

(OPEN ACCESS)

Effect of Bio-Enriched Vermicompost with Plant Growth-Promoting Bacteria on Basil Yield and Soil Biological Properties

Elnaz Fatahi¹, Ali Beheshti Ale Agha^{*2}, Rouhallah Sharifi³,
Hamidreza Chaghazardi⁴

1. M.Sc. in Soil Biology, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: elnazfatahi1992@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: beheshtiali97@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: r.sharifi@razi.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: h.chaghazardi@razi.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: The rapid growth of the global population and the increasing demand for high-quality agricultural and medicinal products have intensified the importance of optimizing agricultural inputs. In modern farming systems, chemical fertilizers are often indispensable for supplying crops with essential nutrients quickly. However, excessive and unbalanced use of these fertilizers has led to serious environmental consequences, including contamination of groundwater and surface water, loss of soil biodiversity, and degradation of soil structure and fertility. Such issues have underscored the need to adopt sustainable agricultural practices that maintain or enhance crop productivity while reducing environmental risks. Among organic inputs, vermicompost has emerged as a valuable bio-organic fertilizer. Produced through the biological decomposition of organic residues by earthworms such as <i>Eisenia foetida</i> , vermicompost is rich in bioavailable nutrients, humic substances, and beneficial microorganisms. It also improves the soil's physical, chemical, and biological characteristics. Despite these advantages, achieving optimal agronomic results often requires applying large amounts of vermicompost, which can pose economic and logistical challenges. To address this limitation, bio-enrichment of vermicompost with Plant growth-promoting bacteria (PGPB) has been proposed as an innovative approach to enhance its effectiveness. These beneficial bacteria can improve plant nutrition and soil health by nitrogen fixation, solubilization of insoluble phosphates, production of plant growth hormones such as auxins and gibberellins, and stimulation of rhizosphere microbial activity. Basil (<i>Ocimum basilicum</i> (L.)), an economically important medicinal and aromatic plant widely used in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries, is highly sensitive to soil conditions. Therefore, using bio-enriched vermicompost has the potential to improve both the growth and quality of basil. Based on this premise, the present study aimed to investigate the effects of vermicompost enriched with different bacterial strains on growth parameters of basil and on soil biological properties under controlled greenhouse conditions.
Article history: Received: 07.18.2025 Revised: 11.11.2025 Accepted: 02.18.2026	
Keywords: Biofertilizer, Earthworm, Manure, Medicinal Plant, Soil organic matter	

Materials and Methods: This study was conducted in 2019 at the research greenhouse of Razi University, Kermanshah, Iran, using a completely randomized design with six treatments and four replications. The experimental treatments included: vermicompost without bacterial inoculation (positive control); well-decomposed animal manure (control); vermicompost enriched with *Bacillus megaterium* strain 56; vermicompost enriched with *Bacillus velezensis* strain FOL; vermicompost enriched with *Bacillus pumilus* strain INR7; and vermicompost enriched with *Pseudomonas putida* strain 54. The bacterial strains were sourced from two origins: some were isolated from earthworm bodies and vermicompost, while others were obtained from the microbial culture collection of the Department of Plant Pathology at Razi University. For bacterial isolation, 60 isolates were obtained and purified from combined vermicompost and earthworm samples by serial dilution and culturing on agar medium. For screening, their effects on basil growth traits were evaluated in a greenhouse experiment with 60 treatments and 3 replications. Finally, four strains with superior performance were selected for vermicompost enrichment. Vermicompost was produced by composting a mixture of fully decomposed cow manure and organic plant residues (including apple pomace, carrot waste, and eggshells) at a 3:1 w/w ratio, with decomposition by *Eisenia foetida* earthworms over a period of three months. After composting, each 10 kg batch of vermicompost was inoculated with 500 mL of bacterial suspension containing approximately 1×10^9 cells. Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) seeds of a commercial sweet variety were surface-sterilized and then sown in pots filled with a sterilized mixture of field soil, washed sand, and vermicompost in a 1:1:2 ratio. Irrigation was applied every other day based on the substrate's field capacity. Sixty days after sowing, before the flowering stage, the plants were harvested, and growth-related parameters, including fresh and dry weight of shoot and root, as well as plant height, were measured. In addition, several soil biological properties were evaluated, including basal microbial respiration, microbial biomass carbon (MBC), metabolic quotient (qCO_2), and substrate-induced respiration (SIR). The collected data were analyzed using SAS version 9.4, and means were compared using Duncan's multiple-range test at significance levels of 1% and 5%.

Results: The treatments had a statistically significant effect ($p < 0.01$) on all measured basil growth parameters. The highest shoot fresh weight (30.72 g/pot) was recorded in the treatment with vermicompost enriched with *Bacillus megaterium* strain 56, while the lowest (12.47 g/pot) was observed in the vermicompost enriched with *Pseudomonas putida* strain 54. This difference highlights the influence of bacterial strain selection on the efficiency of vermicompost enrichment. Plant height was also significantly affected by the treatments. The greatest height (26.6 cm) was achieved with the vermicompost enriched with *Bacillus megaterium* strain 56, whereas the lowest height (13.17 cm) occurred in the animal manure treatment. Regarding root parameters, the highest root fresh weight (19.62 g/pot) was recorded in the uninoculated vermicompost treatment, while the highest root dry weight (2.33 g/pot) was obtained with vermicompost enriched with *Bacillus velezensis* strain FOL. The lowest root fresh and dry weights were consistently observed in the treatment with *Pseudomonas putida* strain 54. In terms of soil biological properties, vermicompost enriched with *Bacillus megaterium* strain 56 exhibited the highest basal microbial respiration (275 mg C/kg soil/day), indicating enhanced

microbial activity. In contrast, the lowest value (190.6 mg C/kg soil/day) was observed in the animal manure treatment. The highest microbial biomass carbon (317.98 mg/kg soil) was recorded in the uninoculated vermicompost treatment, whereas the lowest (238.48 mg/kg soil) occurred in the treatment enriched with *Pseudomonas putida* strain 54. However, no significant differences among treatments were observed for the metabolic quotient (qCO_2) and substrate-induced respiration (SIR), which may reflect limited sensitivity of these indices or minor differences in microbial metabolic efficiency under the experimental conditions.

Conclusion: The findings of this study demonstrate that enriching vermicompost with Plant growth-promoting bacteria, particularly *Bacillus megaterium* strain 56, can significantly improve basil growth performance and enhance soil biological properties. These improvements are likely due to increased nutrient availability, production of plant growth hormones, and stimulation of beneficial microbial communities in the soil. The observed differences among bacterial strains, including the weaker performance of *Pseudomonas putida* strain 54, underscore the importance of selecting effective and compatible strains for vermicompost enrichment. This research suggests that bio-enriched vermicompost can serve as a sustainable alternative to reduce dependency on chemical fertilizers, improve soil fertility, and produce high-quality medicinal plants such as basil. However, further field-scale studies under diverse environmental conditions are necessary to confirm the practical applicability and economic viability of this approach. The adoption of bio-enriched vermicompost represents a promising step toward sustainable agriculture and the production of medicinal and aromatic plants with enhanced quality and yield.

Cite this article: Fatahi, Elnaz, Beheshti Ale Agha, Ali, Sharifi, Rouhollah, Chaghazardi, Hamidreza. 2026. Effect of Bio-Enriched Vermicompost with Plant Growth-Promoting Bacteria on Basil Yield and Soil Biological Properties. *Journal of Water and Soil Conservation*, 33 (2), 189-210.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2026.23892.3822

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر غنی‌سازی زیستی ورمی کمپوست با باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد ریحان و ویژگی‌های زیستی خاک

الناز فتاحی^۱، علی بهشتی آل آقا^{۲*}، روح‌الله شریفی^۳، حمیدرضا چقازردی^۴

۱. کارشناس ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: elnazfatahi1992@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: beheshtiali97@gmail.com
۳. دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: r.sharifi@razi.ac.ir
۴. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: h.chaghazardi@razi.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
سابقه و هدف: رشد روزافزون جمعیت جهانی و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی با کیفیت، استفاده بهینه از نهاده‌های کشاورزی را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است. در کشاورزی مدرن، کودهای شیمیایی به دلیل فراهم‌سازی سریع عناصر غذایی، نقشی کلیدی دارند، اما استفاده بی‌رویه از آن‌ها می‌تواند پیامدهایی نظیر آلودگی آب، کاهش فعالیت‌های زیستی خاک، و افت بهره‌وری بلندمدت خاک را به همراه داشته باشد. از سوی دیگر، کودهای آلی مانند ورمی کمپوست، با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، جایگاه مهمی در کشاورزی پایدار دارند. ورمی کمپوست به دلیل دارا بودن مواد مغذی، ترکیبات هیومیکی و میکروارگانیسم‌های مفید، موجب افزایش حاصلخیزی و فعالیت زیستی خاک می‌شود، اما نیاز به مقادیر زیاد آن برای دستیابی به نتایج مطلوب، چالشی اقتصادی و اجرایی محسوب می‌شود. در این راستا، غنی‌سازی زیستی ورمی کمپوست با باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPB)^۱ به عنوان راهکاری نوین برای افزایش کارایی آن مطرح شده است. این باکتری‌ها از طریق مکانیسم‌هایی نظیر تثبیت نیتروژن، حل فسفر و تولید هورمون‌های رشد، موجب تحریک رشد گیاه و افزایش جمعیت میکروبی خاک می‌شوند. ریحان (<i>Ocimum basilicum</i> (L.))، به دلیل کاربرد گسترده در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی، و حساسیت بالا به شرایط تغذیه‌ای، مدلی مناسب برای ارزیابی این اثرات در شرایط کنترل‌شده به شمار می‌رود؛ بنابراین هدف این پژوهش، بررسی	نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۸/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۹ واژه‌های کلیدی: کرم خاکی، کود دامی، کود زیستی، گیاه دارویی، مواد آلی خاک

تأثیر ورمی کمپوست غنی شده با سویه های منتخب باکتریایی بر رشد ریحان و شاخص های زیستی خاک در شرایط گلخانه ای است.

