Vol 26, No. 4, Winter 2025

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

The Effect of Azotobacter and Vermicompost Application on Growth and Physiological Characteristics of Watercress (*Nasturtium officinale*) under Water Stress

Setayesh Mohebbi[1] | **Marzieh Ghanbari Jahromi**[2]✉ | **Weria Weisany**[3]

1. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: setayesh.mohebbi@srbiau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: ghanbari@srbiau.ac.ir
3. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: w.weisany@srbiau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 7 November 2023
Received in revised form
30 October 2024
Accepted 30 November 2024
Published online 30 December 2024

Keywords:
Azotobacter
Biological and organic fertilizers
Phenolic content
Water stress
Watercress

ABSTRACT

Objective: The application of biological and organic fertilizers to alleviate the effects of water stress in medicinal plants is eminent. The present research was conducted to investigate the effect of vermicompost amendment and azotobacter biofertilizer on the growth, physiological and biochemical properties of the watercress (*Nasturtium officinale* L.) under water stress conditions.

Methods: Water stress at three levels (including 100, 70 and 40 percent of field capacity (FC)) and organic and biological fertilizers at four levels (vermicompost (15 percent by volume), *Azotobacter crococum*, vermicompost (7.5 percent vermicompost by volume)+ azotobacter, and control) were investigated in a factorial experiment based on a completely randomized design.

Results: The results showed that the water stress at 40 percent FC caused a significant decrease in shoot dry weight, root dry weight, and chlorophyll b, and increased soluble sugars compared to the control. The treatment of 70 percent FC resulted in the highest amount of total phenol. Vermicompost alone and in combination with azotobacter had the greatest role in modulating water stress by increasing plant growth and photosynthetic pigment content. The highest amounts of chlorophyll a, total chlorophyll, and relative leaf water content were obtained in the treatments containing vermicompost and its combination with azotobacter without water stress. The highest activity of catalase and superoxide dismutase enzymes was observed under 40% agricultural capacity stress conditions without the application of fertilizer, while vermicompost and Azotobacter caused a reduction in enzymatic activity under severe stress conditions.

Conclusion: The overall results of the research showed that vermicompost alone or in combination with azotobacter plays an important role in modulating water stress by increasing the yield of watercress plants.

Cite this article: Mohebbi, S., Ghanbari Jahromi, M., & Weisany, W. (2025). The Effect of Azotobacter and Vermicompost Application on Growth, Physiological and Biochemical Characteristics of Watercress (*Nasturtium officinale*) under Water Stress Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 26 (4), 825-841.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.367825.2864

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.367825.2864

دوره بیست و ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

تأثیر ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رشدی و ویژگی‌های فیزیولوژی گیاه علف‌چشمه (*Nasturtium officinale*) تحت تنش آبی

ستایش محبی[۱] | مرضیه قنبری‌جهرمی[۲]✉ | وریا ویسانی[۳]

۱. گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: setayesh.mohebbi@srbiau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: ghanbari@srbiau.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: w.weisany@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

کلیدواژه‌ها:

ازتوباکتر

تنش آبی

علف‌چشمه

کود آلی و کود زیستی

محتوای قندی

چکیده

هدف: استفاده از کودهای زیستی و آلی به‌منظور کاهش اثرات تنش خشکی در تولید گیاهان اهمیت خاصی دارد. پژوهش حاضر جهت بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر بر رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه خوراکی و دارویی علف‌چشمه (*Nasturtium officinale* L.) انجام شد.

روش پژوهش: تنش آبی در سه سطح (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و کودهای آلی و زیستی در چهار سطح (ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)، ازتوباکتر کروکوکوم، ترکیب ورمی‌کمپوست (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)+ ازتوباکتر کروکوکوم و شاهد) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بر گیاه علف‌چشمه بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه و کلروفیل b و افزایش قندهای محلول نسبت به شاهد شد. تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک موجب تولید بیش‌ترین مقدار قنل کل گردید. ورمی‌کمپوست به‌تنهایی و به‌صورت ترکیب با ازتوباکتر دارای بیش‌ترین نقش در تعدیل تنش خشکی با افزایش رشد و محتوای فتوسنتزی گیاه شدند. بیش‌ترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل و محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست و ترکیب آن با ازتوباکتر در شرایط عدم تنش خشکی به‌دست آمد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد کود مشاهده شد، درحالی‌که ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب کاهش فعالیت آنزیمی در شرایط تنش شدید شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی پژوهش نشان داد که ورمی‌کمپوست به‌تنهایی یا با ترکیب با ازتوباکتر نقش مهمی در تعدیل تنش خشکی با افزایش عملکرد گیاه علف‌چشمه دارند.

استناد: محبی، ستایش؛ قنبری‌جهرمی، مرضیه و ویسانی، وریا (۱۴۰۳). تأثیر ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رشدی و ویژگی‌های فیزیولوژی گیاه علف‌چشمه (*Nasturtium officinale*) تحت تنش آبی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۴)، ۸۲۵-۸۴۱.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.367825.2864

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

علف‌چشمه گیاه چندساله آبزی یا نیمه‌آبزی سریع‌الرشد با نام علمی *Nasturtium officinale* و نام انگلیسی Watercress متعلق به خانواده براسیکاسه[1] و یکی از قدیمی‌ترین سبزیجات برگی مصرفی شناخته‌شده توسط انسان است (گیل[2] و همکاران، ۲۰۰۷). در ایالت هاوایی مصرف گیاه علف‌چشمه به‌عنوان منبع غنی از کلسیم و در ایالات متحده به‌عنوان یک گیاه سالادی اهمیت قابل‌توجهی دارد (سیفرید[3] و همکاران، ۲۰۰۳). رنگیزه‌هایی مانند کارتنوئیدها و کلروفیل موجود در علف‌چشمه دارای پتانسیل قابل‌توجهی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی است که توانایی مهار سرطان را دارد. در عین‌حال، این گیاه در حل مشکلات قلبی و عروقی مؤثر می‌باشد (داداش‌پور[4] و همکاران، ۲۰۱۸). در ریشه این گیاه ۲۰ ترکیب اسیدکوماریک و مشتقات آن، اسیدسیناپیک، اسیدکافاریک و مشتقات کوئروستین ترکیبات اصلی قنلی شناسایی شد. در طول تاریخ اثراتی برای علف‌چشمه قائل بوده‌اند که شامل درمان سرماخوردگی، برونشیت، درد مفاصل، کمر درد، کم خونی و دیابت است (پناهی‌کوخدان[5] و همکاران، ۲۰۲۱).

