایشی نمونه‌هایی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و پس از ۲۴ ساعت از لایه توسعه ریشه‌ها (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری انجام شد (۵۶).

نمونه‌های گیاهی بلافاصله توزین شده، سپس به درون آون منتقل شده و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند و در نهایت نمونه‌های خشک‌شده دوباره توزین شدند. تعیین طول عمر گل بر پایه مشخصه‌های ظاهری مورد بررسی قرار گرفت، یعنی حالتی از گلبرگ‌ها که نخستین نشانه‌های کاهش آماس و پژمردگی در آن‌ها ظاهر شد و درصد رطوبت محاسبه شد. پس از اعمال تیمارها در نهایت صفاتی مانند ارتفاع ساقه گل‌دهنده، طول ریشه، وزن خشک شاخساره، تعداد گل ساقه اصلی، تعداد گل‌آذین، تعداد برگ، آنتی‌اکسیدان، آنتوسیانین، کلروفیل کل (میزان کلروفیل در برگ‌ها توسط دستگاه SPAD-502-Minolta در برگ‌های به‌طور کامل توسعه‌یافته، اندازه‌گیری شد)، سوپراکسید دیسموتاز با روش کومار و همکاران (۲۸)، پرولین، کاتالاز با استفاده از روش کاکمک و مارسچنر (۱۹)، اندازه‌گیری شد.

ارتفاع ساقه از سطح خاک تا قسمت انتهایی ساقه در زیر گل‌آذین با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. پس از آن ارتفاع گل‌آذین از قسمتی که اولین گل ظاهر شده بود تا نقطه انتهایی اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد گل‌های بازشده روی شاخه اصلی و شاخه فرعی شمارش شد. به‌منظور تعیین محتوای



شکل ۱. جوانه‌زنی بذرهای گیاه بوصیر و مراحل رشد در گلخانه پژوهشی

Fig. 1. Mullein seed germination and growth stages in the research greenhouse

رنگ‌دانه‌های برگ بر اساس روش آرنون (۷)، ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ توزین شده، با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد روی یخ و با هاون چینی سرد مخلوط شده و عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰RPM سانتریفیوژ گردید. سپس میزان کلروفیل و روی سومین برگ جوان پیش از برداشت، با تعیین جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل AA-6500 شرکت Shimadzu ژاپن) در طول‌موج‌های ۶۴۵، ۴۷۰ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کود ورمی‌کمپوست بر صفات ارتفاع ساقه گل‌دهنده، ارتفاع گل‌آذین، وزن خشک، و طول ریشه اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین صفات نشان داد کاربرد کود ورمی‌کمپوست موجب افزایش رشد شاخساره گیاه بوصیر شده که این امر می‌تواند ناشی از افزایش توان جذب عناصر غذایی و افزایش فراهمی آن‌ها در خاک درنتیجه بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک باشد (جداول ۵ و ۶).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر برهم‌کنش تیمار تنش و ورمی‌کمپوست بر گیاه بوصیر نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع ساقه گیاه (۱۲۴/۵ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری در زمان ۵۰ درصد FC و کاربرد ۴ کیلوگرم در مترمربع ورمی‌کمپوست حاصل شد. درحالی‌که، کم‌ترین ارتفاع ساقه (۵۳/۵ سانتی‌متر) در تیمار بدون تنش و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده شد (شکل ۲). نتایج همچنین نشان داد بیش‌ترین تعداد گل ساقه اصلی (۲۷۷ گل) مربوط به تیمار آبیاری در تیمار ۵۰ درصد FC و کاربرد ۴ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع بود. درحالی‌که کم‌ترین تعداد گل در ساقه اصلی (۱۰۰ گل) در تیمار شاهد (بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون تنش) مشاهده شد (شکل ۲). با توجه به زیاد بودن غلظت عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) در ورمی‌کمپوست، رشد رویشی و ارتفاع ساقه تحریک شده است (۳۳). ورمی‌کمپوست با توجه به توان زیاد جذب آب و فراهمی مطلوب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بر شدت فتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاه بوصیر تأثیر مثبت گذاشته و باعث افزایش ارتفاع ساقه گل‌دهنده و متعاقب آن افزایش تعداد گل در بوته می‌شود (۵۰). در شرایط یکسان محیطی، افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاه توسط کودهای مختلف می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه و درنتیجه تعداد گل شاخه فرعی گیاه شود. در پژوهشی مصرف ۹۴ تن در هکتار کود دامی باعث افزایش ارتفاع ساقه گیاه بوصیر شد (۲۱). در پژوهش دیگری نیز افزایش رشد گیاه تحت تأثیر تیمارهای کود مشاهده شده است (۱۶). ورمی‌کمپوست علاوه بر عناصر غذایی، دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکیاست که این مواد، از طریق بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه آهن و روی(۱۶) و اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر برخی صفات مورفولوژیک گیاه بوصیر

Table 4. ANOVA results of the effect of drought stress and vermicompost on some morphological traits of the Mullein

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		ارتفاع ساقه گل‌دهنده Flowering stem height	تعداد گل ساقه اصلی Number of flowers on the main stem	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع گل‌آذین Flower height	وزن خشک Dry weight	طول ریشه Root length
بلوک Block	3	56.94	29.04	15.82	12.04	5.68	3.17
تنش خشکی Drought stress	1	2053.5**	10045.0*	26.04	260.0**	0.56	567.8**
خطا ۱ Error1	3	41.00	523.4	6.38	2.82	9.88	4.44
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	6952.0**	49784.0**	329.3**	90.13**	2006.3**	962.7**
ورمی‌کمپوست × تنش خشکی Vermicompost × Drought stress	2	759.1**	1307.8**	32.79*	30.79	7.22	68.77**
خطا ۲ Error2	12	91.89	144.4	6.10	8.18	5.57	9.70
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		10.69	6.00	8.50	6.38	4.98	11.28

* و ** به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است.

* and ** indicate significant effect at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر برخی از صفات مورفولوژیک گیاه بوصیر

Table 5. Mean comparison of the main effect of drought stress on some morphological traits of the Mullein

سطح تنش Stress level	میانگین صفات Mean of traits					
	اندازه ساقه گل‌دهنده Flowering stem height (cm)	تعداد گل ساقه اصلی Number of flowers on the main stem	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	ارتفاع گل‌آذین Flower height (cm)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g/kg)	طول ریشه Root length (cm)
Normal	80.42 b	179.58 b	28.00 a	41.58 b	47.20 a	22.75 b
Stress	98.92 a	220.50 a	30.08 a	48.17 a	47.50 a	32.48 a

در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, means with different letters are significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.