مواد و روش ها: این مطالعه در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. تیمارها شامل ورمی کمپوست بدون تلقیح (شاهد مثبت)، کود دامی پوسیده (شاهد)، و چهار نوع ورمی کمپوست غنی شده با سویه های *Bacillus pumilus* INR7، *Bacillus velezensis* FOL، *Bacillus megaterium* 56 و *Pseudomonas putida* 54 بودند. باکتری ها از دو منبع تأمین شدند، بخشی از بدن کرم های خاکی و ورمی کمپوست جداسازی شدند و بخشی از کلکسیون میکروبی گروه گیاه پزشکی دانشگاه رازی کرمانشاه تهیه گردیدند. برای جداسازی، از نمونه های ترکیبی ورمی کمپوست و کرم ها پس از رقیق سازی سریالی و کشت روی محیط آگار، ۶۰ جدایه باکتریایی استخراج و خالص سازی شدند. سپس برای غربالگری، اثر آنها بر صفات رشدی ریحان در قالب ۶۰ تیمار و ۳ تکرار در گلخانه بررسی شد و در نهایت چهار سویه با عملکرد برتر برای غنی سازی انتخاب گردیدند. برای تولید ورمی کمپوست، از مخلوط کود گاوی کاملاً پوسیده و بقایای گیاهی (تفاله سیب، هویج و پوست تخم مرغ با نسبت مساوی) با نسبت وزنی ۳:۱ استفاده شد. هر سبد پلاستیکی حاوی ۱۰ کیلوگرم این مخلوط بود و به هر سبد ۵۰۰ میلی لیتر سوسپانسیون باکتری با جمعیت تقریبی 1×10^9 سلول اضافه گردید. مواد به مدت سه ماه در حضور کرم های خاکی (*Eisenia foetida*) تجزیه شدند و سپس ورمی کمپوست غنی شده حاصل مورد استفاده قرار گرفت. بذرهای ریحان رقم شیرین پس از ضدعفونی سطحی، در گلدان های حاوی مخلوط خاک استریل، ماسه و ورمی کمپوست (۱:۱:۲) کشت شدند. آبیاری یک روز در میان انجام گرفت. شصت روز پس از کشت، پیش از گل دهی، گیاهان برداشت و صفات رشدی شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و ارتفاع گیاه، و شاخص های زیستی خاک شامل تنفس میکروبی پایه، کربن زیست توده میکروبی (MBC)، کسر متابولیک (qCO_2) و تنفس ناشی از سوبسترا (SIR^۳) اندازه گیری شد. داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹.۴ تجزیه و تحلیل و با آزمون دانکن در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد مقایسه شدند.

یافته ها: تیمارها اثر معنی داری (۱٪) بر تمامی صفات رشدی ریحان داشتند. بیشترین وزن تر اندام هوایی (۳۰/۷۲ گرم در گلدان) در تیمار ورمی کمپوست غنی شده با *Bacillus megaterium* 56 مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار (۱۲/۴۷ گرم) مربوط به تیمار غنی شده با *Pseudomonas putida* 54 بود. این تفاوت نشان دهنده نقش سویه باکتریایی در کارایی ورمی کمپوست است. در ارتفاع گیاه، تیمار *Bacillus megaterium* 56 بیشترین ارتفاع (۲۶/۶ سانتی متر) و تیمار کود دامی کمترین ارتفاع (۱۳/۱۷ سانتی متر) را داشت. وزن تر ریشه در تیمار ورمی کمپوست ساده (۱۹/۶۲ گرم) بیش از سایر تیمارها بود، در حالی که بیشترین وزن خشک ریشه (۲/۳۳ گرم) در تیمار *Bacillus velezensis* FOL مشاهده شد. کمترین

- 1- Microbial biomass carbon
- 2- Microbial metabolic quotient
- 3- Substrate-Induced Respiration

وزن تر و خشک ریشه به تیمار *Pseudomonas putida* 54 تعلق داشت. در ویژگی‌های زیستی خاک، تیمار *Bacillus megaterium* 56 بالاترین میزان تنفس میکروبی (۲۷۵ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک در روز) را نشان داد و کود دامی کم‌ترین مقدار (۱۹۰/۶ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک در روز) را داشت. بیش‌ترین کربن زیست‌توده میکروبی (۳۱۷/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) در ورمی‌کمپوست بدون تلقیح و کم‌ترین مقدار (۲۳۸/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) در تیمار *Pseudomonas putida* 54 ثبت شد. در مورد شاخص‌های qCO_2 و SIR، تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست غنی‌شده با باکتری‌های محرک رشد، به‌ویژه *Bacillus megaterium* 56، می‌تواند رشد ریحان و برخی شاخص‌های زیستی خاک را بهبود دهد. به‌نظر می‌رسد این بهبود به‌دلیل افزایش فراهمی عناصر غذایی، تحریک فعالیت میکروبی خاک و تولید هورمون‌های گیاهی باشد. با وجود عملکرد مثبت برخی سویه‌ها، تفاوت میان آن‌ها مانند ضعف تیمار *Pseudomonas putida* 54 نشان‌دهنده اهمیت انتخاب صحیح و هدفمند سویه‌های باکتریایی است. ورمی‌کمپوست بدون تلقیح نیز عملکرد نسبتاً بالایی داشت، که بر کارایی ذاتی آن در بهبود رشد گیاه تأکید دارد. با این حال، تأثیر غنی‌سازی بیش‌تر در بهبود فعالیت‌های زیستی خاک نمایان بود تا در ارتقای زیست توده گیاهی. معنی دار نشدن کسر متابولیک و تنفس ناشی از سوبسترا می‌تواند بیان‌کننده حساسیت کم‌تر این شاخص‌ها یا تفاوت‌های جزئی در کارایی متابولیک میکروبی باشد. در مجموع، نتایج این پژوهش کاربرد ورمی‌کمپوست غنی‌شده را به‌عنوان گزینه‌ای امیدبخش در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، بهبود سلامت خاک و افزایش تولید گیاهان دارویی معرفی می‌کند. برای تأیید نتایج در شرایط واقعی زراعی، انجام مطالعات میدانی بلندمدت در اقلیم‌ها و خاک‌های متنوع ضروری است.

استناد: فتاحی، الناز، بهشتی آل آقا، علی، شریفی، روح‌الله، چقازردی، حمیدرضا (۱۴۰۵). اثر غنی‌سازی زیستی ورمی‌کمپوست با باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد ریحان و ویژگی‌های زیستی خاک. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۳ (۲)، ۱۸۹-۲۱۰.

DOI: 10.22069/jwsc.2026.23892.3822



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مدیریت مناسب عناصر غذایی در اراضی کشاورزی نقشی اساسی در افزایش عملکرد و پایداری تولید دارد. کودهای شیمیایی با تأمین سریع عناصر موردنیاز گیاهان، جایگاه مهمی در کشاورزی مدرن دارند، اما به‌تنهایی قادر به رفع تمامی نیازهای خاک نیستند (۱، ۲). در کنار آن‌ها، کودهای آلی به دلیل دارا بودن مواد آلی پایدار، بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب و ارتقای فعالیت‌های زیستی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (۳). استفاده توأمان و متعادل از کودهای شیمیایی و آلی می‌تواند ضمن افزایش تولید، پایداری بوم‌نظام‌های زراعی را تقویت کرده و کیفیت محصولات را بهبود بخشد (۴). در این میان، ورمی‌کمپوست به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کودهای آلی به دلیل غنای مواد مغذی قابل‌جذب و اثر مثبت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت پایدار کشاورزی یافته است (۱، ۳، ۴).