در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست‌محیطی را دارا باشد، امری ضروری است (بختیاری[6] و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از شیوه‌های افزایش مقاومت گیاهان به تنش استفاده از کودهای زیستی و آلی است (امیری‌پور[7] و همکاران، ۲۰۲۱). در حال حاضر کودهای زیستی به‌عنوان گزینه‌های جایگزین برای کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند (ساکی[8] و همکاران، ۲۰۱۹). ورمی‌کمپوست سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش تهویه و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد (عموآقایی[9] و گل‌محمدی[10]، ۲۰۱۷). ازتوباکتر از جمله باکتری‌های محرک رشد مورداستفاده می‌باشد که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکینین رشدونمو و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (عاصفر[11] و همکاران، ۲۰۲۱).

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود (قاسمی-گلعذانی[12] و همکاران، ۲۰۱۶). که به‌وسیله کاهش محتویات آب، تضعیف پتانسیل آب برگ و انسداد روزنه موجب کاهش بزرگ‌شدن سلول و رشد آن می‌شود (حسینی‌فرد[13] و همکاران، ۲۰۲۲). رنگیزه‌های فتوسنتزی در محل غشاهای تیلاکلوئید کلروپلاست برگ به‌عنوان واحد فتوسنتزی در گیاه نقش ویژه‌ای دارند، تنش شدید آب باعث شکسته‌شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. این تنش هم‌چنین فعالیت فتوشیمیایی را باز داشته و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین را کاهش می‌دهد و باعث بی‌نظمی سوخت‌وساز گیاه می‌شود (یاداو[14] و همکاران، ۲۰۲۱).

با توجه به توسعه خشکی در مناطق کشور و سیاست‌های کلان بخش گیاهان دارویی برای دستیابی به راه‌کارهای

1. Brassicaceae
2. Gill
3. Seifried
4. Dadashpour
5. Panahi Kokhdan
6. Bakhtiari
7. Amiripour
8. Saki
9. Amooaghaie
10. Golmohammadi
11. Aasfar
12. Ghassemi-Golezani
13. Hosseinifard
14. Yadav

ارگانیک مقاوم به این تنش، استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین تحقیق حاضر جهت بررسی تأثیر تعدیل‌کننده‌های تنش در کاهش اثرات کم‌آبی بر روی گیاه علف‌چشمه با هدف توسعه کشت این گیاه ارزشمند دارویی در مناطق مختلف کشور و سطوح مختلف آبیاری انجام شد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

مهم‌ترین سازوکارهای تأثیر PGPR[1] (رایزوباکترهای محرک رشد گیاه)، افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی با تثبیت زیستی نیتروژن و محلول‌کردن فسفر و پتاسیم، مهار زیستی عوامل بیماری‌زا با تولید پادزی‌های زیستی و تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه به‌ویژه اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها می‌باشد (باسو[2] و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده از کود زیستی ازتوباکتر بر روی انواع کلم موجب افزایش اسید آسکوربیک، قندهای محلول و رشد رویشی گیاه شد (سینگ[3] و سینگ[4]، ۲۰۱۹؛ شِر[5] و میشرا[6]، ۲۰۲۳؛ کوماری[7] و همکاران، ۲۰۱۹). امروزه کاربرد کود زیستی مبتنی بر ازتوباکتر با اثربخشی چندجانبه به‌عنوان جایگزین یا افزودنی کود شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی برای بهبود مواد مغذی موجود در خاک، تأمین برخی متابولیت‌ها در طول رشد گیاه و به حداقل‌رساندن میزان مصرف کود شیمیایی پیشنهاد می‌شود (هیندرسا[8] و همکاران، ۲۰۲۰).

کاربرد کمپوست جذب عناصر درشت‌مغذی ضروری برای بیوسنتز کلروفیل را بهبود می‌بخشد (قنبری‌جهرمی[9] و ابوطالبی[10]، ۲۰۰۹). ورمی‌کمپوست حاوی عناصر غذایی بسیار غنی به‌ویژه ازت بوده که به تدریج در اختیار گیاه قرار می‌دهد. ورمی‌کمپوست علاوه‌بر قابلیت جذب آب با حجم بالا، شرایط مناسب جهت دانه‌بندی و قدرت نگهداری مواد غذایی موردنیاز گیاهان را فراهم می‌نماید. ورمی‌کمپوست دارای عناصر ماکرو مانند ازت، فسفر و پتاسیم (که در فعالیت گیاه نقش اساسی دارند) و عناصر میکرو مانند آهن، مس، روی و منگنز می‌باشد. علاوه بر این با داشتن موادی مانند ویتامین و اکسین به‌عنوان محرک رشد گیاه عمل می‌نماید (امیری[11] و همکاران، ۲۰۱۷). اثر کود ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رشد و فیزیولوژی نهال‌های یکساله نارنج[12] تحت تنش خشکی (ضیغمی[13] و همکاران، ۲۰۲۰) و تأثیر کودهای آلی و زیستی روی گیاه مرزه ماکرانتا[14] (بختیاری[15] و همکاران، ۲۰۲۰) بررسی شد که نتایج نشان داد تنش خشکی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش وزن برگ و ریشه در گیاهان مورد اشاره گردید. در مرزه تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و کود NPK[16]، بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش رشد مورفولوژیکی و بیوشیمیایی، محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ داشت (بختیاری[17] و همکاران، ۲۰۲۰).

کاربرد باکتری‌های محرک رشد در گیاه ذرت و سورگوم (سمبل[18] و همکاران، ۲۰۲۰)، موز (کاوینو[19] و همکاران،

1. Plant growth-promoting rhizobacteria
2. Basu
3. Singh
4. Singh
5. Sher
6. Mishra
7. Kumari
8. Hindersah
9. Ghanbari Jahromi
10. Aboutalebi
11. Amiri
12. *Citrus aurantifolia* cv. Mexican Lime
13. Zeighami
14. *Satureja macrantha* L.
15. Bakhtiari
16. Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K)
17. Bakhtiari
18. Sumbul
19. Kavino

۲۰۱۰)، نخود[1] (رخزادی[2] و همکاران، ۲۰۱۱) و سیاه‌دانه (شالن[3]، ۲۰۰۵) سبب افزایش رشد، محتوای مواد قندی برگ و عملکرد آن‌ها نسبت به تیمار شاهد شد.