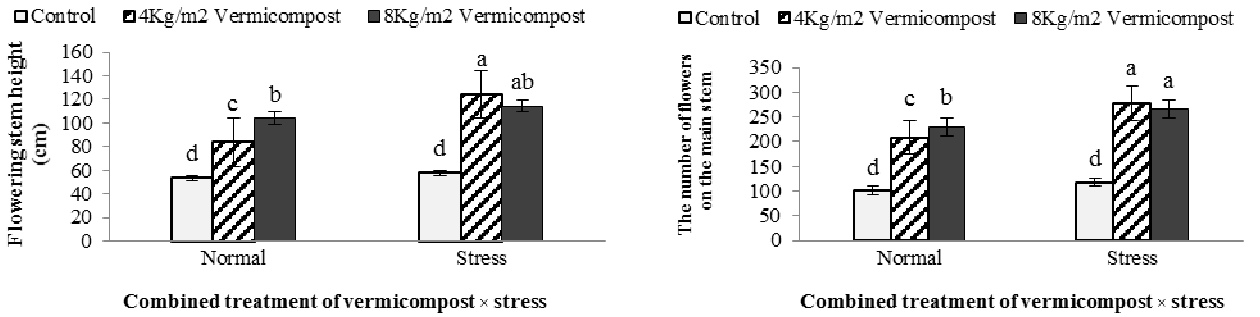
جدول ۶. مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد ورمی‌کمپوست بر برخی از صفات مورفولوژیک گیاه بوصیر

Table 6. Mean comparison of the main effect of vermicompost application on some morphological traits of the Mullein.

ورمی‌کمپوست Vermicompost	میانگین صفات Mean of traits					
	ارتفاع ساقه گل‌دهنده Flowering stem height (cm)	تعداد گل ساقه اصلی Number of flowers on the main stem	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	ارتفاع گل آذین Flower height (cm)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g/kg)	طول ریشه Root length (cm)
Control	55.75 b	109.00 b	22.25 c	45.50 a	29.25 c	15.50 c
4 kg/m^2	104.13 a	243.00 a	35.00 a	41.25 b	58.66 a	30.47 b
8 kg/m^2	109.13 a	248.13 a	29.88 b	47.88 a	54.14 b	36.88 a

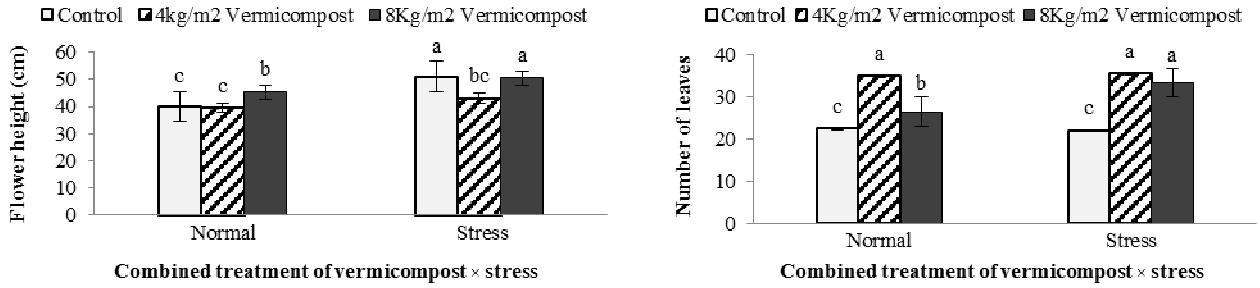
در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, means with different letters are significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر ارتفاع ساقه گل‌دهنده و تعداد گل ساقه اصلی گیاه بوصیر؛ میانگین‌های با حروف یکسان در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. Mean comparison of the interaction effect of vermicompost and drought stress on the height of the flowering stem and the number of flowers on the main stem of the Mullein; Means with the same letters are not significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.

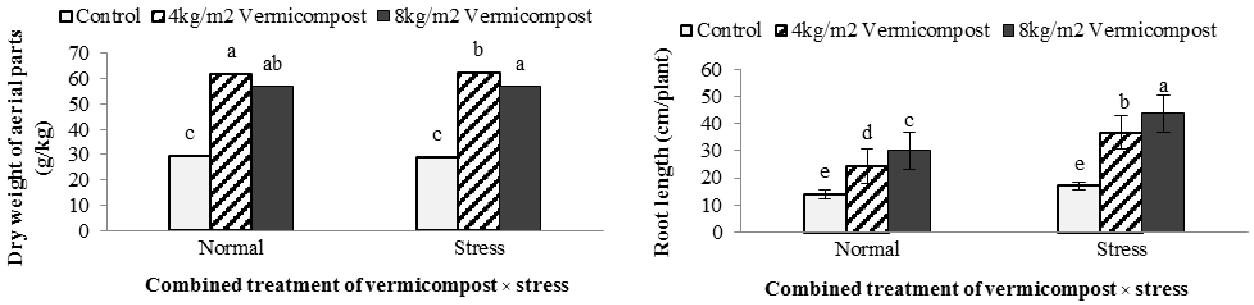


شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر تعداد برگ و ارتفاع گل‌آذین گیاه بوصیر؛ میانگین‌های با حروف یکسان در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. Mean comparison of the interaction effect of vermicompost and drought stress on the number of leaves and the inflorescence height of the Mullein; Means with the same letters are not significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.

