Eco-phytochemical of Medicinal Plants
Print ISSN: 2322-3235
Online ISSN: 2783-4697
Islamic Azad University Gorgan Branch
Iranian Society of Medical Plants

The Effect of Biofertilizers and Vermicompost on Morphological and Phytochemical Characteristics of Karela (*Momordica charantia* L.)

Tahmineh Mirarab[1], Isa Khammari[1*], Zeynab Mohkami[2], Alireza Sirousmehr[1], Mahdi Dahmardeh[1]

[1] Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran, Email: IsaKhammari@uoz.ac.ir
[2] Department of Agriculture and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

Article type:
Research article

Article history
Received:2024-7-22
Revised: 2024-8-14
Accepted: 2024-8-18

Keywords
Antidiabetic
Bitter Melon
Mycorrhiza
Phosphorus
Pseudomonas

Abstract

Karela plant has many therapeutic properties such as controlling diabetes, anticancer, and antimicrobial. Considering the indiscriminate use of chemical fertilizers and their effect on reducing the quality of plants and increasing environmental pollution, this study was carried out to investigate the impact of biological and organic fertilizers on leaf chlorophyll index, yield, and quality of Karela fruit. The factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications in the research farm of Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchistan province, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran during 2021-2022. The experimental treatments include mycorrhiza at two levels (inoculation with *Glomus mosseae* and non-inoculation), plant growth-promoting bacteria at four levels (non-inoculation, inoculation with *Azotobacter*, inoculation with *Pseudomonas* and inoculation with both strains) and vermicompost at four levels (0, 4, 7, and 10 t/ha). The results showed that the chlorophyll index, fruit dry weight, and fruit quality were lower in the second year due to the increase in temperature, decrease in rainfall, and enhancement in monthly evaporation compared to the first year. The separate and combined application of mycorrhiza, plant growth-promoting bacteria, and vermicompost had positive effects on the studied traits compared to the control treatment (non-application of these factors). The combined treatments of all three agents had a greater positive effect than their separate applications. The combined treatment of mycorrhizal inoculation and the use of both bacterial strains in the presence of 10 t/ha vermicompost, had the most positive effect on the studied traits, and increased fruit carotenoid, fruit potassium, and chlorophyll index by 80.7%, 30.9%, and 72.7%, respectively. According to the results of the present study, the combined treatment of *G. mosseae* inoculation and the use of both bacterial strains (*Azetobacter* and *Pseudomonas*) with 10 t/ha of vermicompost can be used based on the increase of leaf chlorophyll index, total carotenoid, dry weight of fruits, the content of nitrogen, phosphorus and potassium elements, recommended to improve the quantitative and qualitative characteristics of Karela.

Cite this article as: Mirarab, T., Khammari, I., Mohkami, Z., Sirousmehr, A.R., Dahmardeh, M. (2024). The Effect of Biofertilizers and Vermicompost on Morphological and Phytochemical Characteristics of Karela (*Momordica charantia* L.). *Eco-phytochemical of Medicinal Plants*, 12(2): 125-144.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی
شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۳۲۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۹۷
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان
انجمن گیاهان دارویی ایران ثبت ۱۸۹۶۳

تأثیر کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی کارلا (*Momcrdica Charantia* L.)

تهمینه میرعرب[۱]، عیسی خمری[۲*]، زینب محکمی[۳]، علیرضا سیروس‌مهر[۲]، مهدی دهمرده[۲]

[۱] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران، رایانامه: IsaKhammari@uoz.ac.ir

[۲] گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

واژه‌های کلیدی:
خربزه تلخ
سودوموناس
ضددیابت
فسفر
مایکوریزا

چکیده

گیاه کارلا خواص درمانی زیادی مثل کنترل دیابت، ضد سرطان و ضدمیکروبی دارد. با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و اثر آنها بر کاهش کیفیت گیاهان و افزایش آلودگی زیست-محیطی، این تحقیق به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی و آلی بر شاخص کلروفیل برگ، عملکرد و کیفیت میوه کارلا اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی پژوهشگاه زابل واقع در شهرستان زهک، استان سیستان و بلوچستان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل مایکوریزا در دو سطح (تلقیح با *Glomus mosseae* و عدم تلقیح)، باکتری محرک رشد گیاه در چهار سطح (عدم تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با سودوموناس و تلقیح با هر دو سویه) و ورمی‌کمپوست در چهار سطح (۰، ٤، ۷ و ۱۰ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که شاخص کلروفیل، وزن خشک میوه و کیفیت میوه در سال دوم به علت افزایش دما، کاهش بارندگی و افزایش تبخیر ماهانه در مقایسه با سال اول کمتر بود. کاربرد جداگانه و ترکیبی مایکوریزا، باکتری محرک رشد گیاه و ورمی‌کمپوست اثرات مثبتی بر صفات مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد این عوامل) داشتند. تأثیر مثبت تیمارهای ترکیبی هر سه عامل در مقایسه با کاربرد جداگانه آنها بیشتر بود. تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری در حضور ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بیشترین تأثیر مثبت را بر صفات مورد مطالعه داشت و کاروتنوئید میوه، پتاسیم میوه و شاخص کلروفیل را به‌ترتیب ۸۰/۷ درصد، ۳۰/۹ درصد و ۷۲/۷ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می‌توان تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزای *G. mosseae* و کاربرد هر دو سویه باکتری (ازتوباکتر و سودوموناس) همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست را بر اساس افزایش شاخص کلروفیل برگ، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و محتوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه جهت بهبود خصوصیات کمی و کیفی کارلا توصیه کرد.

استناد: میرعرب، تهمینه؛ خمری، عیسی؛ محکمی، زینب؛ سیروس‌مهر، علیرضا؛ دهمرده، مهدی (۱٤۰۳). تأثیر کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی کارلا (*Momcrdica Charantia* L.). *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۲ (۲)، ۱٤٤-۱۲۵.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

یک چالش بزرگ برای کشاورزی جهان، برآوردن تقاضای غذایی و دارویی جمعیت رو به افزایشی است که با نرخی حدود ۱/۰۵ درصد در سال در حال رشد می‌باشد (Kumar et al., 2020). در این راستا، «انقلاب سبز» با مصرف کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و توسعه هیبریدها به این تقاضا برای محصولات غذایی و دارویی کمک کرد (Orozco-Mosqueda et al., 2021). با این حال، استفاده بیش از حد مواد شیمیایی کشاورزی (مثل کودهای شیمیایی) طیفی از مشکلات زیست‌محیطی شامل آلودگی آب‌های زیرزمینی، تخریب کیفیت خاک و کاهش تنوع زیستی را ایجاد کرده است که به محیط‌زیست و سلامت انسان و حیوانات آسیب وارد کرده است (Ramakrishna et al., 2019). از طرف دیگر، تولید مواد غذایی و دارویی تا سال ۲۰۵۰ نیاز به دو برابر شدن تولید فعلی دارد و ضروری است که بهره‌وری کشاورزی در چند دهه آینده به میزان چشمگیری افزایش یابد. برای دستیابی به این هدف، جایگزین‌های جدیدی که منجر به افزایش تولید کشاورزی از طریق استراتژی‌های سازگار با محیط-زیست، پایدار و غیرسمی شود، ضروری هستند (Orozco-Mosqueda et al., 2021). بنابراین، استراتژی‌های مدیریتی مختلف و سازگار با محیط-زیست مثل کاربرد کودهای زیستی برای حفظ سلامت خاک، افزایش رشد و بهره‌وری گیاهان و کاهش آلودگی محیط پیشنهاد شده‌اند (Kumar et al., 2020).

کودهای زیستی میکروارگانیسم‌های زنده‌ای مثل قارچ‌های مفید (مثل مایکوریزا) و باکتری‌های محرک رشد گیاه (مانند ازوتوباکتر) هستند که با افزایش فراهمی عناصر در خاک، تغذیه گیاه را تقویت می‌کنند (Orozco-Mosqueda et al., 2021). باکتری‌های محرک رشد گیاه علاوه‌بر رشد گیاه، اثرات مفیدی بر فرآیندهای اکولوژیکی خاک (مثل تبدیل و تثبیت مواد مغذی و تجزیه مواد آلی) دارند و به گیاهان کمک می‌کنند تا با تنش‌های محیطی مقابله کنند (Ramakrishna et al., 2019). گونه‌های سودوموناس باکتری‌های محرک رشد گیاه و حل‌کننده فسفات هستند که از طریق دو مکانیسم ترشح اسید فسفاتاز و اسیدهای آلی باعث تجزیه ترکیبات فسفره نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن فسفر برای گیاه می‌شوند (Sarikhani et al., 2019). ازوتوباکتر گروهی از باکتری‌های گرم منفی، آزاد و هوازی تثبیت‌کننده نیتروژن است که از طریق تحریک میکروب‌های ریزوسفری، تولید مهارکننده‌های بیماری‌زای گیاهی، تغییر جذب عناصر و در نهایت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تأثیرات مفیدی بر گیاهان دارند (Lenart, 2012). این باکتری‌ها مستقیما جذب عناصر را تسهیل می‌کنند و سطح هورمون‌های گیاهی را در گیاهان تعدیل کنند و از این طریق رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان را به‌ویژه در شرایط تنش افزایش می-دهند (Katsenios et al., 2021; Orozco-Mosqueda et al., 2021).