ورمی‌کمپوست یک فناوری پایدار برای بهره‌برداری از ضایعات آلی است که با افزودن به خاک موجب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن می‌شود (۵). از آنجاکه هدف اصلی مصرف کودهای آلی، بهبود ساختمان و فعالیت زیستی خاک است، به‌کارگیری مقادیر نسبتاً بالای آن امری رایج و اجتناب‌ناپذیر بوده و به‌خودی‌خود یک عیب محسوب نمی‌شود. با این حال، به‌منظور افزایش اثربخشی و کاهش نیاز به مصرف مقادیر بسیار زیاد، غنی‌سازی ورمی‌کمپوست به‌عنوان رویکردی نوین مطرح شده است. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی بر تغییر جمعیت میکروارگانیسم‌ها در ورمی‌کمپوست و بهبود کیفیت کودهای آلی متمرکز شده‌اند (۶). غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند موجب افزایش فسفر قابل‌جذب، نیتروژن

کل، جمعیت میکروبی و هیومیک اسید، و هم‌چنین کاهش pH و نسبت کربن به نیتروژن گردد (۷). در بررسی لیتی و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که تلقیح با باکتری ازتوباکتر باعث افزایش درصد اسانس گیاه دارویی رزماری می‌شود (۱)، هم‌چنین در بررسی دیگری که توسط بانچیو و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی خود بر روی گیاه دارویی مرزنجوش، گزارش کردند که تلقیح با باکتری سودوموناس موجب افزایش معنی‌داری در درصد اسانس می‌شود (۲). سونگ و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گوجه‌فرنگی ندارد، اما کاربرد هم‌زمان این باکتری‌ها در حضور تیمارهای مختلف ورمی‌کمپوست (۱۵ و ۳۰ تن در هکتار) باعث افزایش اثر مثبت این عوامل بر کیفیت خاک شده و در نتیجه عملکرد گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد (۳).

کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد به‌طور معنی‌داری موجب بهبود شاخص‌های رشد و افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهچه‌های کنگد شد (۴). کوزه‌گر کالجی و اردکانی (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) نیز تأثیر ورمی‌کمپوست و چای کمپوست بر عملکرد و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم نعنا آبی (*Mentha aquatica* (L.)) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* (L.)) تحت تلقیح با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) را بررسی کرده و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تیمارهای کود آلی و میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک و قطر گل داشت (۸، ۹).

ورمی‌کمپوست تلقیح‌شده با تیوباسیلوس تأثیرات مثبتی بر تبدیل فسفات معدنی به فسفر قابل‌جذب دارد و سویه‌های *Burkholderia silvatlantica* و *Herbaspirillum seropedicae* باعث افزایش فسفات قابل‌جذب می‌شوند (۱۰). ماهاتا و همکاران (۲۰۱۲) نیز تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده توسط

با توجه به تمامی مزایای استفاده از ورمی‌کمپوست، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد ازجمله، برای رسیدن به عملکرد مطلوب باید مقادیر زیادی از آن مورد استفاده قرار گیرد که این موضوع از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست؛ بنابراین برای حل این مشکل می‌توان با غنی‌سازی شیمیایی و یا باکتریایی ورمی‌کمپوست اثربخشی آن را افزایش داد. غنی‌سازی ورمی‌کمپوست یکی از روش‌های نوین برای افزایش کیفیت این کود آلی مفید بوده و استفاده از باکتری‌های مختلف تأثیر متفاوتی در افزایش کیفیت ورمی‌کمپوست دارد، در نتیجه این مطالعه به منظور بررسی غنی‌سازی میکروبی ورمی‌کمپوست، به منظور بهبود رشد گیاه دارویی ریحان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده توسط باکتری‌های محرک رشد به منظور بهبود رشد گیاه دارویی ریحان در بهار و پاییز سال ۱۳۹۸ در محل گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. به همین منظور خاک مورد مطالعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری اراضی دیم پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهیه شد. پیش از انجام آزمایش برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. در اجرای این آزمایش از رقم تجاری ریحان شیرین یا معمولی (*Ocimum basilicum* (L.)) که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد استفاده گردید.

Azotobacter chroococcum را در بهبود رشد و عملکرد غلات و شاخص کلروفیل برگ و همچنین تأثیر غنی‌سازی ورمی‌کمپوست توسط *Azospirillum brasilense* را بر فعالیت نیترات رداکتاز در برنج گزارش کرده‌اند (۱۱).

نسیم علی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که در بررسی اثر ضایعات مواد آلی مختلف مانند سنبل آبی، کود گاوی، علف، ضایعات گیاهی و بستر مرغ با تلقیح باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (*Azotobacter* و *Azospirillum*) و باکتری حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas*) بر خصوصیات بیوشیمیایی و شیمیایی ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری در جمعیت میکروبی مشاهده شد به صورتی که افزایش جمعیت میکروبی در سنبل آبی حداکثر بوده و تلقیح میکروارگانیزم‌ها مقدار فسفر و نیتروژن را در ورمی‌کمپوست افزایش داد. همچنین افزایش مقدار فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس، هدایت الکتریکی و کاهش درصد کربن آلی و اسیدیته در ورمی‌کمپوست نهایی از ضایعات آلی مختلف به وسیله استفاده از کرم خاکی *Eisenia foetida* در نتیجه فعالیت کرم مشاهده شد (۱۲).

درزی و همکاران (۲۰۱۲) طی تحقیقاتی بر روی گیاه بادیان رومی (*Pimpinella anisum* (L.)) نشان دادند که کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های *Azotobacter*، *Azospirillum* و *Pseudomonas* سبب بهبود رشد و عملکرد اسانس گردید (۱۳). خان و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی مشابه به نقش مثبت و سازنده *Azotobacter chroococcum* در حضور ورمی‌کمپوست بر افزایش نسبت برگ به ساقه، وزن تر اندام‌های هوایی و افزایش ماده مؤثره آندروگرافولید^۱ در گیاه *Andrographis paniculata* (L.) اشاره کردند (۵).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil.

ویژگی	واحد	مقدار
Characteristics	Unit	Value
عمق نمونه‌برداری	cm	0-30
Sampling depth		
کلاس بافت خاک	-	Clay Loam
Soil Texture		
کربن آلی	%	0.74
OC		
واکنش خاک	-	7.76
pH		
هدایت الکتریکی	dS m ⁻¹	0.21
EC		
رطوبت اشباع	%	49.00
Saturated humidity		
آهک	%	35.00
CaCO ₃		
پتاسیم قابل جذب	mg.kg ⁻¹	183.00
K		
فسفر قابل جذب	mg.kg ⁻¹	13.20
P		

جداسازی باکتری از ورمی‌کمپوست: نمونه‌های ورمی‌کمپوست از مناطق پرورش ورمی‌کمپوست استان کرمانشاه تهیه شد و پس از مخلوط نمونه‌ها، ۱ گرم از هر نمونه مرکب با ۹ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک مخلوط و سری رقت‌های مختلف تهیه گردید. سپس رقت مورد نظر به محیط کشت آگار غذایی منتقل و پس از ۴۸ ساعت کلنی‌های باکتری جداسازی و نگهداری شدند (۱۴).

جداسازی باکتری از کرم‌ها: تعداد سه عدد کرم از هر نمونه جدا شدند، سپس هر کرم به مدت ۱۰ ثانیه در الکل ۹۶ درصد ضدعفونی شده و به قطعات کوچک تقسیم گردید تا به این ترتیب باکتری‌های داخل اندام‌های گوارشی وارد مایع گردند. سری رقت انجام شد و رقت مورد نظر روی محیط کشت آگار غذایی به صورت یکنواخت پخش و در نهایت کلنی‌های حاصل، خالص‌سازی و نگهداری گردید (۱۵).

غربال‌گری جدایه‌های باکتری: در این پژوهش ۶۰ جدایه باکتری از نمونه‌های ورمی‌کمپوست و کرم‌ها جداسازی شد. سپس جهت بررسی توانایی جدایه‌های

به دست آمده و انتخاب چند جدایه که بر روی صفات رشدی ریحان تأثیر بهتری داشته‌اند آزمون کشت اولیه با تعداد ۶۰ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه انجام گرفت. به منظور تکثیر باکتری از محیط کشت تجاری Nutrient Broth استفاده شد. شرایط رشد در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و با هم زدن ۱۲۰ دور در دقیقه و به مدت ۳۶ ساعت بود (۱۶). از جدایه‌های باکتریایی، جمعیت $10^9 \times 1$ سلول باکتری در میلی‌لیتر آب مقطر سترون سوسپانسیون تهیه شد. بذره‌های ریحان پس از ضدعفونی سطحی، به مدت ۲۰ دقیقه در سوسپانسیون باکتریایی غوطه‌ور شدند و سپس در گلدان‌های حاوی مخلوط خاک مزرعه (استریل شده) و پرلیت با نسبت ۱:۲ کشت گردیدند (خاک گلدان شامل ۵۰ درصد خاک مزرعه سترون، ۲۵ درصد ورمی‌کمپوست و ۲۵ درصد پرلیت بود). آبیاری گلدان‌ها به صورت یک روز در میان انجام شد. انتخاب روش ضدعفونی بذر و خاک با هدف کنترل شرایط آزمایش و پرهیز از تداخل میکروارگانیسم‌های بومی اسپرموسفر و خاک صورت گرفت، چرا که حضور آن‌ها می‌توانست در

کلونیزاسیون اولیه ریشه و تفسیر نتایج اختلال ایجاد کند. این انتخاب، امکان ارزیابی دقیق‌تر توانمندی سویه‌های مورد آزمون را فراهم ساخت. پس از گذشت یک ماه، گیاهان جمع‌آوری و صفات وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی ارزیابی شد و بر اساس نتایج حاصل شده، تعداد چهار باکتری‌ها برای آزمون‌های غنی‌سازی انتخاب شدند.