می‌شوند (۳۸). در موردی مشابه، در پژوهش حاضر نیز اعمال تنش ملایم و کاربرد ۴ کیلوگرم در مترمربع ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع ساقه و تعداد گل ساقه اصلی گیاه بوصیر شد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیش‌ترین (۳۵) و کم‌ترین (۲۸) تعداد برگ به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰ روز یک‌بار تنش و کاربرد ۴ کیلوگرم در مترمربع ورمی‌کمپوست و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۳). بیش‌ترین ارتفاع گل‌آذین (۵۱/۰ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری در شرایط ۵۰ درصد FC و بدون اعمال ورمی‌کمپوست و کم‌ترین ارتفاع گل‌آذین (۳۹/۵ سانتی‌متر) در تیمار ۴ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع بدون تیمار تنش مشاهده شد (شکل ۳). کودهای آلی با افزایش درصد ماده آلی خاک، باعث افزایش فعالیت ریزجانداران شده و با تأمین عناصر موردنیاز گیاه و افزایش گنجایش نگهداشت آب خاک موجب افزایش عملکرد رویشی گیاه دراسنا می‌شوند. همچنین در پژوهش روی گیاه دراسنا، افزایش سطوح ورمی‌کمپوست سبب افزایش ارتفاع گیاه گزارش شده و موجب افزایش عملکرد بیولوژیک این گیاه شده است (۱). مقدم و همکاران (۳۴) نیز گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش سطح برگ، وزن خشک برگ، ارتفاع و قطر ساقه و تعداد و طول ریشه در لیلیوم شده است. با افزایش میزان عناصر غذایی در خاک، گیاه سریع‌تر سطح برگ



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر وزن خشک شاخساره و طول ریشه گیاه بوصیر؛ میانگین‌های با حروف یکسان در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 4. Mean comparison of the interaction effect of vermicompost and drought stress on the dry weight of the shoot and the root length of the Mullein; Means with the same letters are not significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.

خود را افزایش داده و موجب پوشیده‌شدن زمین توسط تاج گیاه شده و این امر منجر به افزایش سرعت رشد گیاه شده است. از طرف دیگر وجود مقدار کافی از مواد غذایی در مراحل انتهایی رشد، منجر به افزایش عمر برگ‌ها و دوام سطح برگ شده، که این عامل نیز به نوبه خود باعث می‌شود گیاه سطح فتوسنتزکننده خود را به‌مدت طولانی‌تر حفظ نموده و با دریافت نور بیش‌تر، تولید ماده خشک خود را با سرعت زیادتر و در مدت زمان بیش‌تری حفظ نماید. در پژوهش دیگری نتایج نشان داد که تنش خشکی شدید به‌تنهایی درصد خشکیدگی برگ را افزایش داد. خشکیدگی و پژمردگی برگ با افزایش دوره تنش خشکی در ریحان میخکی افزایش یافت. آن‌ها دوره تنش خشکی بدون اعمال تیمار کود آلی را مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در افزایش سوختگی و پژمردگی برگ دانستند. با بررسی اثر تنش خشکی بر ریحان میخکی، راشمی و همکاران مشاهده کردند با افزایش تنش خشکی به‌تنهایی و بدون اعمال تیمار کود آلی، پژمردگی برگ‌ها افزایش یافت. اما تأثیر تنش خشکی و کود آلی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک در چند مورد بررسی شد و از نظر مقدار سطح برگ، نتایجی مشابه با نتایج پژوهش حاضر به‌دست آمد (۴۶).

بیش‌ترین وزن خشک شاخساره (۵۹/۱ گرم) در سطح ۴ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع و بدون تنش خشکی مشاهده شد. کم‌ترین میزان (۲۸ گرم) این صفت در تیمار بدون ورمی‌کمپوست تحت تنش خشکی حاصل شد (شکل ۴). درحالی‌که، بیش‌ترین طول ریشه (۴۳/۸ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری در زمان ۵۰ درصد FC و اعمال ۸ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع حاصل شد. کم‌ترین میزان این صفت (۱۴ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون تنش و بدون ورمی‌کمپوست) مشاهده شد (شکل ۴). به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی علاوه بر اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله افزایش گنجایش رطوبتی خاک، در رنگ‌آمیزی و خواص ظاهری گل‌ها و گیاهان زینتی نیز مؤثر باشند (۱۴). مقدم و همکاران (۳۴) گزارش کردند که بهبود ظرفیت گل‌دهی و خواص ظاهری گل در گیاهان زینتی درنتیجه کاربرد کودهای زیستی به‌دلیل فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف است. آثار نامطلوب خشکی بر رشد گیاهان می‌تواند با توسعه ریشه جبران شده و باعث افزایش جذب آب توسط گیاه شود (۵۶). این فرآیند با گسترش عمقی ریشه‌ها، تغییر توزیع سیستم ریشه‌ای و یا تغییر اندازه آوندهای ریشه صورت می‌گیرد (۵۷). افزایش وزن ریشه تحت تأثیر خشکی توسط جعفرزاده و همکاران (۲۷) در گیاه همیشه‌بهار گزارش شده است. همچنین افزایش رشد ریشه تحت تأثیر تنش خشکی در آفتابگردان گزارش شده است (۵۶). در گیاهان سازگار با شرایط تنش خشکی، حتی اگر طول ساقه گیاه کاهش یابد، مقدار کاهش در اندام زیرزمینی به‌مراتب کم‌تر از شاخساره

گیاه باید باشد تا بتواند با ایجاد تعادل در نسبت ساقه به ریشه، شرایط تنش خشکی را بهتر تحمل کند (۲۱).

همچنین بر اساس گزارش ادوارد و همکاران (۲۲)، ورمی‌کمپوست وزن خشک و نیز عملکرد گیاه لوبیا را افزایش داده و باعث افزایش جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد شد. از طرفی افزایش وزن خشک گیاه با کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش آبی را می‌توان به نقش تعدیل‌کنندگی کودهای آلی نسبت داد. کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست با افزایش میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه و آزادسازی تدریجی آن‌ها باعث افزایش رشد گیاه و میزان زیتوده تولیدی می‌شوند (۲۲). سینگ و همکاران (۵۵) معتقدند که افزایش سطح برگ و وزن خشک برگ در توت‌فرنگی کشت‌شده در ورمی‌کمپوست به‌دلیل وجود اسیدهای هومیک زیاد در ورمی‌کمپوست است. در گیاه فلفل، کاربرد ورمی‌کمپوست در غلظت‌های ۱۵ و ۲۰ درصد موجب افزایش در پارامترهای رشد گیاه در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی و نیز شاهد بدون ورمی‌کمپوست در گلدان‌ها و زمین شد. کاربرد غلظت‌های بیش‌تر کمپوست در این آزمایش، توسط گیاهان جذب نشده و در خاک باقی می‌ماند (۶). اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر رشد گونه‌های گیاهی را می‌توان به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین افزایش فراهمی عناصر غذایی معدنی برای گیاه نسبت داد (۴). پژوهش اندرو و همکاران نشان داد که افزایش سطح نیتروژن در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش رشد گیاه و محتوای کلروفیل شد. اثر مثبت تیمار ورمی‌کمپوست بر محتوای کلروفیل برگ در گیاه تاج‌خروس با ۲ برابر افزایش در ۲۷ روز پس از جوانه‌زنی نیز گزارش شده است (۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کود ورمی‌کمپوست بر صفات آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، کلروفیل کل، پرولین اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار است (جدول ۷).