کودهای زیستی حاوی مایکوریزا می‌توانند مصرف کودهای شیمیایی را تا ۵۰ درصد کاهش دهند (Begum et al., 2019a). مایکوریزا قارچ‌های خاکی هستند که می‌توانند جذب عناصر و مقاومت به عوامل تنش‌زا را بهبود بخشند. این قارچ‌ها محصولات فتوسنتزی گیاهی و لیپیدها را برای انجام چرخه زندگی خود مصرف می‌کنند و در ازای آن، جذب عناصر (مثل فسفر، نیتروژن، گوگرد و روی) و آب را توسط گیاهان میزبان افزایش دهند (Jiang et al., 2017a). مایکوریزای آربوسکولار یکی از رایج‌ترین، قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین گونه‌ها است که با حدود ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی زمین مرتبط می‌باشد. بهره‌برداری از قارچ‌های مایکوریزا برای رشد گیاهان

در اکوسیستم‌های زیستی مختلف می‌تواند به کشت ارگانیک برای ارتقای رشد و به حداکثر رساندن عملکرد گیاهان کمک زیادی کند (Begum et al., 2019a). مطالعات زیادی مزایای این قارچ‌ها را بر سلامت خاک، ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بهره‌وری محصولات و مقابله با تنش‌های محیطی در گیاهان مختلف همچون برنج و گوجه‌فرنگی نشان داده‌اند (Balliu et al., 2015; De Andrade et al., 2015).

کودهای آلی نیز جایگزینی برای کودهای شیمیایی هستند که کیفیت خاک را بهبود داده، از ورود مواد شیمیایی مضر به زنجیره غذایی جلوگیری کرده، سلامت را بهبود بخشیده و به پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کنند (Devi and Khwairakpam, 2022). ورمی‌کمپوست نوعی کود آلی بهینه برای رشد و عملکرد بهتر گیاهان است که حاصل فعالیت مشترک کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها می‌باشد و غنی از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، هورمون‌های رشد مثل اکسین، ویتامین‌ها و آنزیم‌هایی مثل پروتئاز است (Olle, 2019). ورمی‌کمپوست می‌تواند ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش دهد، تخلخل و هوادهی را حفظ کند، تولید محصولات را افزایش دهد، از آفات مضر بدون آلودگی محیط جلوگیری کند، فعالیت میکروبی خاک را افزایش دهد و میزان عناصر گیاه و کیفیت و کمیت میوه‌ها و دانه‌ها را بهبود دهد (Devi and Khwairakpam, 2022). در مطالعه خیار کشت شده در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست گزارش شد که شاخص کلروفیل و سرعت فتوسنتز بیشتر می‌باشد (Jankauskienė et al., 2022). همچنین، مشخص شد که محتوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه و گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست افزایش می‌یابد (Hyder et al., 2015).

یک اصل مهم در تولید گیاهان دارویی، مدیریت مناسب کاربرد کود از طریق عدم کاربرد و یا مصرف بهینه کودهای شیمیایی و یا از طریق کاربرد کودهای آلی و زیستی است (Griffe et al., 2003). گیاه کارلا (*Momordica Charantia* L.) که معمولاً خربزه تلخ و خیار تلخ نامیده می‌شود، گیاهی دارویی از خانواده کدوئیان است. همه بخش‌های این گیاه خاصیت دارویی دارند اما میوه مهمترین بخش این گیاه است که برای کنترل دیابت استفاده می‌گردد. این گیاه با سایر خواص دارویی مانند ضد سرطان، ضد میکروبی، ضد کلسترول و ضد التهاب نیز شناخته شده است (Sun et al. 2021). کارلا دارای بالاترین ارزش غذایی در بین کدوها می‌باشد و منبع خوبی از کربوهیدرات-ها، پروتئین‌ها، فیبرها، ویتامین‌ها و مواد معدنی است. میوه‌ها از ۹۳/۲ درصد آب، ۱۸/۰۲ درصد پروتئین و ۰/۷٦ درصد چربی‌ها تشکیل شده‌اند (Saad et al., 2017).

در یک آزمایش دو ساله، اثر همزیستی با دو سویه قارچ مایکوریزا (شاهد، *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) و کود فسفر (کاربرد و عدم کاربرد) بر عملکردمیوه و تغییر اسیدهای فنولیک کارلا (کدو تلخ) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد آب در دسترس خاک (ASWD) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تحت تنش کم‌آبی، عملکرد میوه و پارامترهای فیزیولوژیکی (نرخ فتوسنتز، نرخ تعرق، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل کل و کلونیزاسیون ریشه) نسبت به تیمار ۲۰٪ آب دردسترس خاک، کاهش یافت. پارامترهای بیوشیمیایی (پرولین، قندمحلول، مالون‌دی‌آلدهید، کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز، فنل) و اسیدهای فنولیک میوه(اسید کافئیک، اسید کوماریک، اسید فرولیک) افزایش یافت. اگرچه تلقیح AMF + کود فسفر در سه رژیم آبیاری باعث کاهش محتوای مالون دی آلدهید شد؛ اما پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و اسیدهای فنولیک میوه افزایش یافت. در این تحقیق،

ترکیب فاکتوریل AMF + فسفر کافی باعث بهبود مقاومت کدو تلخ در برابر کمبود آب شد و این نه تنها عملکرد میوه را بهبود بخشید؛ بلکه باعث افزایش‌اسیدهای فنولیک میوه در تیمار آبی ۸۰٪ ASWD شد که می تواند یک نوآوری در مدیریت آب باشد (Dolatmand-Shahri et al., 2024).

در بررسی دیگری روی خربزه (*Cucumis melo* L.)، میکوریزا باعث بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی و فتوسنتزی گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان غیرتلقیح شده در شرایط کمبود آب شد (Cakmakci et al., 2017). همچنین گزارش شده است که قارچ-های میکوریزا به طور قابل توجهی ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد و سیستم دفاع آنتی اکسیدانی را در تحمل به تنش خشکی تقویت می کند (Begum et al., 2019b).

نتایج دیگر محققان نشان داد که مصرف سطوح مختلف کودهای شیمیایی به همراه کودهای زیستی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد میوه کارلا در واحد سطح معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها حکایت از برتری معنی‌دار تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی نسبت به مصرف جداگانه این کودها داشت. نتایج این تحقیق موید این نکته بود که کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین و فسفات بارور۲ در ترکیب با ٥٠٪ و ٧٥٪ کودهای شیمیایی، در بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکرد میوه گیاه کارلا تأثیر مثبتی داشته و به جای مصرف مداوم کودهای شیمیایی، می‌توان با استفاده بهینه از نهاده‌های زیستی در راستای کشاورزی پایدار گام برداشت (Sartip et al., 2017).

خسروی و همکاران گزارش نمودند که در کشت کارلا، کاهش مصرف اوره و جایگزینی آن با کود مرغی باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک میوه شد؛ به طوری که عملکرد میوه سبز با مصرف کود اوره به طور معنی‌داری کمتر از مقدار آن با جایگزینی کامل کود مرغی بود (به‌ترتیب معادل ۱۷/۸۷۹ و ۹۲/۱۱۵۷ گرم در متر مربع). همچنین کشت داربستی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت نسبت به کشت کرتی شد (Khosravi et al., 2022). با توجه به اینکه تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت آنها پیش می‌رود؛ تغذیه سالم این گیاهان با استفاده از کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست، اهمیت ویژه‌ای دارد. با نظر به اهمیت دارویی و غذایی گیاه کارلا و نیاز تغذیه‌ای بالای این گیاه در مرحله گلدهی و تشکیل میوه، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر توأم کود زیستی و ورمی‌کمپوست بر شاخص کلروفیل، عملکرد و کیفیت میوه کارلا انجام شد.

مواد و روش‌ها

زمان و محل اجرای آزمایش: این تحقیق در دو سال متوالی ١٤٠٠ و ١٤٠١ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل (چاه نیمه) واقع در مجتمع آموزشی، تحقیقاتی و فرهنگی بقیه‌الله الاعظم (عج) با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ٥٥ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ٦١ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ٤٨٠ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا گردید. در هر دو سال، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه انجام شد.