تهیه و غنی‌سازی ورمی‌کمپوست: ورمی‌کمپوست از ماده اولیه کود گاوی و بقایای گیاهی (شامل تغالله سیب، هویج و پوست تخم‌مرغ با نسبت مساوی) با نسبت ۱:۳ (وزنی/وزنی) در حضور کرم کمپوست‌ساز *Eisenia foetida* به مدت ۳ ماه در ایستگاه آموزشی- پژوهشی ورمی‌کمپوست پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه تولید شد. برای این منظور ابتدا کود گاوی کاملاً پوسیده را از مزرعه دانشگاه تهیه و پس از انتقال به سبدهای پلاستیکی

مشبک با ابعاد ۶۰ × ۴۵ × ۴۰ و شست‌وشوی کامل با آب (به‌منظور مرطوب شدن تمامی قسمت‌های بستر و شست‌وشو عناصر محلول و کاهش شوری)، کرم‌های *Eisenia foetida* (به ازای هر سبد ۵۰ عدد کرم خاکی) و مواد غذایی (نسبت ۳:۱) جهت تغذیه کرم‌ها به آن اضافه گردید. هر سبد پلاستیکی حاوی ۱۰ کیلوگرم این مخلوط بود. رطوبت سبدها با آب‌پاشی در طول دوره در حدود ۶۰ تا ۵۰ درصد وزنی نگهداری شد (۱۷). پس از گذشت سه ماه با آماده شدن ورمی‌کمپوست، ۵۰۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری با جمعیت تقریبی 1×10^9 سلول انتخاب شده را تهیه و به ورمی‌کمپوست‌های هر سبد کم اضافه و مخلوط شد و پس از گذشت ده روز عملیات کشت انجام گردید (۱۸). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست غنی‌شده.

Table 2. Physical and chemical characteristics of enriched vermicompost.

ویژگی	واحد	مقدار
Characteristics	Unit	Value
pH	-	7.05
EC	dS m ⁻¹	2.62
OC	%	24.01
C/N	-	9.56
Total N	%	2.5
P	%	1.40
K	%	4.43
Cu	mg.kg ⁻¹	128.00
Mn	mg.kg ⁻¹	670.00
Fe	mg.kg ⁻¹	1998.00
Zn	mg.kg ⁻¹	240.00

صفات بررسی شده و آنالیز آماری: میزان کربن معدنی شده یا تنفس خاک (۱۹)، کربن زیست‌توده میکروبی (۲۰)، کسر متابولیک (qCO_2) و تنفس ناشی از سوبسترا (۲۱) در خاک پس از برداشت گیاه ریحان اندازه‌گیری شدند. همچنین پس از برداشت بوته‌های ریحان (حدود ۶۰ روز پس از کاشت) ارتفاع اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بررسی شدند.

نتایج و بحث

تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده بر صفات رویشی (مورفولوژیک) گیاه ریحان: نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده با سویه‌های باکتری بر صفات رویشی گیاه ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی ($30/72$ گرم در گلدان) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus megaterium* 56 بود که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار ورمی‌کمپوست ($29/72$ گرم در گلدان) نداشت. کم‌ترین وزن تر اندام هوایی ($12/47$ گرم در گلدان) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Pseudomonas putida* 54 بود (شکل ۱). بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی ($3/54$ و $3/09$ گرم در گلدان) به ترتیب مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست و تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus megaterium* 56 بود. همچنین کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی ($1/48$ گرم در گلدان) در تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Pseudomonas putida* 54 اندازه‌گیری گردید. تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus megaterium* 56 نسبت به تیمار کود حیوانی پوسیده $14/22$ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲).

کشت گلخانه‌ای و اعمال تیمارها: پس از تهیه ورمی‌کمپوست غنی‌شده، آزمایش گلخانه‌ای ریحان در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۴ تکرار در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی انجام شد. تیمارها شامل چهار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با باکتری، کود دامی کاملاً پوسیده و ورمی‌کمپوست بدون تلقیح (شاهد) بودند. باکتری‌های مورد استفاده شامل دو سویه جداشده از ورمی‌کمپوست و کرم‌ها (*Bacillus megaterium* 56 و *Pseudomonas putida* 54 و دو سویه *Bacillus pumilus* INR7 و *Bacillus velezensis* FOL از کلکسیون میکروبی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه بودند. بستر کشت شامل خاک سترون، ورمی‌کمپوست و ماسه شسته با نسبت ۱:۱:۲ بود. در هر گلدان ۱۰ بذر ریحان کاشته شد و آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک به‌صورت یک روز در میان انجام گرفت. پس از ۱۰ روز، عمل تنک‌کردن صورت گرفت و در هر گلدان ۶ بوته باقی گذاشته شد. برداشت گیاهان ۶۰ روز پس از کاشت و پیش از مرحله گل‌دهی انجام شد.

سویه *Bacillus pumilus* INR7 به‌عنوان یک اندوفیت ریشه شناخته می‌شود که علاوه بر تحریک رشد گیاه، با تولید ترکیبات فرار مسیرهای دفاعی و رشدی گیاه را فعال و از بیماری‌های مختلف پیشگیری می‌کند. سویه *Bacillus velezensis* FOL نیز از گوجه‌فرنگی جداسازی شده و زئونم آن به‌طور کامل تعیین توالی شده است؛ این سویه در مهار بیماری فوزاریومی گوجه‌فرنگی مؤثر گزارش شده است. تاکنون این سویه‌ها از نظر صفات افزایش رشدی به‌طور مستقیم بررسی نشده بودند، ازاین‌رو غربالگری آن‌ها به‌طور مستقیم بر رشد ریحان انجام شد. شایان ذکر است مطالعات متعدد نشان داده‌اند که همواره همبستگی کامل میان نتایج آزمایشگاهی با نتایج گلخانه‌ای یا مزرعه‌ای وجود ندارد، بنابراین غربالگری اولیه به‌طور مستقیم روی گیاه انجام گردید.

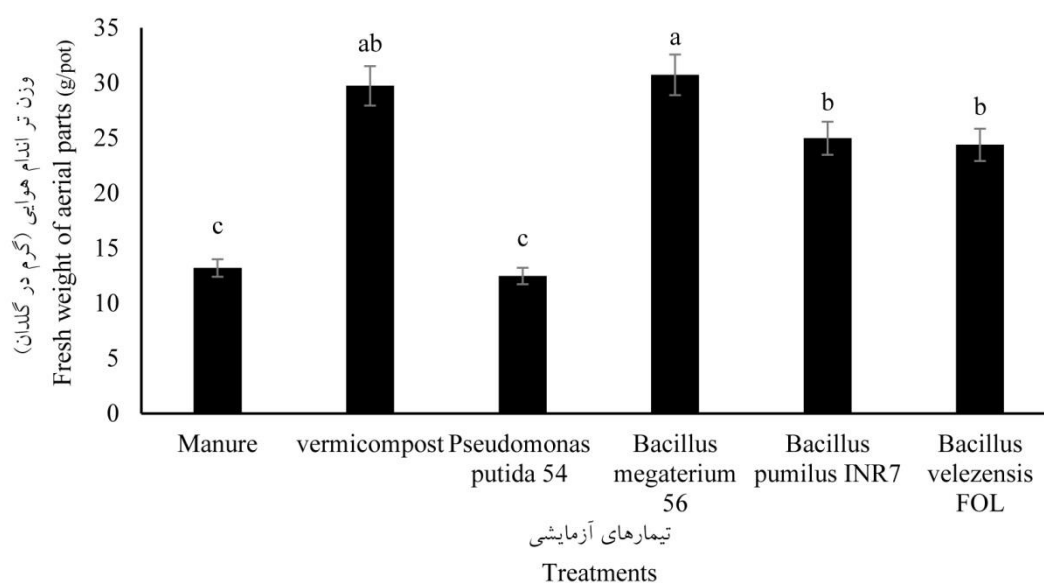
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر ورمی کمپوست غنی‌شده بر صفات رویشی ریحان.

Table 3. Variance analysis of the effect of enriched vermicompost on basil vegetative traits.