با توجه به معنی‌دارشدن اثر تیمار ورمی‌کمپوست و تنش خشکی و برهم‌کنش این دو تیمار بر فاکتورهای مورد آزمایش گیاه بوصیر (جداول ۸ و ۹)، بیش‌ترین میزان آنتوسیانین (۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۸ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع بدون اعمال تنش مشاهده شد و کم‌ترین میزان آنتوسیانین (۰/۰۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شاهد بدون تنش مشاهده شد (شکل ۵). بیش‌ترین میزان آنتی‌اکسیدان (۷۶/۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمارهای ۴ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع بدون اعمال تنش خشکی مشاهده شد. درحالی‌که کم‌ترین میزان آن (۱۵/۰ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شاهد (بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون تنش خشکی) مشاهده شد (شکل ۵).

بیش‌ترین میزان سوپراکسید دیسموتاز (۵۸/۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست به همراه تنش خشکی و کم‌ترین میزان آن (۲۷/۶ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار کاربرد ۸ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع و بدون تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۶). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین آنزیمی است که در چرخه آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود که در شرایط تنش افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش آبی در گیاهان مختلف گزارش شده است (۵۱). یافته‌های آزمایش حاضر در مورد افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با افزایش تنش خشکی، با نتایج رحمانی و همکاران (۴۵) روی گیاه خردل وحشی هم‌خوانی دارد. کومار و همکاران (۲۹) گزارش کردند که محتوای کلروفیل برگ با کاربرد ٪۲۰ ورمی‌کمپوست افزایش یافت. مشابه این نتایج، مانی و همکاران (۳۳) گزارش کردند که افزایش سطح نیتروژن درنتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش رشد گیاه و محتوای کلروفیل شد. اثر مثبت تیمار ورمی‌کمپوست بر محتوای کلروفیل برگ در گیاه تاج‌خروس با افزایش کلروفیل در ۲۷ روز پس از جوانه زنی نیز گزارش شده است (۳۸).

کاربرد ورمی‌کمپوست با غلظت‌های متفاوت روی گیاهان ماش سبز و *Centella asiatica* موجب افزایش رشد، زیتوده و محتوای کلروفیل این گیاهان شد. از طرفی، حداکثر پاسخ گیاه در غلظت بیست درصد ورمی‌کمپوست موجود در خاک

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس آثار تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه بوصیر

Table 7. ANOVA results of the effects of drought stress and vermicompost on some physiological traits of the Mullein

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square					
		آنتوسیانین Anthocyanin (mg/g)	آنتی‌اکسیدان Antioxidant (mg/g)	سوپراکسیددیسموتاز Superoxide dismutase (mg/g)	کاتالاز Catalase (mg/g)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g)	پرولین Proline (mg/g)
بلوک Block	2	0.00002**	0.00009**	0.00009**	0.00002**	0.00001	0.05
تنش خشکی Drought stress	1	0.004**	400.7**	829.05**	0.07**	0.013**	6681.3**
خطا ۱ Error1	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00005	0.06
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	0.02**	3861.05**	591.2**	0.07**	0.55**	9945.5**
ورمی‌کمپوست × تنش خشکی Vermicompost × Drought stress	2	0.006**	207.5**	15.78**	0.009**	0.024**	454.65**
خطا ۲ Error2	8	0.00001	0.00004	0.00004	0.00001	0.00003	0.39
CV (%)		0.06	0.015	0.02	1.17	1.17	0.54

* و ** به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است.

* and ** indicate significant effect at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین آثار اصلی تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه بوصیر

Table 8. Mean comparison of the main effects of drought stress on some physiological traits of the Mullein

Stress level سطح تنش	میانگین صفات Mean of traits					
	آنتوسیانین Anthocyanin (mg/g)	آنتی‌اکسیدان Antioxidant (mg/g)	سوپراکسیددیسموتاز Superoxide dismutase (mg/g)	کاتالاز Catalase (mg/g)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g)	پرولین Proline (mg/g)
Normal	0.15 a	47.60 a	34.52 b	0.22 b	1.43 a	96.45 b
Stress	0.12 b	38.52 b	48.09 a	0.35 a	1.37 b	134.98 a

در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, means with different letters are significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.

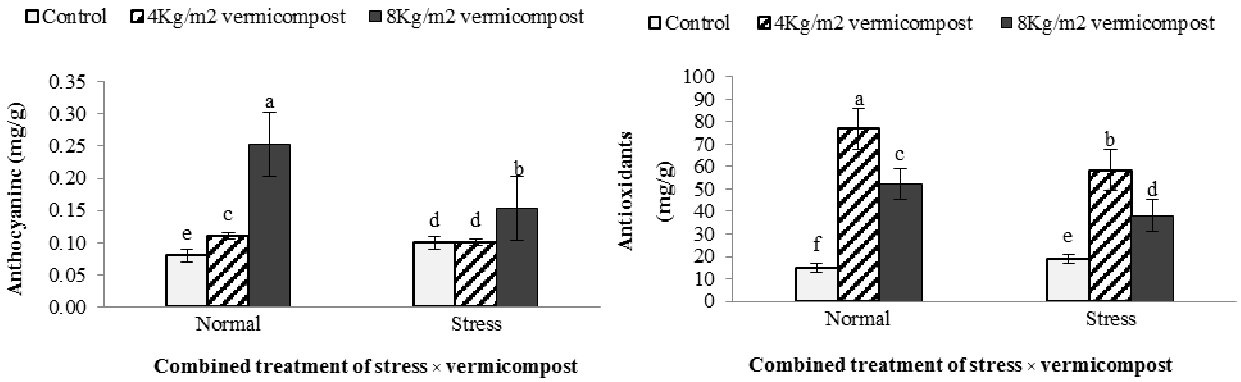
جدول ۹. مقایسه میانگین آثار اصلی کاربرد ورمی‌کمپوست بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه بوصیر