تیمارهای آزمایش: تیمارهای آزمایش شامل قارچ مایکوریزا در دو سطح (تلقیح با *Glomus mosseae* و عدم تلقیح)، باکتری محرک رشد در چهار سطح (عدم تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با سودوموناس و تلقیح با هر دو سویه باکتری) و ورمی‌کمپوست در چهار سطح (۰، ٤، ۷ و ۱۰ تن در هکتار) بود. تیمارهای آزمایش در زمان کاشت اعمال شدند. قارچ مایکوریزا از شرکت تعاونی زیست فناور توران شاهرود تهیه گردید. برای تیمار قارچ، ٤٠ گرم مایه

تلقیح قارچ در هر چاله کاشت و در مجاورت ریشه نشاء ریخته شد. برای تیمار باکتری ازتوباکتر، کود بیولوژیک مایع رشدافزا از شرکت فناوری زیستی طبیعت‌گرا (بایوران) تهیه شد. سپس ٥ میلی‌لیتر از آن (1.6×10^{7} cfu/ml) در ١ لیتر آب آماده و پس از کاشت با آبپاش روی سطح هر نشاء محلول‌پاشی گردید. به‌منظور تیمار باکتری سودوموناس، پودر وتابل تریکوران‌پی از شرکت فناوری زیستی طبیعت‌گرا (بایوران) تهیه گردید و ١٠ گرم از آن در ١ لیتر آب کاملا حل شده و ١٠٠ میلی‌لیتر از این محلول در هر چاله کاشت در بستر ریشه نشاء قرار گرفت. کود ورمی‌کمپوست از نمایندگی شرکت انوشه آراب در بیرجند خریداری گردید و در هر سطح آن، مقدار معین ورمی‌کمپوست در چاله کاشت با خاک مخلوط شد. قطعه زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس برای نرم‌کردن خاک و کلوخه‌ها دو بار دیسک زده شد. ابعاد هر کرت ٥×٤ متر با فاصله دو ردیف متوالی ١/٥ متر و فاصله دو بوته روی ردیف یک متر بود. فاصله بین کرت‌ها ١ متر در نظر گرفته شد. بذور کارلا پاکستانی (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) در بهمن ماه ١٣٩٩ و ١٤٠٠ درون سینی‌های نشاء در شرایط گلخانه‌ای با طول دوره روشنایی ١٦ ساعت، طول دوره تاریکی ٨ ساعت، دمای روزانه ٢±٢٥ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ٢ ± ١٨ درجه سانتی‌گراد کشت شدند. گیاهچه‌ها یک ماه پس از کاشت و در مرحله ٤ برگی به زمین اصلی انتقال یافتند. تاریخ کاشت در زمین اصلی در نیمه اول اسفند ماه ١٣٩٩ و ١٤٠٠ و پس از رفع خطر سرمای زمستانه بود. نشاءها در چاله‌های کاشت با عمق ٥ سانتی‌متر کشت شدند. آبیاری به روش قطره‌ای انجام شد. نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی هر دو روز یک‌بار انجام شدند. دو هفته پس از نشاکاری، در صورت نیاز بوته‌های از بین رفته با نشاءهای جدید واکاری شدند. برای مبارزه با علف‌های هرز از روش مکانیکی استفاده شد. بدین صورت که فواصل بین ردیف‌های کاشت مالچ پلاستیکی پوشانده شد. کنترل علف‌های هرز روی ردیف با وجین دستی انجام گرفت. شرایط اقلیمی این منطقه در دوره آزمایشی طی سال‌های ١٤٠٠ و ١٤٠١ به ترتیب در جداول ١ و ٢ ارائه شده است. نتایج آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از آماده سازی زمین در جدول ٣ آورده شده است. صفات مورد نظر به شرح ذیل اندازه‌گیری شدند..

جدول ١: شرایط اقلیمی در طول دوره رشد گیاه کارلا در سال اول

ماه	میانگین درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	تبخیر ماهیانه	جمع ساعت آفتابی ماهانه
اسفند ١٣٩٩	١٨/٤	٠	٢٣٧/٨	٢٢٤/٢
فروردین ١٤٠٠	٢٤/٥	٠	٣٤٠/٨	٢٧٨/٩
اردیبهشت ١٤٠٠	٢٨/٨	١٧/٢	٣٩٩/٤	٣٢٥/٢
خرداد ١٤٠٠	٣٥/٣	٠	٥٩١/٦	٣٩٣/٩

جدول ۲: شرایط اقلیمی در طول دوره رشد گیاه کارلا در سال دوم

ماه	میانگین درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی (میلی-متر)	تبخیر ماهیانه	جمع ساعت آفتابی ماهانه
اسفند ١٤٠٠	٢١	٢/٦	١٩٣/٧	٢٢٤
فروردین ١٤٠١	٢٥/٣	٠	٣١٣/٧	٣٠٩/١
اردیبهشت ١٤٠١	٣٠/٣	١١/٢	٤١٦	٣٢١/٥
خرداد ١٤٠١	٣٢/٤	٠	٦١٥/٨	٣٥٤/٥

جدول ۳: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

هدایت‌الکتریکی (dsm^{-1})	pH	موادآلی **درصد**	نیتروژن	فسفر	پتاسیم ppm	آهن	روی	لوم	رس	شن	بافت
								درصد			
١/٨	٨/٤	٠/٨١	٠/٠٧	١١/٦	١٧٨	٣/٦	٢/٨	٢٦	٤١	٣٣	رسی شنی

سنجش کلروفیل کل: به‌منظور برآورد شاخص کلروفیل در مرحله گلدهی از هر بوته چهار برگ همسان (جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته) انتخاب گردید. سپس میزان نسبی کلروفیل (ODD[1]) آنها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (SPAD 502 PLUS کمپانی KONICA MINOLTA ژاپن) قرائت گردید (Jiang et al., 2017 b).

سنجش میزان کارتنوئید: میوه‌ها ٥٥-٦٠ روز پس از کاشت روی بوته‌های ظاهر شدند و در مرحله بلوغ باغبانی (میوه‌های سبز رنگ و قبل از اینکه پوسته خارجی بذرها سخت شود) به تدریج برداشت شدند. برای اندازه‌گیری کاروتنوئید میوه، ٠/٥ گرم از بافت میوه رسیده با ١٠ میلی‌لیتر استون ٨٠ درصد سائیده شد و با سرعت ٦٠٠٠ دور در دقیقه به مدت ١٠ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، مقدار جذب عصاره فوقانی با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1280 از کمپانی شیمادزو ژاپن) در طول موج ٤٧٠ نانومتر قرائت شد. از استون ٨٠ درصد جهت کالیبره نمودن دستگاه استفاده شد. میزان کاروتنوئید میوه بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه گزارش شد (Lichtenthaler, 1987).

$$C= (1000\ A470 - 1.82\ Chl\ a - 85.02\ Chl\ b)/\ 198 \times \left(\frac{V}{W\times 1000}\right) \quad (1)$$

در رابطه فوق A میزان جذب قرائت شده توسط دستگاه، C میزان کارتنوئید، V حجم نهایی عصاره‌ی استون ٨٠٪ و W وزن تازه بافت برای عصاره‌گیری بر حسب گرم است.

سنجش وزن خشک میوه: جهت ارزیابی وزن خشک میوه، ٢ متر مربع از خطوط میانی هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای میوه‌ها برداشت شدند. سپس میوه‌ها بعد از قرار دادن در آون با دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت با ترازوی دیجیتال (با دقت ٠/٠٠١ گرم) توزین شدند. در نهایت میانگین وزن خشک میوه بر حسب تن در هکتار گزارش گردید.

[1] تفاوت چگالی نوری

جدول ٤: تجزیه واریانس مرکب صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی میوه کارلا تحت تأثیر کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست در دو سال زراعی ١٤٠٠ و ١٤٠١.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		شاخص کلروفیل	وزن خشک میوه	کاروتنوئید میوه	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
سال	١	١٤٤٦/٢٨٦**	٥٤٩٥٢١٠/٠٢١**	٨/٣٨٨**	١٠/٣٤٦**	٠/٠٨٦٦**	٦٧٣/٠١٤**
تکرار (سال)	٤	٣/١٣٥٦	١٠٩/١٠٤	٠/٠٠٩٩٦	٠/٠٠١٠٠٠٥	٠/٠٠٠٠١٤٥	٠/١٩٤٦
قارچ	١	١٢٠٢/٢٠١**	٢٩٠٣٢٩٢/١٨٨**	٥١/٣٢٦**	٥/٨٨٤**	٠/٠٦٩٨**	٢١٧/٣٢٤**
باکتری	٣	٧٧/٧٠٣**	١٣٨٩٩٦/٥**	٢/٩١٦**	٠/٣١٢٧**	٠/٠٠٤٠٥**	٢٠/٩٤**
ورمی کمپوست	٣	٦٦١/٦٧٨**	١٤٩٩٩١٦/٨٧٥**	٢٨/٦٥٩**	٣/٢٧٦٥**	٠/٠٣٧٧٦**	١٢٨/٠٠٢**
قارچ × باکتری	٣	٣/٩٧٧ns	١٧٢٩/٠٢١ns	٠/٠٠١٢٩ns	٠/٠٠٠٤٣١ns	٠/٠٠٠٠١٦٦ns	٠/١٨٤ns
قارچ × ورمی کمپوست	٣	٥/٥٨٤ns	٥٠٧٢/٣٦٨ns	٠/٠٠٢٦٣ns	٠/٠٠٠٠٠٣٣ns	٠/٠٠٠٠٠٦٥ns	٠/١٤٨ns
باکتری × ورمی کمپوست	٩	٤/٩١٤ns	١٦٠٠/٧٢٧ns	٠/٠٠١٢٣ns	٠/٠٠٠٦٩ns	٠/٠٠٠٠٠٣٢٢ns	٠/١٨٥ns
قارچ × باکتری × ورمی کمپوست	٩	٥/٢٦١ns	١٦٦١/٧٣٨ns	٠/٠٠١٩٤ns	٠/٠٠٠١٥٨ns	٠/٠٠٠٠٠٥٣٧ns	٠/٢٢٤ns
سال × قارچ	١	٢١/٥٤٧ ns	٨١١٨٠/٧٥**	٠/٠٦٣٤ ns	٠/٠٧٧٢ns	٠/٠٠٠٥٨١ ns	١/٠٤ ns
سال × باکتری	٣	٣/٠٦٨ ns	٨٠٠/٤١ns	٠/٠٢٢٦ ns	٠/٠٠٢٤٩ ns	٠/٠٠٠٠١٤١ns	٠/٥٤١ns
سال × ورمی کمپوست	٣	١٣/٢٩٩٧ ns	٤٢١٥٠/٠٣٥**	٠/٠٣٤٧ ns	٠/٠٤٤٢ ns	٠/٠٠٠٣٢٦ns	٠/٦٢ns
سال × قارچ × باکتری	٣	٤/٣٣٩٦ ns	٥٠/٣٠٦ns	٠/٠٠٠٣٠٢ns	٠/٠٠٠٠٧٨٣ ns	٠/٠٠٠٠٠٠٥٢ns	٠/٠٠١٣ ns
سال × قارچ × ورمی کمپوست	٣	٤/٦٠١٥ ns	١٤٠/٦٨١ ns	٠/٠٠٠٠٠٣٣ ns	٠/٠٠٠٠٠٠٥٢ ns	٠/٠٠٠٠٠٠٠٣ns	٠/٠٠١٢ns
سال × باکتری × ورمی کمپوست	٩	٤/٥٥٨٧ns	٥٥/٠٧٢ns	٠/٠٠٠١٦٧ ns	٠/٠٠٠٠٢٨٣ ns	٠/٠٠٠٠٠٠٥٣ns	٠/٠٠٣٢ns
سال × قارچ × باکتری × ورمی کمپوست	٩	٤/٧٥٧٤ ns	٤٥/٥١٤ns	٠/٠٠٠٠٠٦١ ns	٠/٠٠٠٠٠٦١**	٠/٠٠٠٠٠٠٢٦ns	٠/٠٠٢٠٣ns
خطا	١٢٤	١٠/٨٦٩١	٣٧٠٠/٢٥	٠/٢٥٩٣٦	٠/٠٢٦٢٦٩	٠/٠٠٠٣٧	٣/٧١٨٠٤
ضریب تغییرات (درصد)		٩/٣	٦/٠٤	٨/٦	٨/١٤	٨/٣	٧