میانگین مربعات						منابع تغییرات Sources of variation
Mean of squares						
ارتفاع اندام هوایی	ریشه		اندام هوایی		df	
Aerial parts height	Root		aerial parts			
	وزن خشک	وزن تر	وزن خشک	وزن تر		
	Dry weight	Fresh weight	Dry weight	Fresh weight		
82.15 **	3.12 **	120.63 **	2.19 **	253.28 **	5 تیمار Treatment	
3.27	0.0308	4.91	0.0994	5.49	18 خطای آزمایشی Error	
9.27	11.13	16.95	12.46	10.38	درصد ضریب تغییرات CV (%)	

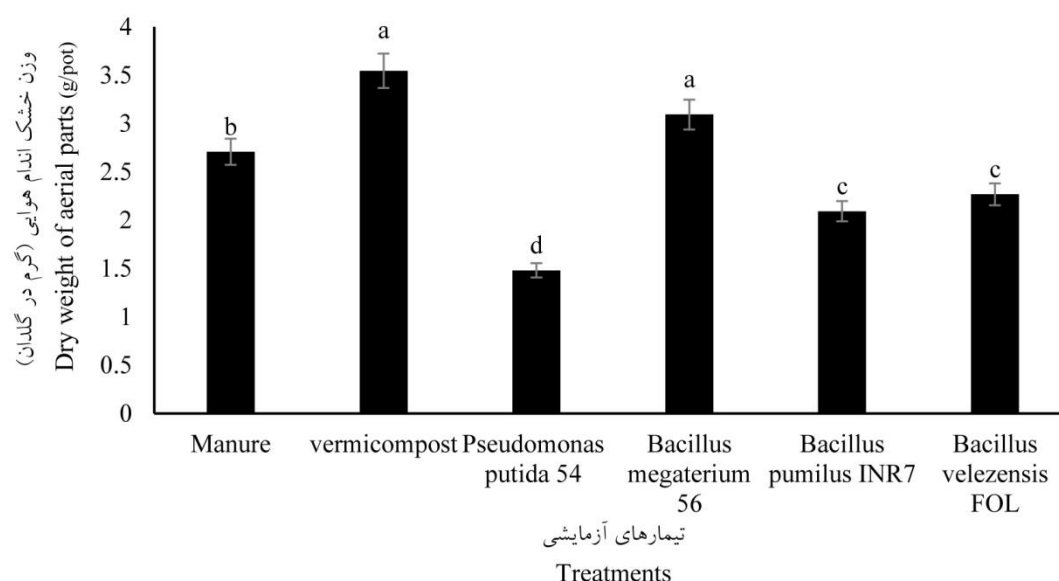
** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ^{ns} اختلاف معنی‌دار نیست

**and * significant at 1% and 5% and ^{ns}, not significant respectively



شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن تر اندام هوایی ریحان.

Figure 1. Effect of experimental treatments on basil aerial fresh weight.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک اندام هوایی ریحان.
Figure 2. Effect of experimental treatments on basil aerial dry weight.

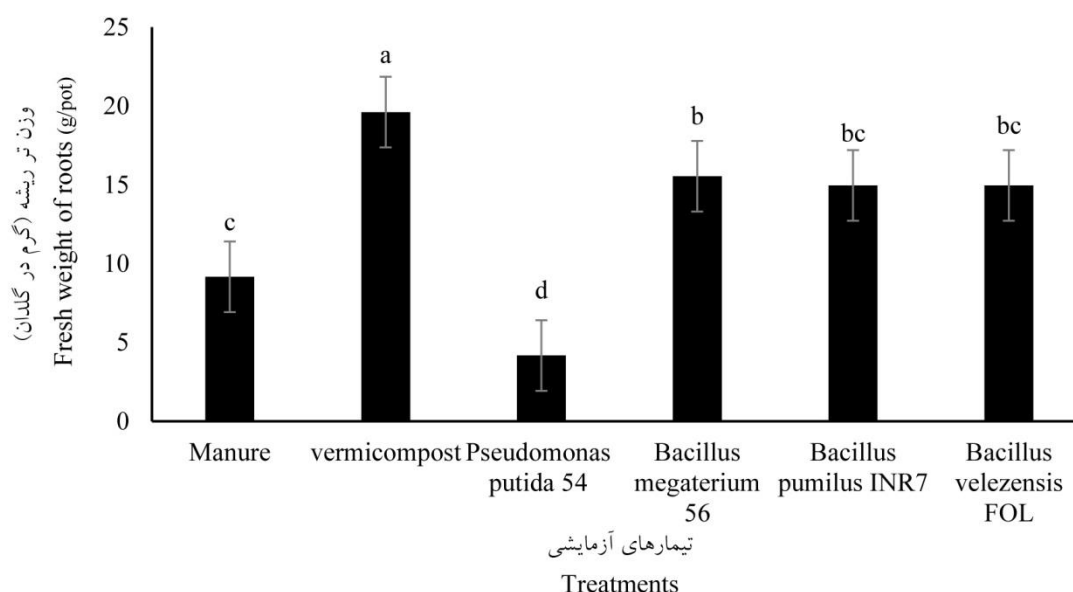
کودهای آلی و باکتری‌های محرک رشد گیاه که قابلیت تثبیت نیتروژن را دارند می‌تواند عناصر مورد نیاز گیاه را تأمین کرده و رشد گیاه را افزایش دهند (۲۴). درزی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر ورمی‌کمپوست بر عملکرد، میزان گلدهی و تعداد چتر در آنیسون را مثبت گزارش کرده و بیان کردند که مصرف مقادیر مناسب ورمی‌کمپوست احتمالاً از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی موجب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی می‌گردد (۱۳). علاوه بر عناصر غذایی و مواد آلی، کمپوست و ورمی‌کمپوست دارای مقادیر بالایی مواد هیومیکی است که از طریق بهبود فراهمی عناصر غذایی خاص، مانند آهن و روی و تأثیر مستقیم بر متابولیسم گیاهی (۲۵، ۲۶) موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (۲۷).

مطالعات اخیر نیز تأیید کرده‌اند که استفاده از ورمی‌کمپوست غنی‌شده با باکتری‌های محرک رشد

نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus megaterium* 56 باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی شده و حتی ورمی‌کمپوست بدون تلقیح نیز عملکرد بالایی در افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی داشته و بالا بودن آن نسبت به تیمار کود حیوانی پوسیده نشان می‌دهد که استفاده از ورمی‌کمپوست حتی به‌تنهایی نیز می‌تواند تأثیر خوبی بر میزان رشد گیاه داشته باشد (شکل‌های ۱ و ۲) که این بررسی‌ها با نتایج کوماری و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد، آن‌ها بیان کردند که این افزایش عملکرد احتمالاً به دلیل مقادیر بالای نیتروژن در دسترس است که برای تولید پروتئین‌های ساختاری ضروری هستند (۲۲). به‌عبارتی دیگر کودهای آلی با ایجاد تغییرات مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد، قادر هستند شرایط بهینه‌ای را برای افزایش وزن گیاه فراهم نمایند (۲۳). مینا و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که کاربرد هم‌زمان

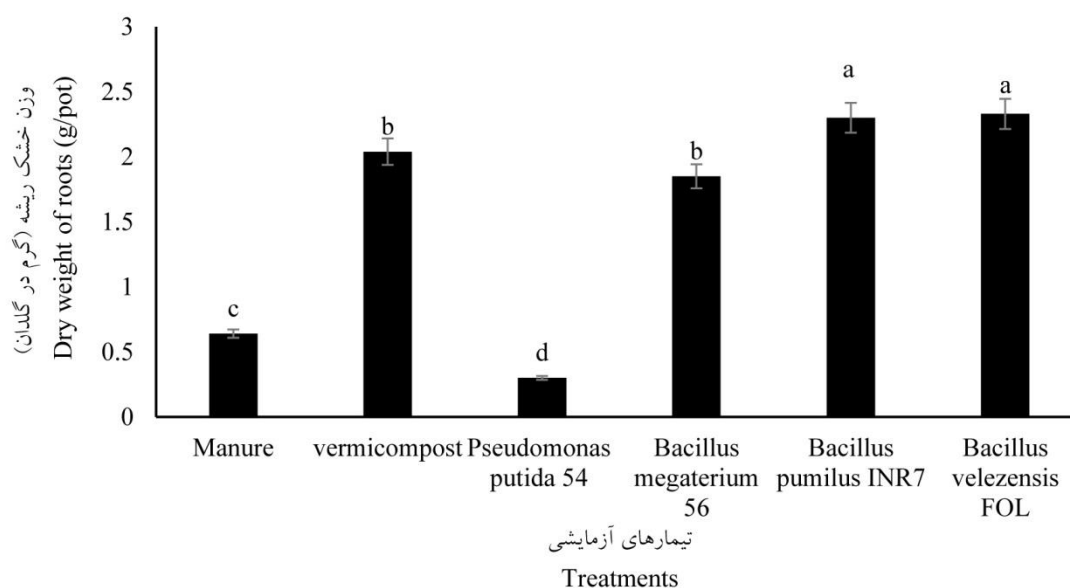
نمودار مقایسه میانگین وزن تر ریشه نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان وزن تر (۱۹/۶۲ گرم در گلدان) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست و کم‌ترین میزان وزن تر ریشه (۴/۱۷ گرم در گلدان) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Pseudomonas putida* 54 بود (شکل ۳). همچنین که بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه گیاه ریحان (۲/۳۳ گرم در گلدان) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus velezensis* FOL است که با تیمارهای ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus pumilus* INR7 و *Pseudomonas putida* 54 در یک سطح آماری قرار داشتند و کم‌ترین میزان وزن خشک ریشه (۰/۳ گرم در گلدان) در تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Pseudomonas putida* 54 اندازه‌گیری گردید (شکل ۴).