Table 9. Mean comparison of the main effects of vermicompost application on some physiological traits of the Mullein

ورمی‌کمپوست Vermicompost	میانگین صفات Mean of traits					
	آنتوسیانین Anthocyanin (mg/g)	آنتی‌اکسیدان Antioxidant (mg/g)	سوپراکسیددیسموتاز Superoxide dismutase (mg/g)	کاتالاز Catalase (mg/g)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g)	پرولین Proline (mg/g)
Control	0.09 c	16.97 c	52.57 a	0.41 a	1.06 c	161.79 a
4 kg/m^2	0.11 b	67.60 a	37.53 b	0.24 b	1.52 b	100.76 b
8 kg/m^2	0.20 a	45.15 b	33.82 c	0.20 c	1.63 a	84.60 c

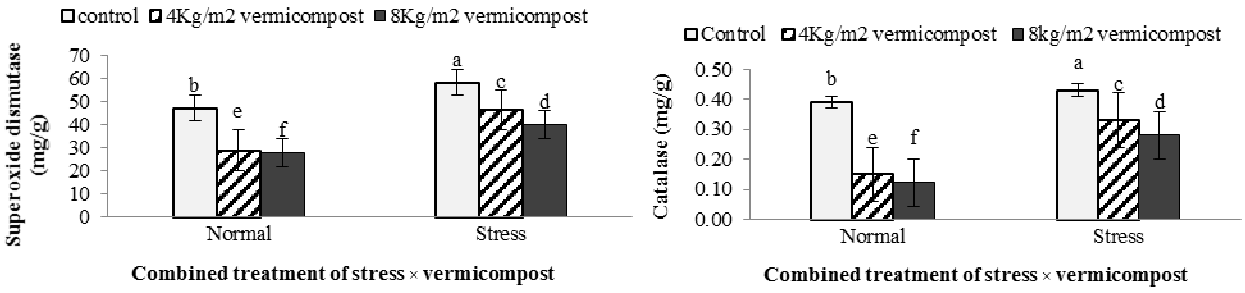
در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, means with different letters are significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.



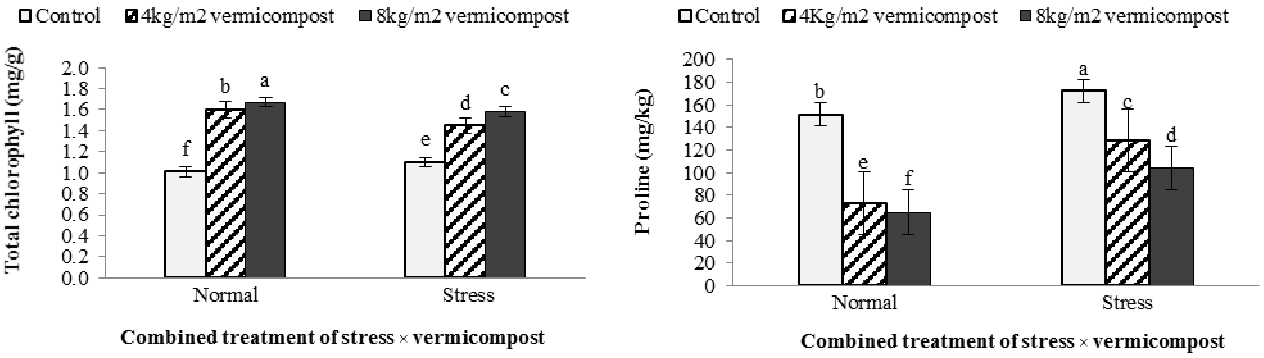
شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدان گیاه بوصیر؛ میانگین‌های با حروف یکسان در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 5. Mean comparison of the interaction effect of vermicompost and drought stress on the anthocyanin and the antioxidant of the Mullein; Means with the same letters are not significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز گیاه بوصیر؛ میانگین‌های با حروف متفاوت در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار دارند.

Fig. 6. Mean comparison of the interaction effect of vermicompost and drought stress on superoxide dismutase and catalase of the Mullein; Means with different letters are significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر کلروفیل کل و پرولین گیاه بوصیر؛ میانگین‌های با حروف متفاوت در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار دارند.

Fig. 7. Mean comparison of the interaction effect of vermicompost and drought stress on the total chlorophyll and proline of the Mullein; Means with different letters are significantly different at the 5% level based on the Duncan's test.

به‌دست آمد ولی غلظت بیش‌تر آن تأثیری نداشت (۴۴). در توضیح این مسئله باید گفت که افزایش تنش خشکی سبب افزایش گونه‌های آزاد اکسیژن می‌شود. درنتیجه افزایش این متالوآنزیم‌ها، رادیکال‌های سمّی را که دائماً به‌عنوان محصولات هوازی شکل می‌گیرد، جمع‌آوری می‌کند. از این آنزیم می‌توان برای تعیین گونه‌های مقاوم به خشکی استفاده نمود (۴۵). بیش‌ترین میزان کاتالاز (۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم) در سطح شاهد تحت تنش خشکی مشاهده شد و کم‌ترین میزان آن (۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۸ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع بدون اعمال تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۶).

کاتالاز آنزیمی است که در تمامی جانداران ازجمله سلول‌های گیاهی یافت شده و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ایفای نقش می‌کند (۵۲). این آنزیم نقش مهمی در حذف اکسیژن تولیدشده به‌وسیله فرآیندهایی هم‌چون بتا–اکسیداسیون اسیدهای چرب، اکسیداسیون در حین تنفس نوری و انتقال الکترون در زنجیره تنفسی میتوکندری‌ها ایفا می‌کند (۸). نتایج به‌دست‌آمده از بررسی پیش‌رو، با نتایج آزمایش رحمانی و همکاران (۴۵) روی گیاه خردل مشابه است. در این پژوهش نیز با افزایش تنش خشکی، فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی به‌دلیل ضروری‌بودن این آنزیم‌ها برای زنده‌ماندن سلول‌ها و ادامه حیات اندام‌ها، ضروری است (۲۵).