در پژوهش انجام‌شده بر روی گیاه علف‌چشمه جهت تعیین نیاز آبی این گیاه، نتایج نشان داد که بین میزان آب و نوع ماده گیاهی (نشای بذری و قلمه) اثر متقابل معنی‌داری وجود داشت. این عوامل تأثیر معنی‌داری بر متغیرهای مختلف از جمله طول بوته، تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه، وزن ریشه، وزن گیاه، وزن خشک گیاه، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و عملکرد داشت. در تیمار ماده گیاهی، میزان آب نسبی پیکره گیاه در نشای بذری در تمام سطوح آبیاری افزایش یافت. هم‌چنین در نشای بذر، وزن تر و خشک بوته در سطح ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه بهینه بود، درحالی‌که در سطح آب ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، وزن تر و خشک گیاه شروع به کاهش کردند که این کاهش در سطح آب ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بیش‌تر مشهود بود (ویداریانتو[4] و همکاران، ۲۰۱۷).

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی علف‌چشمه در شرایط تنش خشکی در بهار سال ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای واقع در کرج با فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد، حداکثر دما ۲۹ و حداقل دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بذرهای علف‌چشمه (تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر) ضدعفونی و در سینی‌های پلاستیکی حاوی پرلیت کشت و سپس دو عدد نشا به گلدان‌های ۳ لیتری انتقال داده شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل تنش خشکی در سه سطح (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عامل دوم شامل تیمارهای کودهای زیستی و آلی شامل ۱- ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)، ۲- ازتوباکتر کروکوکوم، ۳-ترکیب ورمی‌کمپوست (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)+ ازتوباکتر کروکوکوم و شاهد (بدون تیمار) بود. ورمی‌کمپوست از شرکت زیست‌فناور توران و ازتوباکتر از شرکت زیست‌فناور سبز تهیه شد. خصوصیات خاک مورداستفاده در جدول (۱) و خصوصیات ورمی‌کمپوست در جدول (۲) درج شده است، در طول دوره آزمایش از کود شیمیایی استفاده نشد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

پارامتر	مقدار
نیتروژن کل (درصد)	۰/۱۱
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۵/۳
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۲۵
کربن آلی (درصد)	۰/۶۷
لای (درصد)	۴۷
رس (درصد)	۲۷
شن (درصد)	۲۶
هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر متر)	۱/۲
اسیدیته	۶/۸

1. *Cicer arietinam* L.
2. Rokhzadi
3. Shaalan
4. Widaryanto

جدول ۲. ترکیبات ورمی‌کمپوست مورداستفاده در پژوهش حاضر

پارامتر	واحد	مقدار
ماده آلی	درصد	۷۲/۷
کربن آلی	درصد	۳۵
نیتروژن	درصد	۲/۹۰
نیترات	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳۱۰۰
گوگرد	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۵۲۰
سدیم	درصد	۰/۳۰
پتاسیم	درصد	۰/۵۴
فسفر	درصد	۰/۴۳۶
هدایت الکتریکی	میلی‌دسی‌زیمنس بر متر	۱۷۵
اسیدیته	–	۶/۵
خاکستر کل	درصد	۲۷/۳
چگالی ظاهری	گرم بر سانتی‌مترمکعب	۰/۱۳۱

برای تلقیح با ازتوباکتر، یک گرم از آن که حاوی ۱×۱۰^{۸} باکتری خالص زنده و فعال بود در یک لیتر آب مقطر حل و بذرها کامل با محلول آغشته شدند (ابراهیمی و فرایی، ۱۴۰۱). ورمی‌کمپوست به‌صورت مخلوط با خاک گلدان استفاده شد. تنش خشکی براساس ظرفیت زراعی خاک در مرحله چهاربرگی (یک ماه پس از کاشت گیاهان) اعمال گردید. با استفاده از دستگاه صفحات فشاری درصد وزنی رطوبت خاک در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین (رابطه ۱) و سپس سطوح تنش مشخص شد. در ابتدا وزن خاک خشک و درصد رطوبت مزرعه‌ای و سپس وزن نرمالی که هر گلدان در هر سطح رطوبتی باید داشته باشد، به‌دست آمد (بنامی‌اوفن[1]، ۱۹۸۴).

$$Vn= (FC-PWP)\times Vp\times F$$ رابطه ۱)

که در رابطه بالا، Vn مقدار آب داده‌شده (برحسب مترمکعب) به هر بستر در هر نوبت آبیاری است. FC رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، PWP نقطه پژمرگی دائم (درصد)، Vp حجم گلدان، F ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب ۰/۵ است. FC و PWP با وجود ورمی‌کمپوست ۱۵ درصد به‌ترتیب ۴۳ و ۲۱ درصد حجمی و با وجود ورمی‌کمپوست ۷/۵ درصد به‌ترتیب ۴۱ و ۲۱ درصد حجمی بود.

تنش خشکی به‌مدت ۵۰ روز (از نیمه خرداد) اعمال و یک هفته پس از پایان دوره تنش، گیاهان برداشت و صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زیر اندازه‌گیری شد.

۳. ۱. صفات وزنی

وزن تر اندام هوایی و ریشه هر بوته پس از برداشت با ترازوی دیجیتال[2] با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. پس از خشک‌کردن اندام هوایی و ریشه گیاه در دستگاه آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به‌دست آمد.

۳. ۲. صفات فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش آرنون[3] (۱۹۴۹) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160، ژاپن) و رابطه‌های زیر کلروفیل a (رابطه ۲)، کلروفیل b (رابطه ۳) و کلروفیل کل (رابطه ۴) محاسبه شد.

1. Benami Ofen
2. Digital scale
3. Arnon

رابطه ۲) [(12.7× A663)– (2.69× A645)]×V / 1000× W = میلی‌گرم کلروفیل a در هر گرم برگ‌تر

رابطه ۳) [(22.9× A645)– (4.69× A663)]×V / 1000× W = میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم برگ‌تر

رابطه ۴) [(20.2× A645) + (8.02× A663)]×V / 1000× W= میلی‌گرم کلروفیل کل در هر گرم برگ‌تر

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول‌موج موردنظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W وزن برگ تازه برحسب گرم است.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)[1] از رابطه (۵) محاسبه شد، که در آن FW، وزن تر برگ؛ DW، وزن خشک برگ و TW وزن اشباع برگ پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشد (ریچی[2] و همکاران، ۱۹۹۰).