می‌تواند باعث بهبود معنی‌دار در شاخص‌های مورفولوژیک گیاهان دارویی شود. به‌عنوان مثال، در پژوهشی که توسط بلتران مدینا و همکاران (۲۰۲۵) انجام شد، گزارش گردید که کاربرد ورمی‌کمپوست حاوی کنسرسیومی از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و سطح برگ گیاه ریحان گردید. این اثرات احتمالاً ناشی از افزایش جذب نیتروژن و فسفر، تحریک فعالیت‌های آنزیمی ریشه، و تنظیم ترشح فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکنین توسط میکروارگانیسم‌ها بوده است. همچنین آن‌ها اشاره کردند که ورمی‌کمپوست غنی‌شده نقش مؤثرتری نسبت به ورمی‌کمپوست معمولی در تحریک رشد گیاه دارد، به‌ویژه در شرایط محدودیت غذایی یا تنش محیطی، که اهمیت کاربرد آن را در کشاورزی پایدار دوچندان می‌سازد (۲۸).



شکل ۳- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن تر ریشه ریحان.

Figure 3. Effect of experimental treatments on basil root fresh weight.



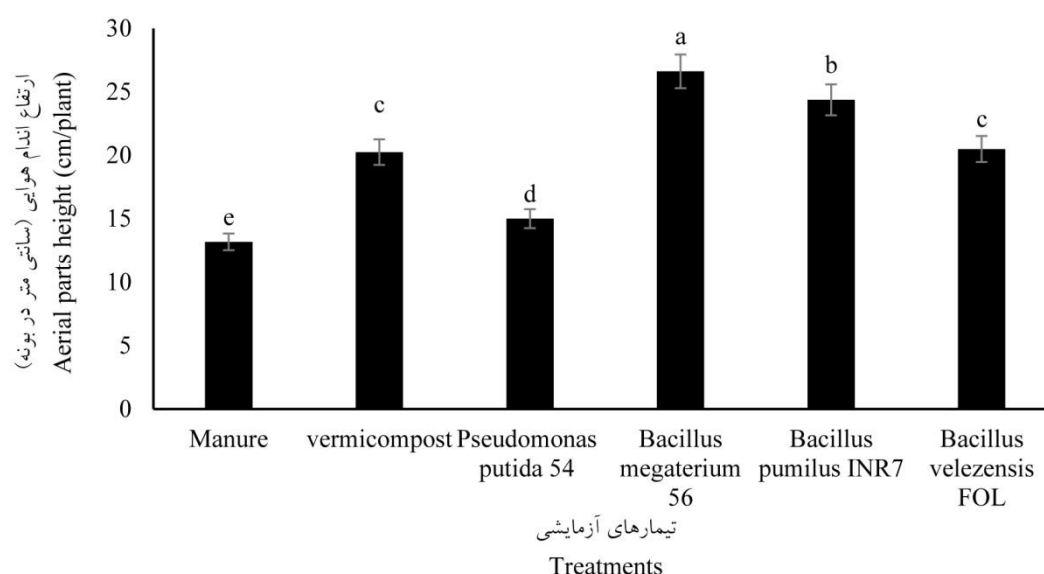
شکل ۴- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک ریشه ریحان.

Figure 4. Effect of experimental treatments on basil root dry weight.

سوپرنیتروپلاس و بیوسوپرفسفات موجب افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه و وزن تر و خشک ریشه شده است (۳۱).

بیش‌ترین ارتفاع گیاه ریحان (۲۶/۶ سانتی‌متر در بوته) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus megaterium* 56 و کم‌ترین میزان ارتفاع گیاه ریحان (۱۳/۱۷ سانتی‌متر در بوته) مربوط به تیمار کود حیوانی بود (شکل ۵). شهریار و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع ریحان نسبت به شاهد می‌شود که یافته‌های آن‌ها، نتایج این پژوهش را تأیید و مشخص می‌کند که کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع در گیاه دارویی ریحان می‌گردد (۳۲). همچنین شیرخدایی و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که تیمارهای کودی اعمال شده نظیر کودهای بیولوژیک و ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع گیاه گشنیز شد (۳۲).

توجه به نتایج به‌دست آمده مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش وزن تر ریشه گیاه ریحان شد و استفاده از باکتری در غنی‌سازی ورمی‌کمپوست موجب افزایش وزن خشک ریشه گیاهان ریحان گردید. گوپتا و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که افزون ورمی‌کمپوست به خاک سبب افزایش مساحت برگ و وزن ریشه و ساقه در گل همیشه‌بهار فرانسوی می‌گردد (۲۹). این محققین، بهبود رشد گیاه در تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست را به عواملی همچون فراهمی بیشتر عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیز عناصر کم‌مصرف نسبت دادند. همچنین سریت‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیان کردند که کودهای آلی همچون ورمی‌کمپوست می‌تواند موجب بهبود ساختمان خاک شده که این مسأله موجب رشد ریشه گیاهان، مهیا نمودن و جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاهان می‌شود (۳۰). در تحقیق دیگری که بر روی ریحان انجام شد نشان داد که مصرف کودهای بیولوژیک



شکل ۵- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع اندام هوایی ریحان.

Figure 5. Effect of experimental treatments on basil aerial parts height.

معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی خاک (۲۷۵ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک در روز) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus megaterium* 56 و کم‌ترین مقدار تنفس پایه خاک (۱۹۰/۶ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک در روز) مربوط به تیمار کود حیوانی بود (شکل ۶).

تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده بر ویژگی‌های زیستی خاک پس از برداشت گیاه ریحان: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده با سویه‌های باکتری بر تنفس میکروبی خاک و کربن زیست‌توده میکروبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی بر بقیه ویژگی‌های زیستی خاک (کسر متابولیک و تنفس ناشی از سوبسترا)

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده بر ویژگی‌های زیستی خاک پس از برداشت گیاه ریحان.

Table 4. Variance analysis of the effect of enriched vermicompost on biological characteristics of soil after harvesting basil plants.

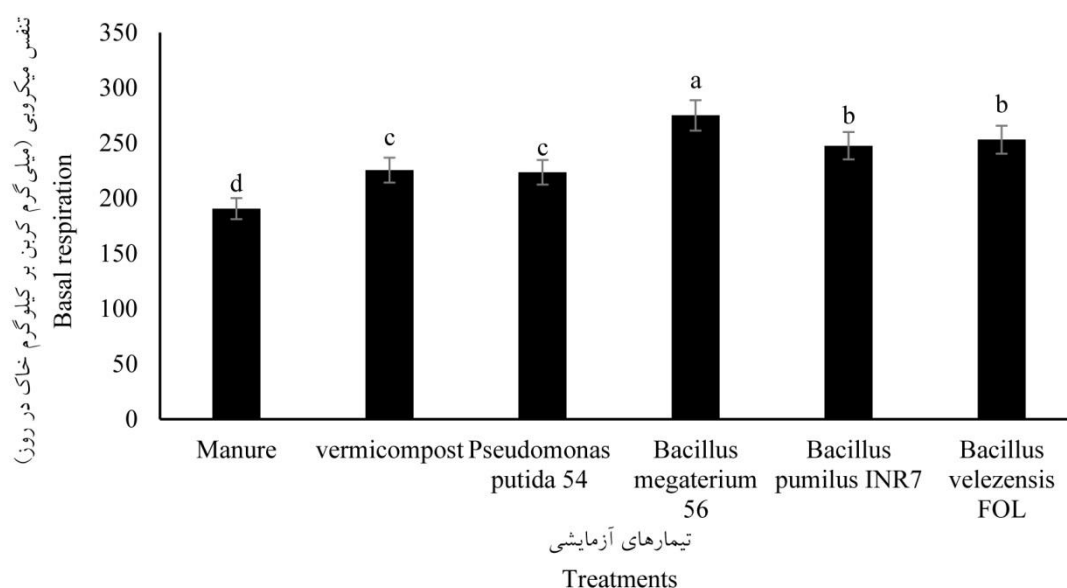
میانگین مربعات Mean of squares				df	منابع تغییرات Sources of variation
تنفس ناشی از سوبسترا SIR	کسر متابولیک qCO ₂	کربن زیست‌توده میکروبی MBC	تنفس میکروبی BR		
1461.88 ns	0.0365 ns	4105.18 *	3411.12 *	5	تیمار Treatment
1213.90	0.0214	1139.62	963.54	18	خطای آزمایشی Error
13.32	16.17	12.88	13.16		درصد ضریب تغییرات CV (%)

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ^{ns} اختلاف معنی‌دار نیست

**and * significant at 1% and 5% and ^{ns}, not significant respectively

در واقع کودهای آلی همچون ورمی‌کمپوست موجب افزایش زیست‌توده میکروبی و متابولیسم خاک می‌گردد (۳۵) که علت آن را می‌توان افزایش فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی بیان کرد که سبب افزایش رشد و ریشه‌های گیاه می‌گردد و میزان فعالیت و جمعیت میکروارگانیسم‌ها در خاک را افزایش می‌دهد (۳۶).