بیش‌ترین میزان کلروفیل کل (۱/۶۷ میلی‌گرم بر گرم) در اثر کاربرد ۸ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع و بدون تنش خشکی مشاهده شد. درحالی‌که، کم‌ترین میزان آن (۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۷). بیش‌ترین میزان پرولین (۱۷۲/۲ میلی‌گرم بر گرم) بدون استفاده از ورمی‌کمپوست و با اعمال تنش خشکی ۱۰ روز یک‌بار مشاهده شد. درحالی‌که، کم‌ترین میزان آن (۶۴/۹ میلی‌گرم بر گرم) در سطح ۸ کیلوگرم ورمی‌کمپوست در مترمربع و بدون اعمال تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۷). احمدی و بیکر (۱۱) بیان کردند که محدودکننده اصلی فتوسنتز در گیاه در شرایط تنش خشکی، هدایت مزوفیلی است، و اولین تأثیر منفی تنش خشکی در کاهش شدت فتوسنتز و تولید کلروفیل مشاهده می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که کاهش شدت فتوسنتز در اثر کمبود آب تحت تأثیر هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی است (۴۶ و ۵۸). محتوای کلروفیل برگ به‌عنوان یک عامل مهم در تعیین توان فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود و کاهش محتوای کلروفیل به‌عنوان عاملی غیرروزنه‌ای می‌تواند منجر به کاهش توان فتوسنتزی برگ شود (۲۷).

درواقع، توانایی حفظ کلروفیل گیاه تحت تنش خشکی می‌تواند سبب بهبود وضعیت رویش گیاهچه نیز شود (۱۲).

تجمع اسمولیت‌هایی همچون پرولین، یکی از شناخته‌شده‌ترین مکانیسم‌های افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاهان است. گزارش شده است که گیاهی با دسترسی مناسب به آب کافی، اسید آمینه پرولین آزاد بسیار کمی تولید می‌کند. به همین دلیل پرولین در گیاهانی که تحت تنش‌های شدید قرار می‌گیرند، بیش‌تر تولید می‌شود (۴۱) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. پژوهش‌های متعدد پرولین را به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان معرفی کرده‌اند، که موجب افزایش بیان ژن پروتئین‌های مرتبط با افزایش تحمل به تنش در گیاهان می‌شود (۳۶). در پژوهشی گزارش شده است که تنش شدید موجب توقف فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان می‌شوند، اما فعالیت این آنزیم‌ها در حضور پرولین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از زمانی بود که پرولین کم‌تری وجود داشت. افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی توسط پرولین، گیاهان را در برابر خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از تنش محافظت می‌نماید. نتایج لطفی و همکاران (۳۱) روی گیاه ترخون، رضوی‌زاده و همکاران (۴۷) و نورزاد و همکاران (۴۲) در گشنیز در تأییدکننده یافته‌های پژوهش حاضر است. کاربرد کودهای آلی بر تولید رنگ‌دانه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارد. این امر به‌دلیل فراهمی عناصر معدنی و قابلیت جذب بیش‌تر نیتروژن از محیط خاک و افزایش تولید پروتئین در بافت‌های گیاهی می‌تواند باشد که بر غلظت و محتوای رنگ‌دانه گیاهی تاثیر دارد (۵۵). به طور کلی نیتروژن عامل مهمی در افزایش غلظت کلروفیل در گیاه است (۱۷).

نتیجه‌گیری

باوجود اهمیت بوصیر به‌عنوان گیاهی با کاربرد زینتی و دارویی، این گیاه کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان گفت که کاربرد کود ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی سبب بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی بوصیر در مقایسه با شاهد شد. ورمی‌کمپوست از طریق توانایی زیاد در جذب و نگهداشت آب و بهبود فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بر فتوسنتز گیاه اثر مثبت داشته و موجب بهبود رشد و ارتفاع بوته شد. اما به‌طور کلی نقش حفاظتی و تعدیل‌کنندگی کاربرد ورمی‌کمپوست بر تنش خشکی را می‌توان، به تأثیر مثبت آن در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان و تنظیم اسمزی تحت تنش آبی نسبت داد و مهم‌تر آن‌که کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست به‌جای کودهای شیمیایی، باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در آینده باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان اظهار داشت که کاربرد ورمی‌کمپوست در سطح ۴ کیلوگرم در مترمربع خاک (معادل ۴ تن در هکتار) برای بهبود رشد رویشی و افزایش رشد زایشی گیاه بوصیر، مناسب است. می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد کود آلی در سطح ۴ کیلوگرم (معادل ۴ تن در هکتار) در مترمربع خاک در شرایط تنش خشکی برای بهبود رشد رویشی و افزایش رشد زایشی گیاه بوصیر و کاهش هزینه‌های تولید پیشنهاد می‌شود. با به‌کارگیری ورمی‌کمپوست می‌توان تا حدی از بروز آثار سوء تنش خشکی بر عملکرد تولیدی این گیاه کاست. بنابراین با معرفی‌کردن گیاه دارویی-زینتی بوصیر به‌عنوان گیاهی مقاوم به تنش خشکی برای کاشت در فضای سبز علاوه بر بهره‌مندی از تنوع رنگی گل‌ها و تأمین اهداف موردنیاز در زیباسازی فضای سبز شهری، می‌توان به بهبود مدیریت مصرف آب نیز کمک کرد.

