Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops
https://jabssh.znu.ac.ir

Research Article
Vol. 1, No. 1, Autumn and Winter 2026, p. 39-52

The effect of combined application of vermicompost and growth-promoting bacteria on vegetative and reproductive indices of strawberry cv. Albion under nutrient stress

Younes Sazandeh [1], Maryam Khalilnejad [2], Fatemeh Nekounam [*3]

1 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: nekounam@znu.ac.ir)

Received: 05 October 2025
Received in revised form: 12 October 2025
Accepted: 01 November 2025

How to cite this article:
Sazandeh, Y., Khalilnejad, M. & Nekounam, F. (2026). The effect of combined application of vermicompost and growth-promoting bacteria on vegetative and reproductive indices of strawberry cv. Albion under nutrient stress. *Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops*, *1*(1), 39-52. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742846

Introduction

Strawberry (*Fragaria ananassa* L.), is a perennial plant belonging to the Rosaceae family. The fruit of the strawberry is rich in fiber, water, vitamin C, antioxidants, phenolic compounds, and flavonoids such as anthocyanins." One of the challenges in hydroponic cultivation is the excessive use of chemical fertilizers, which can reduce the health and quality of greenhouse-grown edible crops. Organic matter and biofertilizers have been considered as a suitable alternative to chemical fertilizers and to increase soil fertility, especially in sustainable agriculture. Foliar and soil application of growth-promoting rhizobacteria increases the content of macro and micronutrients, induces systemic resistance against pathogens and tolerates environmental stress conditions. The aim of the present study was to investigate the effect of combined application of vermicompost and growth-promoting bacteria on vegetative and reproductive indices of 'Albion' strawberry under nutritional stress in soilless culture conditions.

Materials and Methods

To evaluate strawberry yield using organic and biological fertilizers in a cocopeat-perlite substrate, an experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included five levels: 1) 20% vermicompost in the substrate, 2) 20% vermicompost in the substrate + 50% nutrient solution, 3) 20% vermicompost in the substrate + bacterial inoculation, 4) 20% vermicompost in the substrate + bacterial inoculation + 50% nutrient solution, 5) Control treatment (100% nutrient solution). Plants were daily fed with a Hoagland nutrient solution. Bacterial inoculation involved applying a combination of growth-promoting bacteria (Azotobacter chroococcum, Bacillus subtilis, and Pseudomonas putida) one week after transplanting, with two repetitions at 15-day intervals. Growth and reproductive indices were measured at five stages with 10-day intervals, starting 30 days after transplanting.

Results and Discussion

Results indicated that the treatment with 20% vermicompost in the substrate and 50% nutrient solution (without bacterial inoculation) led to significant increases in plant height (59.7%), crown diameter (21.6%), petiole length (33.71%), runner number (31.81%), leaf number (13.64%), flower number (42.85%), and fruit number (32.60%) compared to the control treatment, 70 days after transplanting. Additionally, the growth rate of all traits increased over the 70-day growth period in this treatment. In contrast, the treatment with 20% vermicompost in the substrate (without bacterial inoculation and nutrient solution) had the most negative impact on the growth and reproductive indices of the Albion strawberry variety. Vermicompost and growth-promoting

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742846

bacteria improve soil microbial activity, produce growth-regulating hormones, and further increase nutrient absorption, leading to an increase in carbohydrate and plant dry matter, which increases flowering. So based on the results, planting strawberry seedlings in vermicompost enriched with growth-promoting bacteria and feeding with 50% Hoagland nutrient solution provides mineral elements such as nitrogen, phosphorus, potassium, vitamins, hormones, and amino acids, and increases carbohydrate storage, resulting in increased vegetative growth in the strawberry plant, which increases flower induction and flower formation in strawberries, and ultimately increases the number of flowers and fruits.

Conclusions

Based on these findings, it is recommended to use 20% vermicompost in the substrate combined with 50% nutrient solution instead of the full 100% nutrient solution for strawberry cultivation.