رابطه ۵) $RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100$

۳. ۳. صفات بیوشیمیایی

برای سنجش قند از روش فنل–سولفوریک (ماسوکو[3] و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده شد. اندازه‌گیری ترکیب‌های فنلی به‌وسیله فولین سیوکالتو به‌عنوان معرف و اسیدگالیک به‌عنوان استاندارد به‌وسیله اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160، ژاپن)، انجام شد (اوچیک[4] و همکاران، ۲۰۱۱).

۳. ۴. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160، ژاپن)، در طول موج ۲۴۰ نانومتر استفاده شد (ماکادام[5] و همکاران، ۱۹۹۲).

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)[6] با قابلیت آن در بازدارندگی واکنش احیایی فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم (NBT) تعیین شد (جیانوپولیتیس[7] و رایس[8]، ۱۹۷۷).

۳. ۵. آنالیز آماری

پیش از هرگونه اقدام جهت انجام محاسبات آماری بر روی داده‌ها، نخست با استفاده از نرم‌افزار Minitab نرمال‌بودن داده‌ها موردارزیابی قرار گرفت و آزمون همگنی واریانس‌ها بر روی داده‌ها انجام شد. پس از اطمینان از حالت توزیع نرمال داده‌ها، محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳) انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۱ درصد با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[9] بررسی و نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار اکسل[10] رسم شدند.

1. Relative water content
2. Ritchie
3. Masuko
4. Ouchikh
5. Macadam
6. Super Oxide Dismutase
7. Giannopolitis
8. Ries
9. Least Significant Difference
10. Excel

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. صفات وزنی

اثرات اصلی تنش خشکی، کودهای زیستی و آلی (ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست) بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه علف‌چشمه معنی‌دار (P≤۰/۰۱) شد در حالی‌که اثرات متقابل فاکتورهای موجود بر وزن گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات وزن اندام‌های گیاه علف‌چشمه

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
تنش خشکی	۲	۲۷/۶۳**	۱/۵۷**	۲/۴۷**	۰/۱۹**
ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۳	۵/۱۷**	۰/۲۵**	۰/۱۱**	۰/۰۱**
تنش خشکی×ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۶	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۲۲	۰/۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۴/۴۲	۵/۹۶	۳/۴۱	۳/۵۸

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

تنش خشکی سبب کاهش اما ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه شد. تنش در سطوح ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌ترتیب کاهش ۸/۱۶ و ۳۴/۷۵ درصدی وزن تر اندام هوایی و کاهش ۱۴/۱۷ و ۲۹/۱۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شرایط شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) نشان دادند. ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر و ترکیب آن‌ها به‌ترتیب سبب افزایش ۲۲/۴۵، ۱۰/۵۱ و ۲۶/۷۵ درصدی وزن تر و افزایش ۱۶/۲۳، ۶/۸۱ و ۱۹/۳۷ درصدی وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

جدول ٤. نتایج مقایسه میانگین های صفات وزنی تحت اثر ساده تیمار تنش خشکی و کود

تیمار	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)				
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۸/۴۶a	۲/۴۷a	۳/۹۲a	۱/۰۶a
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۷/۷۷b	۲/۱۲b	۳/۷۲b	۱/۰۳a
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	۵/۵۲c	۱/۷۵c	۳/۰۶c	۰/۸۳b
کود				
شاهد	۶/۲۸c	۱/۹۱c	۳/۴۴b	۰/۹۴b
ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۷/۶۹a	۲/۲۲a	۳/۶۹a	۱/۰۰a
ازتوباکتر	۶/۹۴b	۲/۰۴b	۳/۵۱b	۰/۹۶b
ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۷/۹۶a	۲/۲۸a	۳/۶۳a	۰/۹۹a

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

تنش خشکی سبب کاهش اما ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه شد. کاهش ۲۱/۹۴ درصدی وزن تر و ۲۱/۷ درصدی وزن خشک ریشه با اعمال تنش در سطح ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. تیمار ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر و ترکیب ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه شدند، اگرچه ازتوباکتر به‌تنهایی با شاهد تفاوت معنی‌دار در صفات مذکور نداشت. وزن خشک ریشه از ۰/۹۴ گرم در تیمار شاهد تا ۱ گرم در تیمار ورمی‌کمپوست متغیر بود (جدول ۴).

۴. ۲. کلروفیل برگ

اثرات اصلی تنش خشکی، کودهای زیستی و آلی (ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست) بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ گیاه علف‌چشمه معنی‌دار (P≤۰/۰۱) شد در حالی‌که اثرات متقابل فاکتورهای مذکور بر کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار نبود (جدول ۵).

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات کلروفیل برگ علف‌چشمه

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تنش خشکی	۲	۰/۲۰**	۰/۰۵**	۰/۵۴**
ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۳	۰/۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۵**
تنش خشکی×ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۶	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳**
خطا	۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱/۳۶	۳/۶۳	۱/۸۵

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

تنش خشکی سبب کاهش اما ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب افزایش محتوای کلروفیل شد. در تیمارهای بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر در سطح ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، کاهش ۶ درصدی کلروفیل a و ۲۷ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد مشاهده شد. اما ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب بهبود محتوای فتوسنتزی شدند، به‌طوری‌که در گیاهان تحت تأثیر تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر و ترکیب ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱، ۱۴ و ۲۲ درصدی کلروفیل a و افزایش ۲۰، ۱۳ و ۱۹ درصدی کلروفیل کل شد (جدول ۶).