ns ، *و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد.

اندازه‌گیری عناصر معدنی

هضم تر نمونه جهت سنجش عناصر معدنی: به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، ١ گرم از پودر میوه خشک برای ٤ ساعت در دمای ٥٠٠ درجه سانتی‌گراد و بعد ٢ ساعت در دمای ٦٠٠ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی قرار داده شد. سپس، به نمونه خاکستر حاصل مقدار ١٠ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ٢ مولار افزوده و روی هیتر قرار داده شد تا با جوشاندن ملایم (دمای ٣٠-٤٠ درجه سانتی‌گراد) هضم گردد. عصاره حاصل از کاغذ صافی رد شد و در بالن ژوژه ١٠٠ میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد (Wilson, 1983).

سنجش میزان فسفر: میزان فسفر میوه به روش رنگ‌سنجی زرد با استفاده از معرف آمونیوم-وانادومولیبدات با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1280 از کمپانی شیمادزو ژاپن) در طول موج ٤٧٠ نانومتر اندازه‌گیری شد و به‌صورت درصد گزارش گردید. ٢ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی (بعد از عملیات هضم تر) به همراه ٢ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات – وانادات درون لوله فالکون ریخته و با آب مقطربه حجم ١٥ میلی‌لیتر رسید. مقادیر جذب این محلول‌ها توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ٤٧٠ نانومتر قرائت گردید. سپس مقادیر حقیقی فسفر در نمونه‌ها با توجه به فرمول منحنی استاندارد ($y = 19.843x - 15.167$؛ $R^2 = 0.9792$) مربوطه محاسبه گردید (Ryan et al., 2001).

سنجش میزان پتاسیم: میزان پتاسیم میوه با روش شعله‌سنجی فلیم‌فتومتری از عصاره حاصل توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Jenway PFP7, England) قرائت شد و بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک گزارش شد. جهت اندازه‌گیری عنصر پتاسیم ٢ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی (پس از هضم تر) با آب مقطر دیونایز به حجم ١٠٠ میلی‌لیتر رسید. با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل JENWAY PFP7 ساخت انگلیس) میزان عنصر پتاسیم در نمونه‌ها قرائت شد و مقادیر واقعی آن در تیمارهای مختلف از طریق محاسبه در فرمول نمودار استاندارد ($y = 20.171x - 9.6$؛ $R^2 = 0.9421$) بر اساس میلی‌گرم بر گرم ماده خشک اندازه‌گیری گردید (Rayan et al., 2001؛ پنج‌تن دوست و همکاران، ١٣٨٩).

سنجش میزان نیتروژن: میزان نیتروژن به روش استاندارد کجلدال اندازه گرفته شد. برای هضم، ٠/٥ گرم نمونه خشک با ٦ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و مخلوط کاتالیز (٥/ ٣ گرم سولفات پتاسیم+ ٤/ ٠ گرم سولفات مس) درون لوله‌های آزمایش ریخته و درون دستگاه هضم قرار گرفت. طول مدت هضم حدود چهار ساعت و علامت پایان هضم، تغییر رنگ محلول درون لوله‌های آزمایش به رنگ سبز- آبی بود. پنج میلی‌لیتر از عصاره حاصل از هضم به همراه پنج میلی‌لیتر سود ١٠ نرمال زیر ستون تبخیر دستگاه کجلدال قرار گرفت. یک ارلن حاوی ٣ قطره معرف رنگی (متیل رد + برموکرزول گرین) و ٢٠ میلی‌لیتر اسیدبوریک ٢٪ را زیر ستون تقطیر دستگاه قرار داده تا میعانات حاصل از تقطیر بدان افزوده گردد. محلول حاصل از این مرحله سبز رنگ است. ارلن حاوی محلول سبز رنگ پس از تقطیر با اسید سولفوریک ٠/٠١ نرمال تیتر شد تا زمانی‌که محلول به قرمز گلی تغییر رنگ دهد. آنگاه حجم اسید مصرفی را یادداشت نموده و از فرمول زیر مقدار کل نیتروژن موجود درنمونه محاسبه گردید و به‌صورت درصد گزارش شد (Kjeldahl, 1883):

$$\%N = \frac{0.14 \times V \times 0.01}{m} \quad (٢)$$

N: درصد نیتروژن، V: حجم اسید مصرفی برای عمل تیتراسیون، m: وزن نمونه، ١٤/ ٠: عدد ثابت، ٠/٠١: غلظت اسیدسولفوریک.

آنالیز آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از آزمایش در سه تکرار برای هر پارامتر، قبل از تجزیه و تحلیل آماری از نظر نرمال بودن بررسی شدند و تمام صفات مورد مطالعه نرمال بودند. سپس تجزیه واریانس مرکب دو سال و مقایسه میانگین‌ها با کمک برنامه آماری SAS 9.1 انجام گردید. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات ساده سال، قارچ مایکوریزا، باکتری محرک رشد گیاه و کود آلی ورمی‌کمپوست در صفات مورد مطالعه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بودند (جدول ٤). برهمکنش سه‌گانه قارچ مایکوریزا و باکتری محرک رشد گیاه و ورمی-کمپوست در این صفات بر اساس آزمون F معنی‌دار نبود (جدول ٤) ولی نتایج مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن اختلاف آماری معنی‌دار تیمارهای مختلف با تیمار شاهد را نشان داد (شکل‌های ١ تا ٣ و جدول ٦). مقایسات میانگین اثر ساده سال نشان داد که شاخص کلروفیل برگ، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و محتوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه در سال اول (١٤٠٠) بیشتر از سال دوم (١٤٠١) بود (جدول ٥).

جدول ٥: مقایسه میانگین اثر ساده سال در صفات مورد مطالعه گیاه کارلا

سال زراعی	شاخص کلروفیل برگ (ODD)	کاروتنوئید میوه (میلی گرم در گرم)	وزن خشک میوه (کیلوگرم در هکتار)	فسفر (درصد)	پتاسیم (میلی گرم در گرم ماده خشک)	نیتروژن (درصد)
سال ١٤٠٠	٣٨/٠٥^{a}	٦/١٥^{a}	١١٧٦/٠٥^{a}	٠/٢٥٢^{a}	٢٩/٣٨^{a}	٢/٢٢^{a}
سال ١٤٠١	٣٢/٥٦^{b}	٥/٧٣^{b}	٨٣٧/٧^{b}	٠/٢٠٩^{b}	٢٥/٦٤^{b}	١/٧٦^{b}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف غیریکسان هستند؛ براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد؛ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند.

بر اساس نتایج حاصل مشاهده شد که کاربرد منفرد مایکوریزا حاکی از اثر افزایشی گونه *Glomus mosseae* بر شاخص کلروفیل، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و محتوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه می‌باشد (جداول ٦ و ٧). کاربرد منفرد باکتری محرک رشد گیاه نشان‌دهنده این بود که کاربرد منفرد هر دو گونه باکتری (ازوتوباکتر و سودوموناس) شاخص کلروفیل، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه کارلا را افزایش دادند ولی تلقیح با مخلوط هر دو گونه باکتری اثر افزایشی بیشتری را نشان داد (جداول ٦ و ٧). کاربرد منفرد ورمی‌کمپوست بیانگر این بود که مصرف ورمی‌کمپوست و افزایش مقدار آن تأثیر مثبتی بر شاخص کلروفیل، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و محتوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه داشت (جداول ٦ و ٧). برهمکنش سه‌گانه مایکوریزا و باکتری و ورمی‌کمپوست بر تمام صفات مورد مطالعه نشان داد که کاربرد ترکیبی مایکوریزا، باکتری و ورمی‌کمپوست اثر مثبتی بر صفات مورد مطالعه داشت. علاوه بر این، این اثر مثبت کاربرد ترکیبی آنها در مقایسه با کاربرد منفرد آنها به طور قابل توجهی بیشتر بود (جداول ٦ و ٧).