Keywords: Biofertilizer, Bioponic, Healthy product (GAP), Yield.

نشریه تنش‌های غیر زیستی در محصولات باغبانی
https://jabssh.znu.ac.ir
دانشگاه زنجان

مقاله پژوهشی
جلد ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، ص. ۳۹ – ۵۲

تأثیر کاربرد تلفیقی ورمیکمپوست و باکتریهای محرک رشد بر شاخص‌های رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای

یونس سازنده، مریم خلیل نژاد، فاطمه نکونام*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

چکیده

یکی از معضلات در کشت هیدروپونیک، کاربرد زیاد کودهای شیمیایی است که باعث کاهش سلامت و کیفیت خوراکی محصولات گلخانه‌ای می‌شود. به‌منظور ارزیابی تولید محصول توت‌فرنگی با استفاده از کودهای آلی و زیستی در بستر کشت کوکوپیت: پرلیت، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی در پنج سطح شامل ۱) ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر کشت، ۲) ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر + ۵۰ درصد تغذیه محلول غذایی، ۳) ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر + تلقیح باکتریایی، ۴) ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر + تلقیح باکتریایی + ۵۰ درصد تغذیه محلول غذایی و ۵) تیمار شاهد (۱۰۰ درصد تغذیه محلول غذایی) بود. تغذیه گیاهان به‌صورت روزانه با محلول غذایی هوگلند انجام –شد. تلقیح باکتریایی شامل کاربرد ترکیب سه تایی باکتری‌های محرک رشد **Azotobacter chroococcum**، **Bacillus subtilis** و **Pseudomonas putida** یک هفته بعد از انتقال نشا و استقرار کامل گیاهان و همراه با ۲ بار تکرار با فاصله ۱۵ روزه بود. ۳۰ روز پس از کاشت نشا¬ها، شاخص‌های رویشی و زایشی در پنج مرحله با فاصله ۱۰ روز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد (فاقد ترکیب باکتریایی) باعث افزایش ارتفاع بوته (۷/۵۹ درصدی)، قطر طوقه (۶/۲۱ درصدی)، طول دمبرگ (۳۳/۷۱ درصدی)، تعداد رانر (۳۱/۸۱ درصدی)، تعداد برگ (۱۳/۶۴ درصدی)، تعداد گل (۴۲/۸۵ درصدی) و تعداد میوه (۳۲/۶۰ درصد) نسبت به شاهد ۷۰ روز بعد از انتقال نشا و افزایش شیب خط رشدی تمام شاخص‌ها در طول دوره رشد ۷۰ روزه نسبت به شاهد شد، در حالی که تیمار ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر (فاقد ترکیب باکتریایی و تغذیه)، بیشترین تأثیر منفی را بر شاخص‌های رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم آلبیون نشان داد. بر اساس نتایج حاصل‌شده، تغذیه ۵۰ درصد محلول غذایی همراه با ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست به‌جای تغذیه ۱۰۰ درصد محلول غذایی پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: عملکرد، کود زیستی، محصول سالم، هیدروپونیک زیستی.