روسینی‌اولیوا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که با افزودن کمپوست به خاک محتوای کربن آلی و به دنبال آن میزان تنفس خاک افزایش می‌یابد (۳۳). مینا و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که استفاده از کودهای آلی نظیر ورمی‌کمپوست موجب افزایش جمعیت میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی خاک و فعالیت آنزیم دهیدروژناز در خاک می‌گردد (۳۴).



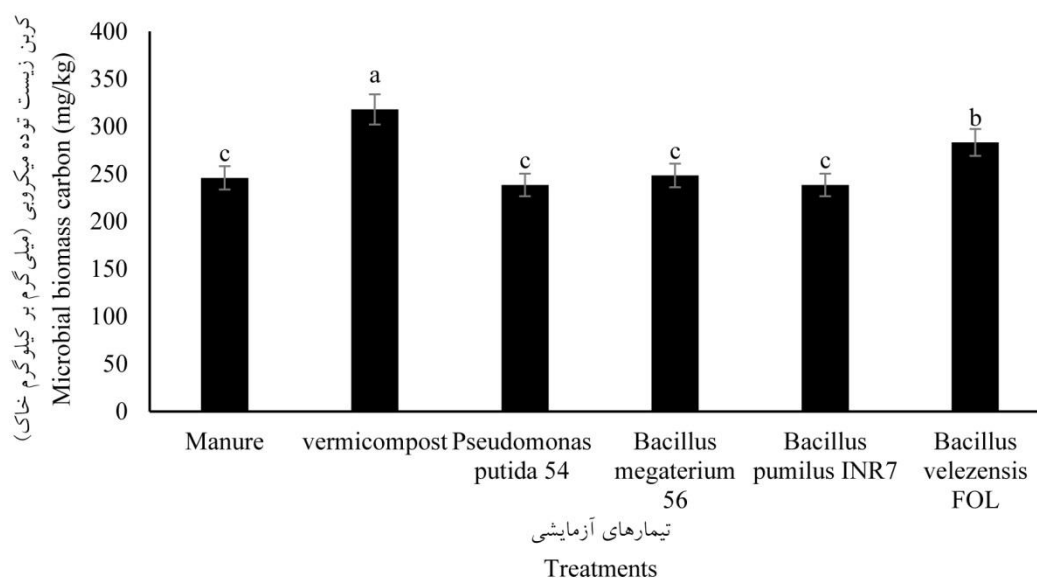
شکل ۶- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر تنفس میکروبی خاک پس از برداشت ریحان.
Figure 6. Effect of experimental treatments on soil basal respiration after basil harvest.

در تیمار ورمی‌کمپوست بدون تلقیح و کم‌ترین مقدار آن (۲۳۸/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در تیمار ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Pseudomonas putida* مشاهده شد؛ جالب آن‌که این مقدار پایین‌تر در مقایسه با تیمارهای ورمی‌کمپوست غنی‌شده با *Bacillus pumilus* و *Bacillus megaterium* نیز کود حیوانی، تفاوت آماری معناداری نداشت. تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست می‌توانند زیست‌توده میکروبی خاک را افزایش دهند (۳۸). به عقیده محققان، دلیل این امر

دهقان منشادی و همکاران (۲۰۲۱) نیز با بررسی اثر کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی بر برخی شاخص‌های زیستی خاک در ریزوسفر ریحان گزارش کردند که کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست در تمامی سطوح موجب افزایش کربن آلی، تنفس میکروبی، زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم اوره‌آز نسبت به تیمار شاهد شده اما این روند افزایشی در بین تیمارها مشابه نبود (۳۷). در این مطالعه، بیش‌ترین کربن زیست‌توده میکروبی خاک (۳۱۷،۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)

از طرف دیگر، غنی‌سازی میکروبی ورمی‌کمپوست (با تلقیح باکتری‌ها در طی فرآیند ورمی‌کمپوست کردن) می‌تواند به تثبیت جمعیت‌های میکروبی مفید در محصول نهایی کمک کند، به‌گونه‌ای که این میکروارگانیسم‌ها در خاک پس از کاربرد نیز پایدارتر باقی بمانند و فعالیت بیشتری داشته باشند. چنین رویکردی باعث تقویت فرآیندهای تجزیه و تبدیل مواد آلی، هم‌چنین حفظ مواد مغذی در دسترس برای گیاه می‌شود (۶).

افزایش فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی است که باعث تحریک رشد ریشه، افزایش انتشار ریزمغذی‌ها، و ارتقای فعالیت و جمعیت میکروارگانیسم‌ها در خاک می‌شود (۳۹). به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای مقایسه‌ای نشان داده شده است که پس از کاربرد ورمی‌کمپوست، مقادیر کربن قابل تجزیه و نیتروژن معدنی‌شدنی افزایش یافته و این ترکیبات به‌عنوان منابع انرژی و مواد مغذی برای میکروارگانیسم‌ها عمل کرده‌اند؛ نتیجه آن افزایش فعالیت میکروبی و زیست‌توده میکروبی خاک است (۴۰).



شکل ۷- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر کربن زیست توده میکروبی خاک پس از برداشت ریحان.

Figure 7. Effect of experimental treatments on microbial biomass carbon after basil harvest.

غنی‌شده نشان داد. این موضوع بیانگر آن است که خود ورمی‌کمپوست به‌عنوان منبع غنی مواد آلی و عناصر غذایی، اثر قابل‌توجهی بر رشد ریحان دارد. در عین‌حال، غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با برخی سویه‌های باکتریایی، به‌ویژه *Bacillus megaterium* 56 و *Bacillus velezensis* FOL، توانست در برخی شاخص‌ها نظیر ارتفاع گیاه و ویژگی‌های زیستی خاک

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طورکلی نقش مهمی در بهبود صفات رشدی ریحان نسبت به شاهد سستی (کود دامی) داشت. در صفات اصلی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی، ورمی‌کمپوست معمولی بدون غنی‌سازی عملکردی هم‌سطح یا حتی بالاتر از برخی تیمارهای

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

الناز فتاحی: آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله.

علی بهشتی آل آقا: طرح تحقیق و روش‌شناسی، مشارکت در آنالیزها، نظارت بر انجام تحقیق، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله.

روح‌الله شریفی: طرح تحقیق و روش‌شناسی، تهیه و آماده‌سازی داده‌ها.

حمیدرضا چقازردی: طرح تحقیق و روش‌شناسی، بازبینی مقاله.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه رازی کرمانشاه و در قالب یک پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صورت گرفته است.

مانند تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی اثر مثبت‌تری بر جای گذارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثرگذاری غنی‌سازی وابسته به نوع سویه باکتری بوده و در همه صفات رشدی یکسان نبوده و تیمار *Pseudomonas putida* 54 کارایی پایینی داشت. به‌طورکلی می‌توان گفت ورمی‌کمپوست، چه به‌صورت ساده و چه غنی‌شده، یک نهاده ارزشمند برای بهبود رشد و کیفیت خاک محسوب می‌شود. با این حال، نقش غنی‌سازی بیش‌تر در بهبود برخی شاخص‌های خاک آشکار بود تا در افزایش معنی‌دار زی‌توده گیاهی. بنابراین، استفاده از ورمی‌کمپوست غنی‌شده باید با انتخاب دقیق سویه‌های باکتریایی و در کنار سایر مدیریت‌های زراعی بررسی گردد. برای تأیید این نتایج، انجام پژوهش‌های بیش‌تر در شرایط مزرعه‌ای و با سطوح مختلف مصرف ورمی‌کمپوست توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه رازی کرمانشاه که موجبات تسهیل انجام این تحقیق را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این تحقیق در صورت مکاتبه با نویسنده مسئول (علی بهشتی آل آقا) قابل دسترسی می‌باشند.