میزان کلروفیل: بر طبق نتایج شاخص کلروفیل مشخص شد که تمام تیمارهای ترکیبی (قارچ+ باکتری+ ورمی‌کمپوست) در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هر سه عامل) منجر به افزایش شاخص کلروفیل شدند (جدول ٦). کمترین شاخص کلروفیل (میانگین ٢٦/٩٤) مربوط به تیمار شاهد بود. تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست دارای بیشترین شاخص کلروفیل (میانگین ٤٦/٥٣) بود که در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص کلروفیل را ٧٢/٧ درصد افزایش داد. این تیمار اختلاف آماری معنی‌داری با سایر تیمارها نیز داشت (جدول ٦).

جدول ٦: مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه قارچ و باکتری و ورمی‌کمپوست بر شاخص کلروفیل، کاروتنوئید میوه و وزن خشک میوه گیاه کارلا

قارچ مایکوریزا	باکتری	ورمی‌کمپوست (تن در هکتار)	شاخص کلروفیل	کاروتنوئید میوه (میلی‌گرم در گرم)	وزن خشک میوه (کیلوگرم در هکتار)
عدم تلقیح قارچ	عدم تلقیح باکتری	٠	٢٦/٩٤ n	٤/١٤ q	٦٠٤/١٧ o
		٤	٢٩/٩٧ j-n	٤/٨٢ nop	٧٥٩/٦٧ mn
		٧	٣٣/١٤g-l	٥/٥١ i-m	٩١٦ ij
		١٠	٣٤/٧٤f-i	٥/٨٧ f-k	٩٩٣/٣٣ghi
	تلقیح با ازتوباکتر	٠	٢٨/٤١ mn	٤/٤٧ pq	٦٨٥/٥ n
		٤	٣١/٧٥ i-m	٥/١٩ l-o	٧٦١/٥ mn
		٧	٣٤/٨٦f-i	٥/٨٨ f-k	١٠٠٠/٠١gh
		١٠	٣٦/٣٧d-h	٦/٢٢ e-h	١٠٧٦/١٧def
	تلقیح با سودوموناس	٠	٢٨/٨ lmn	٤/٥٣ pq	٦٩٢ n
		٤	٣٢/٩٢g-l	٥/٢٦ k-o	٧٧٢ lm
		٧	٣٤/٧f-i	٦/٠١ f-j	١٠١٠/١٧fg
		١٠	٣٦/٧٨ c-h	٦/٢٨d-g	١٠٨٧/٦٧de
	تلقیح با هر دو سویه باکتری	٠	٢٩/٥k-n	٤/٦٩ opq	٧٢٧/٦٧ mn
		٤	٣٢/٦٨h-m	٥/٣٩ j-n	٨٨٧/١٧ jk
		٧	٣٥/٨٥e-i	٦/٠٩ f-i	١٠٤٤/٦٧efg
		١٠	٣٧/٤٤ c-g	٦/٤٤ c-f	١١٢٤/٨٣d
تلقیح با قارچ	عدم تلقیح باکتری	٠	٣١/٥٩ i-m	٥/١٦ mno	٨٣٧ kl
		٤	٣٤/٥٥f-i	٥/٨٥ f-l	٩٩٤/٣٣ghi
		٧	٣٧/٨٨b-f	٦/٥٤b-f	١١٥٠/٨٣d
		١٠	٣٩/٤٧b-e	٦/٨٨a-e	١٢٢٤/٦٧c
	تلقیح با ازتوباکتر	٠	٣٣/١٨g-l	٥/٥٤ h-m	٩١٨/٨٣ ij
		٤	٣٦/٥٦d-h	٦/٢١ e-h	١٠٧٨/٨٣def
		٧	٣٩/٥٩b-e	٦/٩١a-d	١٢٣٦c
		١٠	٤١/٠٨bc	٧/٢٦a	١٣١٥/٥ab
	تلقیح با سودوموناس	٠	٣٣/٥٨f-k	٥/٦ g-m	٩٣٠/٣٣hij
		٤	٣٦/٦٣ c-h	٦/٢٧d-g	١٠٨٩/٥de
		٧	٣٩/٩٣b-e	٦/٩٧abc	١٢٤٧/٦٧bc

	١٠	٤٢/٢١b	٧/٣٣a	١٣١٨ab
	٠	٣٤/٢٦f-j	٥/٧٤ g-m	٩٦٦/٥ghi
تلقیح با هر دو	٤	٣٧/٢٦ c-h	٦/٤٤ c-f	١١٢٤/٦٧d
سویه باکتری	٧	٤٠/٦٢bcd	٧/١٤ab	١٢٨٢/٨٣bc
	١٠	٤٦/٥٣a	٧/٤٨a	١٣٦٢a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند؛ در سطح احتمال ٥٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

میزان کارتنوئید: نتایج برهمکنش سه‌گانه مایکوریزا و باکتری و ورمی‌کمپوست در صفت میزان کاروتنوئید میوه نشان داد که تمام تیمارهای ترکیبی (قارچ+باکتری+ورمی‌کمپوست) در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش میزان کاروتنوئید میوه کارلا شدند (جدول ٦). کمترین کاروتنوئید میوه (میانگین ٤/١٤ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد این عوامل) بود. بیشترین میزان (میانگین ٧/٤٨ میلی-گرم بر گرم) در تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به‌همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که در مقایسه با تیمار شاهد میزان کاروتنوئید را ٨٠/٧ درصد افزایش داد. این تیمار ترکیبی اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به‌همراه ٧ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و کاربرد باکتری سودوموناس به‌همراه ٧ و ١٠ تن در هکتار ورمی-کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و کاربرد باکتری ازتوباکتر به‌همراه ٧ و ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و عدم تلقیح باکتری به‌همراه ١٠ تن در هکتار ورمی-کمپوست نداشت (جدول ٦).

وزن خشک میوه: نتایج برهمکنش سه‌گانه قارچ و باکتری و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک میوه کارلا بیانگر این بود که کمترین وزن خشک میوه (میانگین ٦٠٤/١٧ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد بود. بیشترین وزن خشک میوه (میانگین ١٣٦٢ کیلوگرم در هکتار) با تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و تلقیح هر دو سویه باکتری به همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد ١٢٥/٤ درصد وزن خشک میوه را افزایش داد. این تیمار با تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و تلقیح سودوموناس به‌همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و تلقیح ازتوباکتر به-همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست تفاوت معنی-داری نداشت (جدول ٦). بر اساس نتایج حاصل، تمام تیمارهای ترکیبی (قارچ+باکتری+ورمی‌کمپوست) در مقایسه با تیمار شاهد وزن خشک میوه کارلا را افزایش دادند (جدول ٦).

میزان نیتروژن: نتایج حاصل از محتوی نیتروژن میوه کارلا نشان داد که کمترین میزان (میانگین ١/٤ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود. بیشترین محتوی نیتروژن (میانگین ٢/٥١ درصد) با تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و تلقیح هر دو سویه باکتری به‌همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست حاصل گردید. این تیمار اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و تلقیح هر دو سویه باکتری به‌همراه ٧ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد باکتری سودوموناس به‌همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد باکتری ازتوباکتر به‌همراه ٧ و ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا، عدم تلقیح باکتری به همراه ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست نداشت (جدول ٧).

جدول ۷: مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه قارچ و باکتری و ورمی‌کمپوست بر میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه گیاه کارلا