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* L.)، گیاهی چندساله متعلق به خانواده Rosaceace است. میوه توت‌فرنگی سرشار از فیبر، آب، ویتامین (مخصوصاً ویتامین ث)، آنتی‌اکسیدان، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی مانند آنتوسیانین و سایر مواد مغذی است و از نظر ارزش غذایی جایگاه ویژه‌ای در میوه‌ها و سبد غذایی جوامع دارا است (Sahana *et al*., 2020). افزایش تقاضای بازار سبب شده است که سیستم‌های نوین تولید توت‌فرنگی، مانند کشت بدون خاک، جای سیستم‌های متداول خاکی را بگیرند. سیستم کشت بدون خاک مزایایی مانند بی‌نیازی به ضدعفونی کردن بستر، افزایش تولید نسبت به کشت خاکی و آلودگی کمتر میوه‌ها به بیماری‌های خاکزی را دارا است. کشت میوه‌ها و سبزی‌ها در سیستم کشت بدون خاک راه‌حلی بالقوه برای حفظ امنیت محصولات غذایی، به‌ویژه به علت داشتن مزایایی نظیر کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد محصول و کاهش مصرف آفت‌کش‌ها، است (Treftz *et al*., 2015). یکی از مشکلات در این سیستم کشت، هزینه بالای تهیه عناصر غذایی و عدم امکان تولید محصول ارگانیک به علت استفاده روزانه کودهای شیمیایی است؛ چه‌بسا مصرف بیش از اندازه نهاده‌های شیمیایی در کشت‌های بدون خاک، علاوه بر هزینه‌بر بودن، موجب بروز معضلات زیست‌محیطی ازجمله آلودگی منابع آب و افت کیفیت و سلامت محصولات گلخانه‌ای می‌شود (Van Herwijnen *et al*., 2007). بر این اساس، همواره محققین در جست‌وجوی راه‌حلی برای به حداقل رساندن مصرف کودهای شیمیایی در کشت هیدروپونیک بوده اند. مواد آلی و کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک، به‌خصوص در بحث کشاورزی پایدار، مورد توجه قرار گرفته‌اند (Riaz *et al*., 2021). در سیستم کشت بدون خاک می‌توان از کودهای آلی مانند کود دامی و ورمی‌کمپوست نیز استفاده نمود. ورمی‌کمپوست باعث متعادل ساختن مواد در خاک می شود و به علت تشدید هوادهی، فعالیت‌های ریزجانداران را در خاک افزایش می‌دهد که در حاصلخیزی و افزایش محصول مؤثر خواهد بود. ورمی‌کمپوست، کود آلی زیستی است که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدگی از دستگاه گوارش گونه‌هایی از کرم‌های خاکی و دفع این مواد از بدن کرم حاصل می‌شود (Alikhani and Hemati, 2013). این مواد هنگام عبور از بدن کرم، آغشته به مخاط دستگاه گوارش (موکوس)، ویتامین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود و در نهایت به‌عنوان کود آلی غنی‌شده و بسیار مفید به‌منظور بهبود ساختمان خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک، مورد مصرف قرار می‌گیرد (Ravindran et al., 2008). ورمی‌کمپوست جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد و نقش مهمی در بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه ایفا می‌کند (Azarmi et al., 2008). ورمی‌کمپوست در واقع ترکیبی کودی است که در نتیجه فعالیت گروه خاصی از کرم‌های کمپوستی و به کمک برخی از ریزجانداران خاکزی، به‌ویژه باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها، ایجاد می‌شود. از مزیت‌های عمده ورمی‌کمپوست نسبت به کمپوست معمولی می‌توان به مواردی مانند نداشتن بوی نامطبوع، pH تعدیل‌شده، رسانایی الکتریکی کم، گنجایش تبادل کاتیونی زیاد و غلظت بالای عناصری چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم اشاره کرد (Valance et al., 2011). نتایج آزمایش آذرمی و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست ۵ و ۱۰ درصد در بستر کشت باعث افزایش وزن خشک نشا در بوته گوجه‌فرنگی شد. در پژوهشی دیگر روی بوته توت‌فرنگی نشان داده شد که استفاده از ورمی‌کمپوست، رشد و عملکرد توت‌فرنگی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (Ravindran *et al*., 2012).