تشکر و سپاسگزاری

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

تضاد منافع

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

منابع مورد استفاده

1. Alidoust, M., Mohammadi Torkashvand, A., Mahboub Khomami, A., 2012. The effect of growth medium of peanut shells compost and nutrient solution on the growth of Dracaena. *Annals of Biological Research* 3(2): 789–794.
2. Allardice, R., Kapp, C., Botha, A., Valentine, A., 2015. Optimizing vermicompost concentrations for the nutrition and production of the legume (*Lupinus angustifolius*). *Compost Science & Utilization* 23(4): 217–236.
3. Andreev, N., Ronteltap, M., Lens, P., 2016. Lacto-fermented mix of faeces and bio-waste supplemented by biochar improves the growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 232: 263–272.
4. Arancon, N., Edvards, C., Bierman, P., Welch, C., Metzger, J., 2004. Effect of vermicompost produced from food wasters on the growth and yield of greenhouse peppers. *Bioresource Technology* 93(2): 139–143.
5. Aremu, A., Masondo, N., Van Staden, J., 2014. Physiological and phytochemical responses of three nutrient-stressed bulbous plants subjected to vermicompost leachate treatment. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 721–731.
6. Arnon, A., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23(1): 112–121.
7. Arzamjo, A., Heydari, M., Ghorbani, A., 2009. The effect of water stress and three sources of fertilizer on flower yield, physiological parameters and absorption of nutrients in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Aromatic medicine. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 4(4): 82–94.
8. Asghari, M., Yousefirad, M., Masoumi Zavarian, A., 2015. Investigating the effects of compost and vermicompost organic fertilizers on the quantitative and qualitative traits of *Aloysia citrodora* medicinal plant. *Quarterly Journal of Medicinal Plants* 15(2): 71–63. (In Persian with English abstract)
9. Aliabadi Farahani, H., Vahadabadi, S., 2008. The role of arbuscular mycorrhizal fungi on coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Soil Research* 24(1): 69–80. (In Persian with English abstract)
10. Azizi, M., Razavi, F., Khayat, M., Lakzian, A., Nemati, H., 2016. Investigating the effect of different levels of vermicompost and irrigation on the morphological characteristics and the amount of *Matricaria recutita* essential oil. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 24(1): 82–93. (In Persian with English abstract)
11. Ahmadi, A., Baker, D.A., 2001. The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Journal of Plant Growth Regulation* 35(1): 81–91.
12. Aebi, H., 1984. Methods of Enzymatic Analysis 3. Verlag Chemie Academic Press Inc, Weinheim, Germany, pp. 273–277.
13. Bharti, N., Barnawal, D., Shukla, S., 2016. Integrated application of *Exiguobacterium oxidotolerans*, vermicompost improves growth, yield and quality of *Mentha arvensis* in salt-stressed soils. *Industrial Crops and Products* 83: 717–728.
14. Bates, L., Waldren, R., Tevre, I., 1973. Rapid determination of free proline for water- stress studies. *Plant and Soil* 39: 205–207.
15. Bastami, A., Majidian, M., 2016. Comparison between mycorrhizal fungi phosphate biofertilizer and manure application on growth parameters and dry weight of coriander (*Coriandrum sativum* L.) medicinal plant. *Journal of Soil and Plant Interactions* 7(2): 23–33. (In Persian with English abstract)
16. Bartles, D., Sunkar, R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Plant Science* 24: 23–58.
17. Chamani, E., Joyce, A., 2008. Vermi-compost effects on the growth and flowering of *Petunia hybrida*. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 3: 506–512.
18. Chen, Y., De-Nobili, M., Aviad, M., 2004. Soil organic matter in sustainable agriculture. In: MacCarthy, P., Malcom, R.E., Clapp, C.E., Bloom, P.R. (Eds.), Humic Substances in Soil and Crop Science: Selected Readings. Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 103–29.
19. Cakmak, I., Marschner, H., 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology* 98(4): 1222–1227.
20. Darzi, M., Qalavand, A., Rejali, F., 2017. The effect of using biological fertilizers on the absorption of K, P, N, elements and grain yield in the medicinal plant fennel. *Medicinal and Aromatic Plants Research* 19(2): 25–38. (In Persian with English abstract)
21. Dong, X., Mkala, E., Mutinda, E., Yang, J., Wanga, V., Oulo, M., Onjolo, V., Hu, G., Wang, Q., 2022. Taxonomy, comparative genomics of (*Verbascum Scrophulariaceae*), with implications for the evolution of lamiales, *BMC Genomics* 23(3): 1–22.
22. Edwards, C., Arancon, N., Vasko-Bennett, M., Askar,A., Keeney, G., 2010. Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymna vittatum*) on cucumbers and tobacco hornworm (*Manduca sexta* L.) on tomatoes. *Pedobiologia* 53(2): 141–148.
23. Falahi, J., Ebadi, T., Thevictim, R., 2008. Effect of salinity and osmotic stresses on germination properties of (*Salvia officinalis*). *Environmental Stresses in Crop Sciences* 1(4): 67–57.