منابع

1. Leithy, S., Gaballah, M., & Gomaa, A. (2009). Associative impact of bio-and organic fertilizers on geranium plants grown under saline conditions. *International Journal of Academic Research*, 1(1), 1-7.
2. Banchio, E., Bogino, P. C., Zygodlo, J., & Giordano, W. (2008). Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *Origanum majorana* (L.). *Biochemical Systematics and Ecology*, 36(10), 766-771. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2008.08.006>.
3. Song, X., Liu, M., Wu, D., Griffiths, B. S., Jiao, J., Li, H., & Hu, F. (2015). Interaction matters: Synergy between vermicompost and PGPR agents improves soil quality, crop quality and

- crop yield in the field. *Applied Soil Ecology*, 89, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.01.005>.
4. Akhgar, A., & Sotodeh, P. (2021). Effect of combined application of vermicompost and plant growth promoting rhizobacteria on seed yield in Sesame. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 823-838. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.321216.2533>.
5. Khan, K., Pankaj, U., Verma, S. K., Gupta, A. K., Singh, R. P., & Verma, R. K. (2015). Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties. *Industrial Crops and Products*, 70, 404-409. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.066>.
6. Bhargava, A., Sharma, S., & Trivedi, S. (2023). Enhancement or enrichment of the vermicompost by microbial inoculation. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(19), 1923-1935.
7. Kumar, M., Chaudhary, V., Chaudhary, V., Kumar, R., Kaushik, K., Bhatt, R., Naresh, R. K., Gaber, A., & Hossain, A. (2025). Microbial enriched vermicompost efficiently substitutes soil nutrients, microbial populations and enzymatic activity for the growth and yield of tuberose (*Agave amica Medik.*) cv. Single. *Folia Microbiologica*. <https://doi.org/10.1007/s12223-025-01325-w>.
8. Kaleji, M. K., Ardakani, M., Khodabandeh, N., & Fazel, M. A. (2018). Effects of Mycorrhizal Symbiosis along with Vermicompost and Tea Compost on Quantity and Quality Yield of *Mentha aquatica* L. *journal of crop ecophysiology*, 12(47), 461-476. <https://doi.org/10.30495/jcep>.
9. Kaleji, M. K., & Ardakani, M. R. (2017). Effects of different organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Melissa officinalis* (L.) under *Glomus mosseae* mycorrhizal symbiosis. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 12(47), 57-65.
10. Busato, J. G., Lima, L. S., Aguiar, N. O., Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2012). Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. *Bioresource technology*, 110, 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.126>.
11. Mahanta, K., Jha, D., Rajkhowa, D., & Manoj-Kumar. (2012). Microbial enrichment of vermicompost prepared from different plant biomasses and their effect on rice (*Oryza sativa* (L.)) growth and soil fertility. *Biological Agriculture and Horticulture*, 28(4), 241-250. <https://doi.org/10.1080/01448765.2012.738556>.
12. Ali, M. N., Chakraborty, S., Saha, P., & Lodh, N. (2013). Improvement of vermicompost: Influence of feeding materials and inoculation of nitrogen-fixing and phosphate-solubilising bacteria. *Prospects in Bioscience*.
13. Darzi, M. T., Seyedhadi, M. H., & Rejali, F. (2012). Effects of the application of vermicompost and phosphate solubilizing bacterium on the morphological traits and seed yield of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(2), 215-219. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.949>.
14. Mal, S., Chattopadhyay, G., & Chakrabarti, K. (2021). Microbiological integration for qualitative improvement of vermicompost. *International journal of recycling organic waste in agriculture*, 10(2), 157-166. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1902019.1087>.
15. Fujii, K., Ikeda, K., & Yoshida, S. (2012). Isolation and characterization of aerobic microorganisms with cellulolytic activity in the gut of endogeic earthworms. *International Microbiology*, 15(3), 121-130. <https://doi.org/10.2436/20.1501.01.165>.
16. Begum, M., & Bora, P. (2018). Isolation and identification of bacterial strains in vermicompost and vermiwash. *International Journal of Recent Research Review*, 1(21), 563-567.

17. Hemati, A., Alikhani, H., Pourbabaee, A., & Marandi, G. B. (2013). Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(3), 117-128.
18. Alikhani, H., & Hemati, A. (2014). Effect of vermicompost enrichment with chemical fertilizer and bacterial treatments on humification and acid humic properties. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(1), 113-125.
19. Anderson, J. P. (1983). Soil Respiration. In *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties* (Vol. 9, pp. 831-871). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
20. Horwath, W., & Paul, E. (1994). Microbial biomass. In *Methods of soil analysis: part 2 microbiological and biochemical properties* (Vol. 5, pp. 753-773).
21. Alef, K. (1995). Phosphatase Activity. In K. Alef & P. Nannipieri (Eds.), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry* (pp. 311-373).
22. Kumari, M., Kumar, S., Chauhan, R. S., & Ravikanth, K. (2011). Bioconversion of herbal industry waste into vermicompost using an epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Waste Management and Research*, 29(11), 1205-1212. <https://doi.org/10.1177/0734242x10384432>.
23. Liu, J., Shu, A., Song, W., Shi, W., Li, M., Zhang, W., Li, Z., Liu, G., Yuan, F., & Zhang, S. (2021). Long-term organic fertilizer substitution increases rice yield by improving soil properties and regulating soil bacteria. *Geoderma*, 404, 115287. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115287>.
24. Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., Bisht, J. K., Pattanayak, A., Naveed, M., & Dotaniya, M. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review. *Ecological Engineering*, 107, 8-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>.
25. Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>.
26. Rathor, P., Gorim, L. Y., & Thilakarathna, M. S. (2023). Plant physiological and molecular responses triggered by humic based biostimulants - A way forward to sustainable agriculture. *Plant and Soil*, 492(1), 31-60. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06156-7>.
27. Tartoura, K. A., Youssef, S. A., & Tartoura, E. S. A. (2014). Compost alleviates the negative effects of salinity via up-regulation of antioxidants in *Solanum lycopersicum* (L.) plants. *Plant growth regulation*, 74, 299-310. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9923-y>.
28. Beltrán-Medina, J. I., Toro-Tobón, G., Mendoza-Labrador, J. A., Quintero-Beyoda, A. C., Bermudez-Cordoba, M. B., & Estrada-Bonilla, G. A. (2025). Optimizing basil production and fertilizer use efficiency with consortia of plant growth-promoting bacteria. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1591969. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1591969>.
29. Gupta, R., Yadav, A., & Garg, V. (2014). Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0047-1>.
30. Ceritoğlu, M., Şahin, S., & Erman, M. (2018). Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), 607-615.
31. Rahi, A. R. (2013). Evaluation of relationships among some morphological

- and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* (L.)) under effect of super nitro plus and bio super phosphate. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 7(26), 125-135.
32. Shahriari, S., Shabani, G., & Ahmadi, M. K. (2015). The effect of vermicompost application on growth characteristics and essential oil of basil (*Ocimum basilicum* (L.)). *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 11(1), 127-134. <https://doi.org/10.12816/0030079>.
 33. Rossini-Oliva, S., Mingorance, M., & Peña, A. (2017). Effect of two different composts on soil quality and on the growth of various plant species in a polymetallic acidic mine soil. *Chemosphere*, 168, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.040>.
 34. Meena, A. L., & Kumari, S. (2020). Vermicomposting: An approach towards Agricultural Waste Management. *Agriculture and Food*, 2(5), 363-367.
 35. Marinari, S., Lagomarsino, A., Moscatelli, M. C., Di Tizio, A., & Campiglia, E. (2010). Soil carbon and nitrogen mineralization kinetics in organic and conventional three-year cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.002>.
 36. Ray, R. L., Kularathna, K. M., Griffin, R. W., Abeysingha, N., Woldeesenbet, S., Elhassan, A., Awal, R., & Fares, A. (2025). Enhancing plant and soil health through organic amendments in a humid environment. *Rhizosphere*, 35, 101126. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2025.101126>.
 37. Dehghan Monshadi, H., Bahmanyar, M. A., Salek Gilani, S., & Lakzian, A. (2021). *The effect of using sewage sludge and sewage sludge enriched with chemical fertilizer on the amount of soil enzyme activity during the growing period of basil* National Conference of Medicinal Plants.
 38. Toor, M. D., Ay, A., Ullah, I., Demirkaya, S., Kızılkaya, R., Mihoub, A., Zia, A., Jamal, A., Ghfar, A. A., & Di Serio, A. (2024). Vermicompost rate effects on soil fertility and morpho-physio-biochemical traits of lettuce. *Horticulturae*, 10(4), 418. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040418>.
 39. Das, D., Abhishek, K., Banik, P., & Swain, D. K. (2022). Comparative evaluation of changes in soil biochemical properties after application of traditional and enriched vermicompost. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102956. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102956>.
 40. Raza, S. T., Rong, L., Rene, E. R., Ali, Z., Iqbal, H., Sahito, Z. A., & Chen, Z. (2024). Effects of vermicompost preparation and application on waste recycling, NH₃, and N₂O emissions: A systematic review on vermicomposting. *Environmental Technology & Innovation*, 35, 103722. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103722>.