یکی از راهکارهای اساسی به‌منظور افزایش بهره‌وری بستر و جذب مناسب‌تر عناصر غذایی در بسترهای آلی، کاربرد میکروارگانیسم‌های محرک رشد در شرایط کشت بدون خاک است (Dasgan *et al*., 2010). ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهان بر اساس توانایی‌ها و وضعیت تاکسونومی خود، در گروه‌های متعددی شامل آکتینوباکتریا، فیرمیکوت‌ها، سیانوباکتریا، باکتروئیدها و پروتئوباکتریا، دسته‌بندی شده‌اند (Parray and Shameem, 2019; Singh *et al*., 2020). ریزوباکتری‌های محرک رشد، مانند سودوموناس، باسیلوس، آزوسپیریلوم، ازتوباکتر، آرتروباکتر، آکروکوباکتر، میکروکوکوس، اینتروباکتر، ریزوبیوم، اگروباکتروم، پانتوآ و سراتیا، تاکنون به‌خوبی شناخته و به کار برده شده‌اند (Riaz et al., 2021). شایان ذکر است که ریزوباکتری‌های محرک رشد بر اساس رابطه خود با گیاهان میزبان به دو گروه اصلی هم‌زیست و غیرهم‌زیست تقسیم می‌شوند (Saharan and Nehra, 2011). مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد هر دو روش برگی و خاکی ریزوباکتری‌های محرک رشد باعث افزایش محتوای عناصر غذایی ماکرو و میکرو، القای مقاومت سیستمیک در برابر عوامل بیماری‌زا و تحمل شرایط تنش محیطی می‌شوند (Luziatelli *et al*., 2019; Rueda *et al*., 2016). تحقیقات نشان داده است که

تلقیح گیاه کاهو با باکتری‌های محرک رشد، رشد و نمو کلی را ارتقا و شاخص‌های کلیدی رشد گیاه، مانند وزن شاخه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و ماده خشک را افزایش داد (Ikiz *et al.*, 2024). این‌چنین تأثیرات مثبتی را می‌توان به افزایش تغذیه گیاه و افزایش طول و حجم ریشه نسبت داد که در نهایت منجر به بهبود کلی رشد و نمو گیاه کاهو می‌شود (Rostaminia *et al.*, 2021; Aini *et al.*, 2019). افزایش ۱۰-۲۰ درصدی عملکرد کاهو با کاربرد گونه‌های مختلف باکتری سودوموناس گزارش شد و افزایش مشاهده‌شده در وزن و عملکرد کاهو به هیدرولیز باکتریایی ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک‌اسید نسبت داده شد (Rostaminia *et al.*, 2021). اکثر سویه‌های متعلق به گونه‌های سودوموناس یا باسیلوس می‌توانند با افزایش وزن گیاه و عملکرد، ظرفیت رشد گیاه را افزایش دهند (Azizoglu *et al.*, 2021). هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای در شرایط کشت بدون خاک است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای در سیستم کشت بدون خاک، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه زنجان در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ انجام شد. شرایط نوری گلخانه طبیعی بود. دمای روزانه گلخانه ۱±۲۲ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۱±۱۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی گلخانه بین ۶۰ تا ۷۰ درصد تنظیم شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Azotobacter chroococcum*، *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas putida* به‌صورت ترکیب سه‌تایی در بستر کاشت و دو سطح تغذیه (۰ و ۵۰ درصد) در بستر کشت حاوی ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست بود. در کل، تیمارهای آزمایش در پنج سطح اعمال شد که در قالب جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱. پنج سطح تیمارهای آزمایشی انجام‌شده بر توت‌فرنگی رقم آلبیون

Table 1- Five experimental treatment levels applied to strawberry cv. Albion

Treatment	Treatment Composition
Control	Substrate without bacterial inoculation + without vermicompost + nutrient solution (100%)
Vermi+0%	Substrate containing 20% vermicompost + without bacterial inoculation + without nutrient solution
Vermi+50%	Substrate containing 20% vermicompost + without bacteria + nutrient solution (50%)
Vermi+bac+0%	Substrate containing 20% vermicompost + bacterial inoculation + without nutrient solution
Vermi+bac+50%	Substrate containing 20% vermicompost + bacterial inoculation + nutrient solution (50%)