قارچ مایکوریزا	باکتری	ورمی‌کمپوست (تن در هکتار)	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)
عدم تلقیح قارچ	عدم تلقیح باکتری	۰	۱/٤ p	۰/۱٦٥ r	۲۳/٦ k
		٤	۱/٦۲mno	۰/۱۸۹ n-r	۲٥/۰٦h-k
		۷	۱/۸٥ i-l	۰/۲۱٤ i-m	۲٦/٥۱e-j
		۱۰	۱/۹۸f-k	۰/۲۲۹f-k	۲۷/۲٥d-h
	تلقیح با ازتوباکتر	۰	۱/٥۱ op	۰/۱۷۸ qr	۲٤/٤٦ jk
		٤	۱/۷٦ k-n	۰/۲۰۳ l-p	۲٥/۹۲f-k
		۷	۲ e-j	۰/۲۲۸f-l	۲۷/٤۱d-h
		۱۰	۲/۱۲d-g	۰/۲٤e-i	۲۸/۱٦b-f
	تلقیح با سودوموناس	۰	۱/٤۹ op	۰/۱۸ pqr	۲٤/٥٦ ijk
		٤	۱/۷۳ lmn	۰/۲۰٦ k-o	۲٦/۰۸e-k
		۷	۱/۹٦f-k	۰/۲۲۹f-k	۲۷/٥۲c-h
		۱۰	۲/۰۸e-h	۰/۲٤۳d-h	۲۸/۲۹a-f
	تلقیح با هر دو سویه باکتری	۰	۱/٥۷nop	۰/۱۸٤ o-r	۲٥/۳۱g-k
		٤	۱/۸۱ j-m	۰/۲۱ j-n	۲٦/٤۲e-j
		۷	۲/۰٤e-i	۰/۲۳٦f-j	۲۷/۹b-g
		۱۰	۲/۱٦def	۰/۲٤۹c-g	۲۸/٦٥a-e
تلقیح با قارچ	عدم تلقیح باکتری	۰	۱/۷٤ lmn	۰/۲۰۲ m-q	۲٥/۷۷f-k
		٤	۱/۹٦f-k	۰/۲۲٦f-m	۲٦/۲۸e-j
		۷	۲/۲cde	۰/۲٥۳b-f	۲۸/۷۲a-e
		۱۰	۲/۳۲a-d	۰/۲٦٤a-e	۲۹/٤٥a-d
	تلقیح با ازتوباکتر	۰	۱/۸۷h-l	۰/۲۱٦ i-m	۲٦/٦۷e-j
		٤	۲/۱۲d-g	۰/۲٤e-i	۲۸/۱۸b-f
		۷	۲/۳۷abc	۰/۲٦٦a-d	۲۹/٦۳a-d
		۱۰	۲/٤۷ab	۰/۲۷۸a	۳۰/۳٥ab
	تلقیح با سودوموناس	۰	۱/۸٤ i-l	۰/۲۲h-m	۲٦/۷۷e-j
		٤	۲/۰۷e-h	۰/۲٤۳d-h	۲۸/۲۸a-f
		۷	۲/۲۹bcd	۰/۲۷abc	۲۹/۷٥a-d
		۱۰	۲/٤۳ab	۰/۲۸۳a	۳۰/٤۸ab
	تلقیح با هر دو سویه باکتری	۰	۱/۹۲g-l	۰/۲۲۳g-m	۲۷/۱٦d-i
		٤	۲/۱٦def	۰/۲٤۹c-g	۲۸/٦٥a-e
		۷	۲/۳۹abc	۰/۲۷٥ab	۳۰/۱٤abc
		۱۰	۲/٥۱a	۰/۲۸۸a	۳۰/۸۸a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه؛ طبق آزمون چنددامنه دانکن در سطح احتمال ٥٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همچنین، تمام تیمارهای ترکیبی (قارچ+ باکتری+ورمی‌کمپوست) در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش محتوی نیتروژن میوه کارلا گردید (جدول ۷).

میزان فسفر: در نتایج به دست آمده از محتوی فسفر میوه کارلا مشاهده گردید که بیشترین مقدار (میانگین ۰/۲۸۸ درصد) مربوط به تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به‌همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بود. این تیمار اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به‌همراه ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد باکتری سودوموناس به همراه ۷ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد باکتری ازتوباکتر به همراه ۷ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و عدم تلقیح باکتری به همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست نداشت. کمترین محتوی فسفر میوه کارلا (میانگین ۰/۱٦٥ درصد) در تیمار شاهد حاصل گردید (جدول ۷). همچنین، نتایج حاکی از این بود که تمام تیمارهای ترکیبی (قارچ+ باکتری+ ورمی‌کمپوست) در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش محتوی فسفر میوه کارلا شدند (جدول ۷).

میزان پتاسیم: بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه قارچ و باکتری و ورمی‌کمپوست در محتوی پتاسیم میوه کارلا مشخص شد که بیشترین میزان (میانگین ۳۰/۸۸ میلی‌گرم در گرم) مربوط به تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به‌همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بود که در مقایسه با شاهد پتاسیم میوه را ۳۰/۸ درصد افزایش داد. این تیمار با تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به‌همراه ٤ و ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد باکتری سودوموناس به‌همراه ٤ ، ۷ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و کاربرد باکتری ازتوباکتر به‌همراه ۷ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمارهای ترکیبی تلقیح مایکوریزا و عدم تلقیح باکتری به‌همراه ۷ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تیمار ترکیبی عدم تلقیح مایکوریزا و کاربرد هر دو سویه باکتری به همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تیمار ترکیبی عدم تلقیح با مایکوریزا و کاربرد باکتری سودوموناس به همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۷). کمترین محتوی پتاسیم میوه (میانگین ۲۳/٦ میلی‌گرم در گرم) در تیمار شاهد به‌دست آمد. همچنین، تمام تیمارهای ترکیبی (قارچ+باکتری+ ورمی‌کمپوست) در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش محتوی پتاسیم میوه کارلا شدند (جدول ۷).

بحث

کودهای زیستی و آلی به خصوص با مصرف همزمان به‌طور مثبت بر شاخص کلروفیل برگ، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه، و محتوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه کارلا تاثیر گذاشتند (جدول ٦ و ۷). شاخص کلروفیل برگ کارلا در سال دوم (۱٤۰۱) کمتر از سال اول (۱٤۰۰) بود. در این مورد می‌توان اذعان کرد که کاهش بارندگی و افزایش دما در سال دوم (جداول ۱ و ۲) می‌تواند دلیلی بر کاهش شاخص کلروفیل برگ در سال دوم باشد؛ سایر محققان نیز اذعان نمودند که گرمای پایان فصل از طریق افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاه است (Reynolds et al., 2000). کلروفیل در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم حفظ پتانسیل فتوسنتزی است و کاهش میزان آن تحت شرایط محیطی نامساعد (مثل خشکی و گرما)

از علل اصلی است که باعث پیری برگ و کاهش فتوسنتز، رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌شود (Mir et al., 2021). کاهش کلروفیل در خشکی می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های اکسیژن فعال باشد. این ترکیبات فعال موجب پراکسیداسیون و تجزیه رنگدانه‌ها می‌شوند. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و کاهش جذب نیتروژن، آهن و منیزیوم در شرایط خشکی و کاهش بارندگی باعث کاهش کلروفیل گیاه می‌شوند (Muller et al., 2010). افزایش شاخص کلروفیل در تیمار ترکیبی تلقیح با مایکوریزا و تلقیح با هر دو سویه باکتری (حاوی ازتوباکتر و سودوموناس) در حضور ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سایر تیمارهای ترکیبی می‌تواند به دلیل نقش این فاکتورهای زیستی و آلی در بهبود وضعیت رطوبت خاک و نیز فراهمی بیشتر عناصر و افزایش جذب آنها (به ویژه نیتروژن، آهن و منیزیوم به عنوان عناصر مهم ساختار کلروفیل) باشد. ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی ساختار نیتروژنی دارند. همچنین، نیتروژن ساختار اصلی تمامی اسیدهای آمینه در پروتئین‌ها و چربی‌ها است که به‌عنوان ترکیبات ساختاری کلروپلاست فعالیت می‌کنند، بنابراین کاربرد کودهای حاوی نیتروژن منجر به افزایش میزان کلروفیل در گیاه می‌شود (Malekian et al., 2011). از طرفی تأمین عناصری مانند نیتروژن، منیزیوم، آهن، منگنز و روی که در ساختار کلروفیل حضور دارند از طریق مصرف کودهای آلی و زیستی افزایش می‌یابد (Mohammadi et al., 2013). در راستای نتایج این تحقیق، گزارشات متعددی وجود دارد. برای مثال، افزایش نیتروژن در گیاهان برنج و رازیانه کلونیزه شده با مایکوریزا به وضوح منجر به محتوای کلروفیل بالاتر می‌شود، زیرا مولکول‌های کلروفیل می‌توانند به‌طور موثر نیتروژن را به دام بیندازند (De Andrade et al., 2015). مطالعات مشابهی با یافته‌های این تحقیق در خصوص اثر مثبت مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه (Sanyaei et al., 2019) و ورمی‌کمپوست (Jankauskienė et al., 2022) بر شاخص کلروفیل از طریق بهبود تخلخل، هوادهی، حفظ آب و فراهمی عناصر در خاک گزارش شده است. بنابراین، می‌توان بیان کرد که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و آلی با فراهمی این عناصر ضروری در خاک شاخص کلروفیل برگ را افزایش داده و نهایتا کیفیت و عملکرد میوه کارلا را می‌تواند بهبود بخشد.

کاهش میزان کاروتنوئید در سال دوم (۱٤۰۱) نسبت به سال اول (۱٤۰۰) می‌تواند در اثر کاهش بارندگی در سال دوم (جداول ۱ و ۲) باشد. در این زمینه، گزارش شده است که در شرایط خشکی محتوی کاروتنوئید میوه عناب کاهش می‌یابد (Jiang et al., 2020). این می‌تواند به علت اکسیداسیون در اثر گونه‌های اکسیژن فعال باشد (Mohi-Ud-Din et al., 2021). کاربرد کودهای زیستی حاوی مایکوریزا، ازتوباکتر و سودوموناس و کود آلی ورمی‌کمپوست می‌تواند در افزایش محتوی کاروتنوئید میوه کارلا موثر باشد که می‌تواند به افزایش فراهمی و جذب عناصر به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط این عوامل مربوط باشد. در این زمینه، گزارش شده است که مایکوریزا می‌تواند کیفیت گیاهان را با تأثیر و تولید کاروتنوئیدها افزایش دهد (Hart et al., 2015). به طور مشابه، میزان لیکوپن (نوعی کاروتنوئید) میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر و سودوموناس) و مایکوریزا (*G. mosseae*) در مقایسه با شاهد افزایش یافت و حداکثر میزان آن مربوط به تیمار ترکیبی سودوموناس + ازتوباکتر + مایکوریزا به دلیل افزایش جذب مواد معدنی بود (Ordookhani and Zare, 2011). افزایش جذب عناصر توسط گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه به تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه در سطح

مشترک ریشه نسبت داده شده است که رشد ریشه را تحریک کرده و منجر به جذب بهتر آب و عناصر از خاک می‌شود که متعاقبا کیفیت میوه را بهبود می‌بخشد (Ordookhani and Zare, 2011). مشخص شده است که ورمی‌کمپوست با افزایش محتوای کاروتنوئید بر کیفیت اسفناج اثر مطلوبی گذاشت که می‌تواند ناشی از نقش پتاسیم در تولید کاروتنوئید باشد (Xu and Mou, 2016). نتایج این تحقیق با یافته‌های مطالعات فوق مطابقت داشت.