24. Ghahremaninejad, F. Riahi, M. Babaei, M. Attar, F. Behçet, L., Sonboli, A., 2015. Monophyly of *Verbascum scrophulariaceae* evidence from nuclear and plastid phylogenetic analyses. *Australian Journal of Botany* 62(8): 638–46.
25. Giannopolitis, C., Ries, S., 1997. Superoxid dismutase. I. occurrence in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 59(2): 309–314.
26. Jeyabal, A., Kupposwamy, G., 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. *European Journal of Agronomy* 15(3): 153–70.
27. Jafarzadeh, E., Omidi, H., Bostani,A., 2014. The study of drought stress and bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of *Calendula officinalis* L. *Journal of Plant Research* 27(2): 180–193. (In Persian)
28. KhorramDel, S., Kochi, A., Nasiri Mahalati, M., Ghorbani, R., 2016. The effect of using biological fertilizers on wheat growth indicators. *Iranian Journal of Agricultural Research* 6(2): 285–296.
29. Kumar, R., Shamet, G., Alam, N., Jana, C., 2016. Influence of growing medium and seed size on germination and seedling growth of (*Pinus gerardiana*) wall. *Compost Science & Utilization* 24(2): 98–104.
30. Laden Moghadam, A., Babaei, A., Orqihardbeili, Z., Saidi, F., 2012. Effect of different levels of vermicompost on quantitative and qualitative indicators of *Calendula officinalis* plant. Proceedings of the 2th National Congress of Organic Agriculture, Ardabil, Iran, August 25, pp. 26–33.
31. Lotfi, M., Abbaszadeh, B., Mirza, M., 2013. Effect of drought stress on morphological traits, proline, soluble sugars and yield of *Artemisia drucunculus* L. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants* 30(2): 19–29.
32. Majnoun Hosseini, N., Siddique, K., Palta, J., Berger, J., 2009. Sowing soil water content effects on chickpea (*Cicer arietinum* L.): Seedling emergence and early growth interaction with genotype and seed size. *Agricultural Water Management* 96(12): 1728–1736.
33. Mani, D., Kumar, C., Patel, N., 2016. Integrated micro-biochemical approach for phytoremediation of cadmium and lead contaminated soils using *Gladiolus grandiflorus* L. cut flower. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 124: 435–446.
34. Moghadam, A., Oraghi, Z., Saidi, F., 2012. Vermicompost induced changes in growth and development of *Lilium asiatic* hybrid Navona. *African Journal of Agricultural Research* 7(17): 2609–2621.
35. Mohammadi, Z., Azadi, P., Ghanbari Jahormi, M., Ghalibi, S., 2018. Evaluation of water stress resistance in *Verbascum thapsus* and introducing it as an ornamental plant in urban green spaces. *Journal of Plant Production Research* 26(2): 227–243. (In Persian with English abstract)
36. Morales-Corts, M., Gómez-Sánchez, M., Pérez-Sánchez, R., 2014. Evaluation of green pruning wastes compost and vermicompost, slumgum compost and their mixes as growing media for horticultural production. *Scientia Horticulturae* 172(2): 155–160.
37. Norouzi Esfahani, R., Khaghani, S., Mortezainejad, F., Gomarian, M., Azizi, A. 2023. Evaluation of foliar spraying of salicylic acid and water deficit stress on *Verbascum songaricum* medicinal plant. *Biannual Journal of Plant Production Technology* 14(1): 210–220.
38. Norouzi Esfahani, R., Khaghani, S., 2023. Ornamental Plant in Landscape. Azad University Press, Iran, 379 p.
39. Norouzi Esfahani, R., Khaqani, Sh., Mortezae Nejad, F., Azizi, A., Gemarian, M., 2023. Evaluation of the effect of laser and water stress on verbascum medicinal plant. *International Conference on Medicinal Plant Biology* 340–353. (In Persian with English abstract)
40. Narkhede, S., Attarde, S., Ingle, S., 2011. Study on the effect of chemical fertilizer and vermicompost on growth of (*Capsicum annum*). *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* 6(3): 327–332.
Nirmala, C., Vijaya, T., Chandra, T., Kalla, M., Ramesh, K., 2009. The effects of vermicompost on growth and yield of *Vigna radiata* and *Centella asiatica* two important medicinal plants. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture* 4(2): 160–164.
41. Noorzad, S., Ahmadian, A., Moghadam, M., 2015. Proline, total chlorophyll, carbohydrate amount and nutrients uptake in coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress and fertilizers application. *Iranian Journal of Field Crops Research* 1(3): 131–139. (In Persian with English abstract)
42. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34(11): 1527–36.
43. Peters, J., Verhoest, N., Samson, C., Meirvenne, M., Cockx, L., Baets, B., 2009. Uncertainty propagation in vegetation distribution models based on ensemble classification. *Ecological Modelling* 220(6): 791–804.
44. Rahmani, M., Habibi, A., Shirani Rad, J., Daneshian, A., Valad Abadi, M., Mashhadiakbar Bojar, A., 2010. Effect of super absorbent polymer on performance, antioxidant enzymes activity superoxide dismutase and catalase and stability of cytoplasmic membrane in medicinal plant under water stress. *Plant Production Research* 26(4): 19–38.
45. Rashmi, K., Earanna, N., Vasundhara, M., 2008. Influence of biofertilizers on growth, biomass and biochemical constituents of *Ocimum gratissimum. Biomedicine & Pharmacotherapy* 3(2): 123–130.

46. Razavizadeh, R., Shafqat, M., Najafi, S., 2013. Effect of water deficit stress on morphological and physiological indicators of herbivorous plants. *Plant Biology* 22(2): 38–25. (In Persian with English abstract)
47. Rehana, B., Mian, M., Tahirruddin, M., Hasan, M., 2003. Effect of vermicompost- urea application on yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 6(4): 968–971.
48. Rostam Pourkarizaki, A., 2014. The Effect of Mycorrhizal Fungi and Vermicompost on The Morphological and Physiological Characteristics of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Salt Stress. Master's Thesis, Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract)
49. Sangwan, P., Garg, V., Kaushik, C., 2010. Growth and yield response of *Calendula officinalis* to potting media containing vermicompost produced from different wastes. *Environmentalist* 30: 123–130.
50. Sharif, F., Danish, M., Ali, A., 2016. Salinity tolerance of earthworms and effects of salinity and vermi amendments on growth of *Sorghum bicolor*. *Archiv fu r Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*, 62(8): 1169–1181.
51. Sheikhi, J., Raunghi, A., 2012. The effect of salinity and the application of vermicompost on the concentration of nutrients and the yield of *Spinacia oleracea* in a calcareous soil. *Science and Technology of Greenhouse Crops* 4(13): 81–92. (In Persian with English abstract)
52. Soumare, M., Tack, G., Verloo, G., 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*. 86(1): 15–20.
53. Shirvani, A., Karoi, A., Sobhani, S., Marvi Mohajer, M., 2014. Assessment of forest ecosystems with the help of soil enzyme studies using *Phyllanthus emblica* tree as a biological indicator. *Journal of Research and Construction in Natural Resources* 66: 96–103.
54. Singh, R., Sharma, R., Kumar,S., Gupta, S., Patil, R., 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of *Fragaria ananassa*. *Bioresource Technology*. 99(17): 8507–8511.
55. Tatari, M., Fotoohi, A., Etemadi, N., 2014. Studying some morphological properties of three grasses under water stress. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 5(2): 1–5. (In Persian with English abstract)
56. Taheri, A. 2010. Effects of water stress on morphological characteristics, proline and thymol content in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 26(2): 239–251. (In Persian with English abstract)
57. Tahir, M., Imran, M., Hussain, M., 2002. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines for drought tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology* 3: 398–400.
58. Weldegergis, B., Zhu, F., Poelman, E., Dicke, M., 2015. Drought stress affects plant metabolites and herbivore preference but not host location by its parasitoids. *Plant-Microbe-Animal Interactions* 177(3): 701–713.
59. Xiaolu, W., 2016. Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in *Dendrobium moniliforme*. *Plant-Microbe-Animal Interactions* 94: 385–393.
60. Xu, Y., Xu, Q., Huang, B., 2015. Ascorbic acid mitigation of water stress inhibition of root growth in association with oxidative defense in tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Frontiers in Plant Science* 6: 807–813.
61. Zallinger, N., Kjelgren, R., Cerny-Koenig, T., Koppand, K,. Koenig, R. 2006. Drought responses of sixornamental herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae* 109(3): 67–274.