جدول ٦. نتایج مقایسه میانگین‌های کلروفیل a و کل گیاه علف‌چشمه تحت اثر متقابل تیمار تنش خشکی و کود

	تیمار	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۱/۰۸c	۱/۵۵c
	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۱/۱۸a	۱/۴۹d
	ازتوباکتر	۱/۱۳b	۱/۱۴g
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۱/۲۰a	۱/۷۱a
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۱/۰۲e	۱/۵۹c
	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۱/۰۸c	۱/۳۶e
	ازتوباکتر	۱/۰۴de	۱/۶۵b
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۱/۰۶cd	۱/۵۴c
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	h۰/۷۷	۱/۲۶f
	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	f۰/۹۴	۱/۷۴a
	ازتوباکتر	g۰/۸۸	۱/۵۷c
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	f۰/۹۵	۱/۳۵e

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

در گیاهان تحت تأثیر تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، کلروفیل b نسبت به شرایط عدم تنش ۳۲/۵ درصد کاهش نشان داد، استفاده از کود ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان) و ترکیب ورمی‌کمپوست با ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان موجب افزایش ۱۵/۶۲ درصدی کلروفیل b نسبت به عدم کاربرد کود (شاهد) گردید (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین‌های صفات مختلف علف‌چشمه تحت اثر ساده تیمار تنش خشکی و کود

تیمار	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر)
تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۴۰a
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۳۸b
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۲۷c
کود	
شاهد	۰/۳۲c
ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۳۷a
ازتوباکتر	۰/۳۵b
ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۳۷a

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴. ۳. محتوای نسبی آب برگ و قندهای محلول

اثرات اصلی تنش خشکی، کودهای زیستی و آلی (ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست) بر محتوای نسبی آب برگ و قندهای محول گیاه علف‌چشمه معنی‌دار (P≤۰/۰۱) شد، در حالی‌که اثرات متقابل فقط بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار شد (جدول ۸).

جدول ۸. تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ و قندهای محلول برگ علف‌چشمه

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	قندهای محلول
تنش خشکی	۲	۸۱۸**	۳۵/۱**
ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۳	۹۰/۶**	۱/۷۲**
تنش خشکی×ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۶	۵/۳۳**	۰/۸۷ns
خطا	۲۲	۰/۵۹	۰/۵۵
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱/۰۲	۵/۶۱

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

۴. ۳. ۱. محتوای نسبی آب برگ

تنش خشکی سبب کاهش اما ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب افزایش وزن تر ریشه شد. محتوای نسبی آب برگ از ۶۸/۶ درصد در تیمار تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی تا ۹۳ درصد در تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر بدون تنش خشکی متغیر بود (جدول ۹).

جدول ۹. نتایج مقایسه میانگین‌های صفات مختلف علف‌چشمه تحت اثر متقابل تیمار تنش خشکی و کود

	تیمار	محتوای نسبی آب برگ (درصد)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۸۸/۰۰c
	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۹۲/۳۳a
	ازتوباکتر	۹۰/۳۳b
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۹۳/۰۰a
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۸۳/۰۰d
	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۸۷/۶۷c
	ازتوباکتر	۸۸/۰۰c
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۸۹/۶۷b
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۶۸/۶۸h
	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۷۷/۳۳f
	ازتوباکتر	۷۵/۳۳g
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۷۹/۰۰e

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴. ۳. ۲. قندهای محلول

تنش خشکی سبب افزایش ولی ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب کاهش آن شد. افزایش ۱۰ درصدی قندهای محلول با اعمال تنش در سطح ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. گیاهان تیمار شده با ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر و ترکیب ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر دارای مقدار کم‌تری از قندهای محلول نسبت به شاهد بودند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. نتایج مقایسه میانگین‌های قندهای محلول گیاه علف‌چشمه تحت اثر ساده تیمار تنش خشکی و کود

تیمار	قندهای محلول (میلی‌گرم در گرم وزن تر)
تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۱۱/۷۵c
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۱۲/۹۷b
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	۱۵/۱۲a
کود	
شاهد	۱۳/۹۲a
ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۱۲/۹۳b
ازتوباکتر	۱۳/۱۴b
ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۱۳/۱۲b

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴. ۴. قنل کل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

اثرات اصلی تنش خشکی، کودهای زیستی و آلی (ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست) بر قنل کل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ گیاه علف‌چشمه معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) شد، در حالی‌که اثرات متقابل فاکتورهای مذکور بر قنل کل معنی‌دار نشد. اگرچه اثرات متقابل تنش خشکی، کودهای زیستی و آلی (ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست) بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز گیاه علف‌چشمه معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) شد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. تجزیه واریانس صفات قنل کل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ علف‌چشمه

منابع تغییرات	درجه آزادی	قنل کل	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز
تنش خشکی	۲	۸۶/۳۳**	۰/۳۰**	۳۱/۵۴**
ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۳	۴۵/۳۱**	۰/۰۱**	۰/۲۶**
تنش خشکی×ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر	۶	۳۰/۰۹ns	۰/۰۰۱**	۱/۸۱**
خطا	۲۲	۳/۴۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۸/۲۹	۵/۰۷	۶/۲۷

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

۴. ۴. ۱. قنل کل

تنش خشکی ملایم (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) سبب افزایش ۲۵ درصدی قنل کل نسبت به شاهد شد. ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر قنل کل را در گیاه افزایش دادند. گیاهان تیمار شده با ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر و ترکیب ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر به‌ترتیب سبب افزایش ۲۳، ۱۲ و ۲۴ درصدی قنل کل نسبت به شاهد شدند (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. نتایج مقایسه میانگین‌های قنل کل علف‌چشمه تحت اثر ساده تیمار تنش خشکی و کود

تیمار	قنل کل (میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن خشک)
تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۰/۲۶b
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۵/۳۰a
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۱/۱۹b
کود	
شاهد	۱۹/۳۳c
ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۲۳/۸۹a
ازتوباکتر	۲۱/۶۴b
ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۲۴/۱۳a

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴. ۴. ۲. فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز

در تیمارهای بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر، افزایش ۱/۵ و ۲/۴ برابری فعالیت کاتالاز و افزایش ۱/۸ و ۳/۱ برابری فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب در سطوح ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد مشاهده شد. از طرفی دیگر ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر سبب تعدیل فعالیت کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز شدند، به‌طوری‌که در گیاهان تحت تأثیر تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، کاهش ۲۵، ۱۶ و ۲۱ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز و کاهش ۲۴، ۱۴ و ۲۶ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به‌ترتیب با ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر و ترکیب ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر نسبت به شاهد به‌دست آمد (جدول ۱۳).