بیشتر بودن وزن خشک میوه در سال اول (١٤٠٠) به دلیل بارندگی بیشتر و دمای کمتر در مقایسه با سال دوم (١٤٠١) بود (جداول ١ و ٢). با توجه به اینکه در مراحل تشکیل میوه و رسیدگی میوه کارلا، کاهش میزان بارندگی و افزایش دما در سال دوم رخ داده است، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاهش رطوبت با کاهش کلروفیل و میزان عناصر در سال دوم منجر به کاهش وزن میوه در سال دوم شده است. در این زمینه، کاهش وزن خشک میوه در اثر کمبود رطوبت و بارندگی در مطالعه میر و همکاران (١٤٠٠) گزارش شده است. همچنین، خشکی ناشی از عدم دسترسی مکرر آب کافی در خاک همراه با درجه حرارت بالا، با کاهش قابل توجه اندازه میوه، افزایش گل‌ریزی، درصد کم تشکیل میوه و کاهش عملکرد، به عامل محدودکننده اصلی تأثیرگذار بر رشد و بهره‌وری میوه تبدیل شده است (Buhroy et al., 2017). افزایش وزن خشک میوه در تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزا و هر دو سویه باکتری در حضور ١٠ تن در هکتار ورمی‌کمپوست می‌تواند به دلیل نقش این فاکتورهای زیستی و آلی در بهبود وضعیت رطوبت خاک و جذب آب و نیز فراهمی بیشتر عناصر و افزایش جذب آنها به‌ویژه نیتروژن و فسفر باشد. مواد مغذی آلی و غیرآلی باعث بهبود رشد گیاه و عملکرد بهتر میوه کارلا می‌شوند (Geethu et al., 2018). باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر و باسیلوس) وزن میوه گوجه‌فرنگی را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (Katsenios et al., 2021). محققان اعلام کردند که بیشترین میزان عملکرد میوه کارلا با تلقیح مایکوریزای *G. mosseae* حاصل شد و علت را نقش مایکوریزا در افزایش جذب فسفر و فراهمی آن و افزایش کلروفیل بیان کردند (دولتمندشهری و همکاران، ١٤٠٠). محققان نشان دادند که مصرف ١٢ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌همراه مایکوریزا (ترکیب سه گونه *Glomus etunicatum*، *G. mosseae* و *G. intraradices*) عملکرد میوه خشک را در گیاه کدوی تخم‌کاغذی افزایش می‌دهد (Khaje Haqvardi et al., 2017). نتایج این تحقیق مبنی بر اثر مثبت کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک میوه با نتایج مطالعات فوق مطابقت داشت. مشخص شده است که تولید هورمون‌های گیاهی و سایر ترکیبات قابل انتشار که رشد گیاه را تعدیل می‌کنند یکی از ویژگی‌های مؤثر کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست می‌باشد (Olle, 2019; Orozco-Mosqueda et al., 2021). بهبود عملکرد میوه می‌تواند به‌دلیل افزایش زیاد بیوماس میکروبی خاک پس از کاربرد ورمی-کمپوست باشد که باعث تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (مثل اکسین، جیبرلین و سیتوکینین) می‌شود که مستقل از تامین مواد مغذی به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه عمل می‌کنند (Devi and Khwairakpam, 2022).

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه کارلا در سال دوم (١٤٠١) کمتر از سال اول (١٤٠٠) بود. از آنجا که در سال دوم در مراحل تشکیل و رشد میوه کارلا میزان بارندگی کمتر و دما بیشتر از سال اول بود (جداول ١ و ٢)، می‌توان این گونه بیان کرد که کاهش رطوبت منجر به کاهش فراهمی عناصر و کاهش گسیل عناصر

از خاک به اندام‌هوایی و سرانجام بخش گل‌آذین و میوه می‌شود. در این راستا، مشخص شده است که خشکی و گرما چرخه، جذب و فراهمی عناصر برای گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Fahad et al., 2017). کاربرد محرک‌های زیستی (مایکوریزا، ازتوباکتر و سودوموناس) و کود آلی (ورمی‌کمپوست) می‌تواند باعث افزایش میزان عناصر میوه کارلا مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم شود. در این راستا، مطالعات مشابهی وجود دارد. برای مثال، محتوی نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و فسفر در گوجه‌فرنگی تلقیح شده با مایکوریزا افزایش یافته است (Balliu et al., 2015). مایکوریزا پس از ایجاد همزیستی، میسلیوم‌های گسترده‌ای را از ریشه تا ریزوسفر اطراف تولید می‌کند؛ در نتیجه به بهبود جذب عناصر به‌ویژه فسفر و نیتروژن کمک می‌کند. همچنین، این قارچ با افزایش آنزیم فسفاتاز موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک و متعاقبا افزایش جذب آن توسط گیاه می‌شود (Begum et al., 2019 a). میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر نه‌تنها می‌توانند وضعیت عناصر گیاهان را بهبود بخشند بلکه می‌توانند عملکرد کمی و کیفی آنها را نیز افزایش دهند (Hart et al., 2015). باکتری‌های محرک رشد مثل ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس موجب افزایش سطح ریشه می‌شوند و این افزایش به‌علت دسترسی بیشتر به آب و عناصر باعث افزایش رشد و کیفیت گیاهان می‌شود (Sanyaei et al., 2019). سیدروفور ترشح شده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند با عناصر موجود در سطح کانی کمپلکس برقرار کند و در آزادسازی عناصری مثل فسفر، پتاسیم و آهن تأثیر بگذارد. همچنین، تولید اسیدهای آلی و معدنی مثل سیترات، اگزالات و استات توسط این باکتری‌ها و کاهش pH محیط، انحلال ترکیبات معدنی نامحلول فسفر و حل شدن سایر عناصر مثل روی و پتاسیم را تحریک می‌کند که برای حاصلخیزی خاک و بهبود محصول ضروری هستند (Orozco-Mosqueda et al., 2021). محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در میوه و گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست افزایش یافت (Hyder et al., 2015). مواد معدنی (به‌ویژه نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیوم، منگنز، مس و آهن) در میوه خرما توسط ورمی‌کمپوست افزایش یافت (Al Jaouni et al., 2019). ورمی‌کمپوست عناصر ماکرو و میکرو را در خاک تیمار شده آزاد می‌کند. جذب عناصر روی اسید هیومیک موجود در ورمی‌کمپوست، آنها را برای رشد گیاه در دسترس قرار می‌دهد. همچنین، ورمی‌کمپوست با تنظیم فیزیولوژی ریشه و افزایش کارایی مصرف عناصر، می‌تواند جذب عناصر پرمصرف را افزایش دهد (Devi and Khwairakpam, 2022). ورمی‌کمپوست از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک همچون اسید فسفاتاز و اوره‌آز منجر به افزایش فراهمی عناصر و متعاقب آن بهبود عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی شد (Yang et al., 2015). کاربرد ترکیبی مایکوریزا و ورمی‌کمپوست جذب عناصر را در کینوا تحریک کرد (Benaffari et al., 2022). نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات فوق مطابقت داشت و می‌تواند به‌دلیل نقش این عوامل در فراهمی و جذب عناصر باشد.

نتیجه‌گیری

کاربرد مایکوریزای *G. mosseae*، باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر و سودوموناس) و ورمی‌کمپوست به صورت منفرد و ترکیبی شاخص کلروفیل برگ، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و محتوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه کارلا را افزایش داد. صفات فوق با افزایش سطح ورمی‌کمپوست تا ۱۰ تن در هکتار به طور قابل توجهی افزایش نشان دادند. کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و آلی با فراهمی

عناصر ضروری در خاک شاخص کلروفیل برگ را افزایش داده و نهایتا وزن خشک میوه و کیفیت میوه کارلا را بهبود بخشید. لذا می‌توان تیمار ترکیبی تلقیح مایکوریزای *G. mosseae* و کاربرد هر دو سویه باکتری (ازتوباکتر و سودوموناس) به‌همراه ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست را بر اساس افزایش شاخص کلروفیل برگ، کاروتنوئید میوه، وزن خشک میوه و محتوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه کارلا توصیه کرد

References

Al Jaouni, S., Selim, S., Hassan, S.H., Mohamad, H.S., Wadaan, M.A., Hozzein, W.N., Asard, H., and AbdElgawad, H. 2019. Vermicompost supply modifies chemical composition and improves nutritive and medicinal properties of date palm fruits from Saudi Arabia. Frontiers in Plant Science. 10: 424.

Balliu, A., Sallaku, G., and Rewald, B. 2015. AMF Inoculation enhances growth and improves the nutrient uptake rates of transplanted, salt-stressed tomato seedlings. Sustainability. 7: 15967–15981.

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N., and Zhang, L. 2019 a. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance Front Plant Sci. 10: 1068.