جدول ۱۳. نتایج مقایسه میانگین‌های صفات مختلف علف‌چشمه تحت اثر متقابل تیمار تنش خشکی و کود

	تیمار	کاتالاز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)
	شاهد	۰/۳۲h	۲/۴۰h
۱۰۰ درصد	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۳۳gh	۳/۸۰ef
ظرفیت زراعی	ازتوباکتر	۰/۳۷fg	۳/۰۷g
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۳۵f-h	۳/۶۰f
	شاهد	۰/۴۷d	۴/۴۰d
۷۰ درصد	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۳۸f	۳/۷۰ef
ظرفیت زراعی	ازتوباکتر	۰/۴۳e	۴/۱۰d-f
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۳۸f	۴/۱۷de
	شاهد	۰/۷۷a	۷/۶۰a
۴۰ درصد	ورمی‌کمپوست (۱۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۵۸c	۵/۷۳c
ظرفیت زراعی	ازتوباکتر	۰/۶۴b	۶/۴۷b
	ورمی‌کمپوست× ازتوباکتر (۷/۵ درصد وزنی حجمی گلدان)	۰/۶۰bc	۵/۶۳c

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۵. بحث

مهم‌ترین دلایل کاهش در وزن گیاه در طول دوره تنش، اثرات سوء تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و متابولیسم نیتروژن اعلام شد (میرا[1] و همکاران، ۲۰۱۸). اهمیت ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک کاهش‌دهنده تنش گیاهی در چند سال گذشته به‌دلیل توانایی آن در افزایش حاصلخیزی خاک، جذب و

1. Mira

رشد مواد مغذی و بهبود ظرفیت نگهداری آب در گیاهان تحت تنش افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد که در تیمارهایی که آب کافی دریافت کرده‌اند به‌دلیل رشد بهتر اندام‌های هوایی و تأمین سطح فتوسنتزی کارآمد، تولید ماده خشک به نحو مطلوبی صورت گرفت. در پژوهشی کاهش وزن گیاه علف‌چشمه تحت تأثیر تنش رطوبتی گزارش شد (ویداریانتو[1] و همکاران، ۲۰۱۷) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

کاربرد ازتوباکتر به‌عنوان کود زیستی سبب افزایش سطح جذب عناصر ضروری برای گیاه در نتیجه افزایش بیوماس گیاه می‌شود (دلشادی[2] و همکاران، ۲۰۱۷). در پژوهشی مشابه افزایش وزن تر گیاه ذرت شرایط تنش خشکی بررسی شد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. ازتوباکتر موجب افزایش جذب مواد مغذی در ریشه و سبب بهبود قابل‌توجه نرخ فتوسنتزی گیاه و افزایش بیوماس گیاهی می‌شود (تیاجی[3] و همکاران، ۲۰۲۳).

در پژوهشی کاهش معنی‌دار وزن ریشه بادمجان تحت تنش خشکی مشاهده شد (کیران[4] و همکاران، ۲۰۲۲) که با نتایج پژوهش حاضر همسو است. ورمی‌کمپوست با افزایش تخلخل، بهبود بافت خاک، افزایش نفوذپذیری، افزایش توانایی نگهداری آب در محیط ریزوسفر سبب افزایش استفاده گیاه از محیط خاک شده و شرایط برای افزایش حجم ریشه در محیط ریزوسفر را فراهم می‌کند. ورمی‌کمپوست به‌دلیل مواد مغذی و هم‌چنین توانایی بالا در نگهداری آب ریشه را به سمت گسترش بیش‌تر تشویق می‌کند (دوبس[5] و همکاران، ۲۰۱۰).

در طول تنش خشکی، پاسخ اولیه گیاه بسته‌شدن روزنه‌ها برای محدودکردن اتلاف آب از طریق تعرق است. در نتیجه بسته‌شدن زودهنگام روزنه‌ها به‌دلیل غلظت کم CO_2 در برگ، سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد (چیاپرو[6] و همکاران، ۲۰۱۹). کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی به‌عنوان یک علامت معمولی از فتواکسیداسیون رنگدانه و تخریب کلروفیل در نظر گرفته می‌شود (حاجی‌هاشمی[7] و احسانپور[8]، ۲۰۱۳).

به‌طورکلی استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی خاک باعث افزایش سنتز کلروفیل در گیاه می‌شود که اولین دلیل آن افزایش جذب عناصر درشت‌مغذی ضروری برای بیوسنتز کلروفیل است (قنبری‌جهرمی[9] و ابوطالبی[10]، ۲۰۰۹).

پایین‌بودن محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ را کاهش و منجر به بسته‌شدن روزنه می‌شود (ال–سیبهی[11] و همکاران، ۲۰۲۱). محتوای نسبی بالای آب به گیاه کمک می‌کند تا گونه‌های فعال اکسیژن و تنش‌های اسمزی ناشی از خشکی را خنثی کند و به‌طور بالقوه به بازده بیش‌تر کمک کند. کاهش محتوای نسبی آب در اثر تنش خشکی، روزنه‌ها را می‌بندد و در نتیجه هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد (احمد[12] و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی مشابه کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش و افزایش آن با کاربرد ورمی‌کمپوست در گیاه آویشن باغی مشاهده شد (عموآقایی[13] و گل‌محمدی[14]، ۲۰۱۷).

1. Widaryanto
2. Delshadi
3. Tyagi
4. Kiran
5. Dobbss
6. Chiappero
7. Hajihashemi
8. Ehsanpour
9. Ghanbari Jahromi
10. Aboutalebi
11. Es-sbihi
12. Ahmad
13. Amooaghaie
14. Golmohammadi

افزایش قندهای محلول تحت تنش خشکی روی گیاه برنج گزارش شد (دین[1] و همکاران، ۲۰۱۹) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. در شرایط تنش خشکی، ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست با تعدیل تنش شرایط رشد گیاه را به سمت نرمال می‌برد و مقدار قندهای محلول در شرایط تنش با کاربرد این کودها کاهش می‌یابد (شِر[2] و میشرا[3]، ۲۰۲۳). تعدیل قندهای محلول در گیاه چغندرقند با کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی گزارش شد (غفاری[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

در پژوهشی مشابه افزایش قنل کل در شرایط تنش در گیاهان بومادران (قریبی[5] و همکاران، ۲۰۱۶) و زیتون (دناکسا[6] و همکاران، ۲۰۲۰) گزارش شد. کودهای زیستی و آلی نقش مهمی در تحریک متابولیت‌های ثانویه‌ای دارد که نقش حفاظتی از گیاه را دارند. در این میان، افزایش ترکیبات فنلی یکی از هدف‌های اصلی این محرک‌های رشد گیاه برای مقابله با تنش خشکی است. تأثیر کودهای زیستی و آلی بسته به نوع تنش، غلظت ماده و نوع گونه گیاهی متفاوت است. در این راستا، افزایش محتوای قنلی با کاربرد ورمی‌کمپوست در کاکتوس نیز گزارش شد (لبوکی[7] و همکاران، ۲۰۲۱). متابولیت‌های ثانویه در شرایط تنش خشکی (تنش متوسط و ملایم) افزایش می‌یابد که این فرایند به‌علت تقویت سیستم دفاعی و آنتی‌اکسیدانی گیاه (جهت مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن) است، اما وقتی شدت تنش از آستانه تحمل گیاه فراتر می‌رود در سیستم تولید متابولیت ثانویه اختلال ایجاد شده و تولید متابولیت کاهش می‌یابد (شاه‌محمدی[8] و همکاران، ۲۰۲۳).

تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و بیوچار سبب افزایش کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای پتاسیم، نیتروژن و فسفر برگ و کاهش تنش اکسیداتیو با کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد (حافظ[9] و همکاران، ۲۰۲۱). در شرایط سخت تنش‌های محیطی مانند خشکی، استفاده از سیستم‌های محرک‌های رشد با القای ژن‌های مسئول در تنش خشکی موجب کاهش خسارت‌های ناشی از شرایط نامساعد گیاهی می‌گردد. ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی با تقویت سیستم ایمنی گیاه، افزایش فتوسنتز و تأثیر بر رشد گیاه سبب افزایش مقاومت و رشد گیاهان می‌شود (امیری‌پور[10] و همکاران، ۲۰۲۱).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج کلی پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی در سطح ۷۰ درصد ظرفیت زراعی سبب تغییرات معنی‌داری در بسیاری از صفات گیاه علف‌چشمه شده است، اگرچه تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌طور کامل تمامی صفات را با شدت بیش‌تری در گیاه تغییر داده است. کاهش معنی‌داری رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آب نسبی گیاه در تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد مشاهده گردید که می‌تواند موجب کاهش عملکرد شدید گیاه در شرایط کشت انبوه نیز گردد. نتایج حاکی از این بود که تیمار ورمی‌کمپوست به‌تنهایی یا ترکیب آن با ازتوباکتر نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش دارد. تیمار ترکیبی ازتوباکتر با ورمی‌کمپوست اثر به مراتب بهتری نسبت به تیمار ازتوباکتر به‌تنهایی داشت. بیش‌ترین محتوای قنلی در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ورمی‌کمپوست و ترکیب آن با ازتوباکتر

1. Dien
2. Sher
3. Mishra
4. Ghaffari
5. Gharibi
6. Denaxa
7. Lahbouki
8. Shahmohammadi
9. Hafez
10. Amiripour

مشاهده شد. با توجه به اهمیت استفاده از منابع آلی و طبیعی به‌منظور تولید محصولات سالم می‌توان ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر را به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و کودزیستی به‌منظور تولید و پرورش گیاه علف‌چشمه به‌عنوان سبزی خوراکی و یا مصارف دارویی معرفی کرد.

۷. تشکر و قدردانی

از همکاری ارزشمند خانم مهندس زهرا بوند دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در مراحل کشت بذر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

ابراهیمی، مهدیه و فرایی، عاطفه (۱۴۰۱). تأثیر تلقیح ازتوباکتر و سودوموناس در کاهش اثرات تنش خشکی در *Dactylis glomerata* L. *مجله مرتع*، ۱۶(۲)، ۳۹۵-۳۷۹.

References

Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Kadmiri, I.M. (2021). Nitrogen fixing Azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 628379.

Ahmad, Z., Waraich, E. A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., & Rizwan, M. (2018). Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*(4), 1-13.

Amiri, H., Ismaili, A., & Hosseinzadeh, S. R. (2017). Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). *Compost Science & Utilization*, *25*(3), 152-165.

Amiripour A., Jahromi M. G., Soori M. K., & Trashcans, A. (2021). Changes in essential oil composition and fatty acid profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under salinity and foliar-applied silicon. *Industrial Crops and Products*, *168*, 113599.

Amooaghaie, R., & Golmohammadi, S. (2017). Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus Vulgaris*. *Compost Science & Utilization*, *25*, 166-177.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1.

Bakhtiari, M., Mozafari, H., Asl, K.K., Sani, B., & Mirza, M. (2020). Bio-organic and inorganic fertilizers modify leaf nutrients, essential oil properties, and antioxidant capacity in medic savory (*Satureja macrantha* L.). *Journal of Biological Research-Bollettino Della Società Italiana di Biologia Sperimentale*, *93*(1), 8477.

Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, *13*(3), 1140.

Benami, A., & Often, A. (1984). Irrigation engineering sprinkler, trickle, surface irrigation: Principles, design and agricultural practices. Bet Dagan, Israel, Irrigation Engineering Scientific Publisher, pp. 257.

Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., Alderete, L. G. S., Palermo, T. B., & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, *139*, 111553.

Dadashpour, M., Pilehvar-Soltanahmadi, Y., Mohammadi, S. A., Zarghami, N., Pourhassan-Moghaddam, M., Alizadeh, E., & Nouri, M. (2018). Watercress-based electrospun nanofibrous scaffolds enhance proliferation and stemness preservation of human adipose-derived stem cells. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, *46*(4), 819-830.

Delshadi, S., Ebrahimi, M., & Shirmohammadi, E. (2017). Influence of plant-growth-promoting bacteria on germination, growth and nutrients uptake of *Onobrychis sativa* L. under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, *12*(1), 200-208.

Denaxa, N. K., Damvakaris, T., & Roussos, P. A. (2020). Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108812.

Dien, D. C., Mochizuki, T., & Yamakawa, T. (2019). Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Plant Production Science*, *22*(4), 530-545.

Dobbss, L. B., Pasqualoto Canellas, L., Lopes Olivares, F., Oliveira Aguiar, N., Peres, L. E. P., Azevedo, M., & Facanha, A.R. (2010). Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(6), 3681-3688.

Ebrahimi, M., & Faraee F. (2022). Effects of *Azotobacter* and *Pseudomonas* inoculation in mitigate drought stress effects in *Dactylis glomerata* L. *Journal of Rangeland*, *16*(2), 379-395. (In Persian).

Es-sbihi, F. Z., Hazzoumi, Z., Aasfar, A., & Amrani Joutei, K. (2021). Improving salinity tolerance in *Salvia officinalis* L. by foliar application of salicylic acid. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *8*, 1-12.

Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Bahador, M., & Razmjoo, J. (2022). Biochemical and yield response of sugar beet to drought stress and foliar application of vermicompost tea. *Plant Stress*, *5*, 100087.