Begum, N., Akhtar, K., Ahanger, M.A., Iqbal, M., Wang, P., Mustafa, N.S., and Zhang, L. 2019 b. Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, essential oil, secondary metabolism, and yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under drought stress conditions. Environ Sci Pollut Res Int, 28(33):45276-45295. doi: 10.1007/s11356-021-13755-3.

Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M., and Meddich, A. 2022. The native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. Plants. 11(3): 393.

Buhroy, S., Arumugam, T., Manivannan, N., Vethamoni, P. I., and Jeyakumar, P. 2017. Correlation and path analysis of drought tolerance traits on fruit yield in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress condition. Chem Sci Rev Lett. 6(23): 1670-1676.

De Andrade, S. A. L., Domingues, A. P., and Mazzafera, P. 2015. Photosynthesis is induced in rice plants that associate with arbuscular mycorrhizal fungi and are grown under arsenate and arsenite stress. Chemosphere. 134: 141–149.

Devi, C., and Khwairakpam, M. 2022. Vermicompost for Sustainable Agriculture and Bioconversion of Terrestrial Weed Biomass into Vermicompost. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.100615.

Dolatmandshahri, N., Modares Secondarii, S.A.M., Mirjalili, M.H., and Khosadi Bidgoli, A. 2021. Investigating changes in fruit yield of carla plant (*Momordica charantia*) under two species of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer in conditions a farm 17th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran, Kerman. https://civilica.com/doc/1418917.

Dolatmand-Shahri, N., Mohammad Modarres-Sanavy, S.A. Mirjalili, M.H., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2024. Study the yield and quality of bitter gourd fruit (*Momordica charantia*) in inoculation with two species of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer under different irrigation regimes. Plant Physiology and Biochemistry, 208: 108479. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108479.

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M. Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D., and Huang, J. 2017. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. Frontiers in plant science. 8: 1147.

Geethu, B. L., Saravanan, S., Prasad, V. M., Gokul, P., and Baby, R. 2018. Effect of organic and inorganic fertlizers on the plant growth and fruit yield of bittergourd (*Momordica charantia*) variety: Preethi. The Pharma Innovation Journal. 7(7): 75-78.

Griffe, P., Metha, S., and Shankar, D. 2003. Organic production of medicinal, Aromatic and Dye-yielding Plants (MADPs): Forward, Preface an Introduction. FAo. Pp: 32.

Hart, M., Ehret, D. L., Krumbein, A., Leung, C., Murch, S., and Turi, C. 2015. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves the nutritional value of tomatoes. Mycorrhiza. 25: 359–376.

Hyder, S.I., Farooq, M., Sultan, T., Ali, A., Ali, M., Kiani, M.Z., Ahmad, S., and Tabssam, T. 2015. Optimizing yield and nutrients content in tomato by vermicompost application under greenhouse conditions. Natural Resources, 6(07): 457.

Jankauskienė, J., Laužikė, K., and Kavaliauskaitė, D. 2022. Effects of Vermicompost on Quality and Physiological Parameters of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings and Plant Productivity. Horticulturae. 8(11): 1009.

Jiang, W., Li, N., Zhang, D., Meinhardt, L., Cao, B., and Li, Y. 2020. Elevated temperature and drought stress significantly affect fruit quality and activity of anthocyanin-related enzymes in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. 'Lingwuchangzao'). PLoS ONE. 15(11): e0241491.

Jiang, Y. N., Wang, W. X., Xie, Q. J., Liu, N., Liu, L. X., and Wang, D. P. 2017 a. Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi. Science. 356: 1172-1175.

Jiang, C., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., and Maruo, T. 2017 b. A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. Hort Research. 71(71): 37-42.

Katsenios, N., Andreou, V., Sparangis, P., Djordjevic, N., Giannoglou, M., Chanioti, S., Stergiou, P., Xanthou, M.Z., Kakabouki, I., and Vlachakis, D. 2021. Evaluation of Plant Growth Promoting Bacteria Strains on Growth, Yield and Quality of Industrial Tomato. Microorganisms. 9(10): 2099.

Khaje Haqvardi, M., Ardakani, M.R., Abbaszadeh, B., and Nejatkhah Manavi, P. 2017. The effect of vermicompost, biochar and mycorrhizal symbiosis on some quantitative and qualitative characteristics of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research. 34(1): 87-100.

Khosravi, A., Khoramivafa, M., and Ghobadi, M.E. 2024. Investigation of Influence of Cultivation Method on Karela (*Momordica charantia*) Yield under Different Levels of Urea Fertilizer and Poultry. Journal of Vegetables Sciences. 14(2): 107-121.

Kjeldahl, J. 1883. A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds. Zeitschrift für Analytische Chemie. 22: 366-382.

Kumar, A., Singh, S., Gaurav, A.K., Srivastava, S., and Verma, J.P. 2020. Plant Growth-Promoting Bacteria: Biological Tools for the Mitigation of Salinity Stress in Plants. Front Microbiol. 11: 1216.

Lenart, A. 2012. Occurrence, characteristics, and genetic diversity of *Azotobacter chroococcum* in various soils of Southern Poland. Pol J Environ Stud. 21(2): 415-424.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In Methods in Enzymology, Academic Press. 148: 350-382.

Malekian, R., Abedi, K.J., and Eslamian, S.S. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. J Hazard Mater. 185: 970-976.

Mohammadi, K., G. Heidar, M. Javaheri, A. Rokhzadi, M. T. Karimi Nezhad, Y. Sohrabi, A., and Talebi. R. 2013. Fertilization affects the agronomic traits of high oleic sunflower hybrid in different tillage systems. Industrial Crops and Products. 44: 446– 451.

Mohi-Ud-Din, M., Talukder, D., Rohman, M., Ahmed, J.U., Jagadish, S.V.K., Islam, T., and Hasanuzzaman, M. 2021. Exogenous Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid Mitigates Drought-Induced Oxidative Damages in French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plants. 10(10): 2066.

Mir, A., Piri, H., and Naserin, A. 2021. The effects of different levels of wheat biochar and water stress on the quantitative and qualitative characteristics of Carla (Bitter melon) in pot conditions. Water Research in Agriculture. 35(2): 169-185.

Muller, T., Luttchwager, D., and Lentzsch, P. 2010. Recovery from drought stress at the shooting stage in oilseed crop (*Brassica napus* L). Journal of Agronomy and Crop Science. 196(2): 81-89.

Olle, M. 2019. Vermicompost, its importance and benefit in agriculture. Journal of Agricultural Science. 2: 93–98.

Ordookhani, K., and Zare, M. 2011. Effect of Pseudomonas, Azotobacter and arbuscular mycorrhiza fungi on lycopene, antioxidant activity and total soluble solid in tomato (*Lycopersicon esculentum* F1 Hybrid, Delba). Adv Environ Biol. 5(6): 1290-1294.

Orozco-Mosqueda, M.D.C., Flores, A., Rojas-Sánchez, B., Urtis-Flores, C.A., Morales-Cedeño, L.R., Valencia-Marin, M.F., Chávez-Avila, S., Rojas-Solis, D., and Santoyo, G. 2021. Plant Growth-Promoting Bacteria as Bioinoculants: Attributes and Challenges for Sustainable Crop Improvement. Agronomy. 11(6): 1167.

Ramakrishna, W., Yadav, R., and Li, K. 2019. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. Applied Soil Ecology. 138: 10-18.

Ryan, J.R., Estefan, G., and Rashid, A. 2001. Soil and plant analysis laboratory manual, (2 nd edition). ICARDA, Syria. Pp: 231.

Reynolds, M. P., Delgado, M. I., Gutierrez-Rodriguez, B. M., and Larque-Saavedra, A. 2000. Photosynthesis of

wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. Field Crops Res. 66: 37–50.

Saad, D. Y., Soliman, M. M., Baiomy, A. A., Yassin, M. H., and El-Sawy, H. B. 2017. Effects of Karela (Bitter Melon; *Momordica charantia*) on genes of lipids and carbohydrates metabolism in experimental hypercholesterolemia: biochemical, molecular and histopathological study. BMC Complement Altern Med. 17: 319.

Sarikhani, M.R., Khoshru, B., and Greiner, R. 2019. Isolation and identification of temperature tolerant phosphate solubilizing bacteria as a potential microbial fertilizer. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 35: 126.

Sartip, H., Khammari, I., and Dahmardeh, M. 2017. Effects of biofertilitzers and chemical fertilizers on photosynthetic pigments, secondary metabolites and fruit yield of Karela (*Momordica charantia* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33(4): 608-619.

Sanyaei, S., Barmaki, M., Ebadi Khazineh Kadim, A., and Turabi Ghiglo, M. 2019. The effect of drought stress and inoculation of mycorrhizal fungi and Pseudomonas bacteria on some morpho-physiological characteristics of sour tea *Hibiscus sabdariffa* L. Science of Agriculture and Sustainable Production. 30(2): 71-89.

Sun, L., Zhang, X., Dong, L., Zhang, C., Guo, P., and Wu, C. 2021. The triterpenoids of the bitter gourd (*Momordica Charantia*) and their pharmacological activities: A review. Journal of Food Composition and Analysis. 96: 103726.

Wilson, J.R. 1983. Effect of water stress on in vitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. Aust J Agic Res. 34(4): 377-390.

Xu, C., and Mou, B. 2016. Vermicompost affects soil properties and spinach growth, physiology, and nutritional value. HortScience. 51(7): 847-855.

Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T., and Li, F. 2015. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. Agricultural Water Management. 160: 98-105.