Ghanbari Jahromi, M., & Aboutalebi, A. (2009). Garden compost as a substrate for vegetable transplant production. *In V International Symposium on Seed, Transplant and Stand Establishment of Horticultural Crops*, *898*, 165-170.

Gharibi, S., Tabatabaei, B. E. S., Saeidi, G., & Goli, S. A. H. (2016). Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied biochemistry and Biotechnology*, *178*, 796-809.

Ghassemi-Golezani, K., Ghassemi, S., & Yaghoubian, I. (2016). Salicylic Acid regulate Physiological Performance of milk thistle (*Silybum marianum* L.) under water stress. *Advances in Bioresearch*, *7*(4), 34-40.

Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309-31

Gill, C. I. R., Haldar, S., Boyd, L. A., Bennett, R., Whiteford, J., & Buler, M. (2007). Watercress supplementation in diet reduces lymphocyte DNA damage and alters blood antioxidant status in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, *85*(2), 504-10.

Hafez, E. M., Omara, A. E. D., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 587-602.

Hajihashemi, S., & Ehsanpour, A. (2013). Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under *in vitro* drought stress. *Biologia*, *68*(3), 414-420.

Hindersah, R., Kamaluddin, N. N., Samanta, S., Banerjee, S., & Sarkar, S. (2020). Role and perspective of Azotobacter in crops production. *Sains Tanah Journal of Soil Science and Agroclimatology*, *17*(2), 170-179.

Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(9), 5186.

Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D., & Chet, I. (1994). Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European Journal of Plant Pathology*, *100*(5), 337-346.

Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., & Samiyappan, R. (2010). Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (*Musa* spp.) under field conditions. *Applied Soil Ecology*, *45*(2), 71-77.

Kiran, S., Furtana, G. B., & Ellialtioglu, Ş. Ş. (2022). Physiological and biochemical assay of drought stress responses in eggplant (*Solanum melongena* L.) inoculated with commercial inoculant of *Azotobacter chroococum* and *Azotobacter vinelandii*. *Scientia Horticulturae*, *305*, 111394.

Kumari, K., Singh, S. K., Mehmi, V., Kumar, U., & Kaur, K. (2019). Influence of plant growth regulators and biofertilizers on growth and yield of Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) under central region of Punjab. *Agriways*, *7*(1), 44-49.

Lahbouki, S., Anli, M., El Gabardi, S., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Boutasknit, A., Ait-Rahou, Y., Outzourhit, A., Wahbi, S., Douira, A., & Meddich, A. (2021). Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost supplementation on growth, phenolic content and antioxidant activity of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, *156*(4), 882–892.

MacAdam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of elongation zone. *Plant Physiology*, *99*, 872–878.

Masuko, T., Minami, A., Iwasaki, N., Majima, T., Nishimura, S., Lee, Y.C. (2005). Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. *Anal Biochem*, *339*(1): 69-72.

Mira, S., Veiga-Barbosa, L., González-Benito, M. E., & Pérez-García, F. (2018). Inter-population variation in germination characteristics of *Plantago lanceolata* seeds: Effects of temperature, osmotic stress and salinity. *Mediterranean Botany*, *39*(2), 89-96.

Ouchikh, O., Chahed, T., Ksouri, R., Ben Taarit, M., Faleh, H., Abdelly, Ch., Kchouk, M. E., & Marzouk, B. (2011). The effects of extraction method on the measured tocopherol level and antioxidant activity of *Laurus nobilis* vegetative organs. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*, 103-110.

Panahi Kokhdan, E., Khodabandehloo, H., Ghahremani, H., & Doustimotlagh, A. H. (2021). A narrative review on therapeutic potentials of Watercress in human disorders. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2021*, 1-13.

Ritchie, S. W., Nguyan, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf Water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, *30*, 105-111.

Rokhzadi, A., & Toashih, V. (2011). Nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with plant growth promoting rhizobacteria. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(1), 44-48.

Saki, A., Mozafari, H., Karimzadeh-Asl, K., & Sani, B. (2019). Plant yield, antioxidant capacity and essential oil quality of *Satureja mutica* supplied with cattle manure and wheat straw in different plant densities. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(1), 1-11.

Seifried, H. E., Mcdonald, S. S., Anderson, D. E., Greenwald, P., & Milner, J. A. (2003). The antioxidant conundrum in cancer. *Cancer Research*, *63*, 4295-4298.

Shaalan, M. N. (2005). Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *83*, 811-828.

Shahmohammadi, F., Ganbari Jahromi, M., Farhadpour, M., Kalateh Jari, S., & Mohammadi Torkashvand, A. (2023). Foliar-applied melatonin modulated drought stress through modifying some important physiological and phytochemical characteristics in *Taxus baccata* L. *Plant and Soil*, *495*(1-2), 1-16.

Sher, A., & Mishra, S. (2023). Effect of FYM, biochar and biofertilizers on head quality and physico-chemical attributes of soil of kharif cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) cv. pride of India. *Pharma Innovation*, *12*(4), 651-658.

Singh, G., & Singh, S. K. (2019). Effect of bio-fertilizer and mulching on growth, yield and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis L.) in central region of Punjab. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(2), 2251-2254.

Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi journal of Biological Sciences*, *27*(12), 3634-3640.

Tyagi, J., Mishra, A., Kumari, S., Singh, S., Agarwal, H., Pudake, R. N., & Joshi, N. C. (2023). Deploying a microbial consortium of *Serendipita indica*, *Rhizophagus intraradices* and *Azotobacter chroococcum* to boost drought tolerance in maize. *Environmental and Experimental Botany*, *206*, 105142.

Venacker, H., Carver, T. L. W., & Foyer, C. H. (1998). Pathogen induced changes in the antioxidant status of the apoplast in barley leaves. *Plant Physiology*, *117*, 1103-1114.

Widaryanto, E., Azizah, N., & Lailiyatul Fitriyah, N. (2017). Enhancing yield of watercress (*Nasturtium officinale*). *Bioscience Research*, *14*(2), 170-177.

Yadav, A. N. (2021). Beneficial plant-microbe interactions for agricultural sustainability. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, *9*(1), 1-4.

Zeighami Nejad, K., Ghasemi, M., Shamili, M., & Damizadeh, G. R. (2020). Effect of mycorrhiza and vermicompost on drought tolerance of lime seedlings (*Citrus aurantifolia* cv. Mexican Lime). *International Journal of Fruit Science*, *20*(3), 646-657.