به‌منظور اجرای آزمایش، کیسه‌های پلاستیکی ۳ لیتری در تیمار شاهد با ترکیب کوکوپیت: پرلیت با نسبت حجمی ۵۰:۵۰ و در چهار سطح تیماری با ترکیب کوکوپیت: پرلیت: ورمی‌کمپوست با نسبت حجمی ۴۰:۴۰:۲۰ پر و نشاها کشت شدند. برخی از خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده شامل ۹/۸۲ درصد ماده آلی، pH ۷/۵۱، شوری ۲/۰۵ میلی‌موس بر سانتی‌متر، ۰/۸۴ درصد نیتروژن، ۶۲/۲۱ میلی-گرم برکیلوگرم فسفر، ۶۲۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم، ۹/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، ۲۶/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز، ۵۵/۵۶ میلی‌گرم برکیلوگرم آهن و ۳/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس بود. نشاهای توت‌فرنگی رقم تجاری آلبیون از گلخانه‌ای تجاری در زنجان تهیه شد. تغذیه نشاها با محلول غذایی هوگلند به‌صورت روزانه انجام شد. تلقیح باکتریایی شامل ترکیب سه تایی باکتری‌های محرک رشد *Azotobacter chroococcum*، *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas putida* در غلظت (10^7 CFU/L) بود که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. اولین تلقیح باکتریایی یک هفته بعد از استقرار کامل بوته‌های توت‌فرنگی به حجم ۳۰ میلی‌لیتر (غلظت هرکدام به‌تنهایی ۱۰ میلی‌لیتر) به‌ازای هر گلدان بود که ۲ بار دیگر نیز به فاصله ۱۵ روز تکرار شد. محلول غذایی هوگلند به‌صورت هفتگی در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی با pH=۶/۵ و EC=۱/۱ دسی‌زیمنس بر مترمربع تهیه می‌شد. پس از گذشت یک ماه از انتقال نشاها، شاخص‌های رویشی بوته‌ها (۲ گلدان در هر واحد آزمایشی) شامل ارتفاع بوته، قطر طوقه، تعداد برگ، طول دمبرگ، تعداد رانر (ساقه رونده) و شاخص‌های زایشی شامل تعداد گل و تعداد میوه، به‌صورت دوره‌های ۱۰ روزه (۵ مرتبه) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 21، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن

در سطح احتمال ۵ درصد، رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Sigma Plot 15.0 و برازش رگرسیون خطی و تعیین شیب خط در نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

شاخص‌های رویشی

ارتفاع بوته، قطر طوقه و طول دمبرگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته، قطر طوقه، طول دمبرگ در سطح احتمال یک درصد ($p < ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین، ۷۰ روز بعد از انتقال نشاها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۸/۷۸ و ۸/۵۰ سانتی‌متر) به‌ترتیب در تیمار ورمی‌کمپوست و تغذیه ۵۰ درصد و تیمار ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی همراه با تغذیه ۵۰ درصد بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر و کمترین ارتفاع بوته (۷ سانتی‌متر) در تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری) فاقد تغذیه محلول غذایی حاصل شد (شکل ۱-الف). بیشترین قطر طوقه بوته (۲/۰۵ و ۲/۰۳ سانتی‌متر) به‌ترتیب در تیمارهای ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری) با تغذیه ۵۰ درصد و تیمار ورمی‌کمپوست با تلقیح باکتریایی و تغذیه ۵۰ درصد محلول غذایی بدون تفاوت معنی‌دار با شاهد و کمترین قطر طوقه بوته (۱/۲۶ و ۱/۳۲ سانتی‌متر) به‌ترتیب در تیمارهای ورمی‌کمپوست (فاقد ترکیب باکتریایی و بدون تغذیه) و تیمار ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی فاقد تغذیه بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر به دست آمد (شکل ۱-ب). بیشترین طول دمبرگ ۷۰ روز بعد از انتقال نشا (۶/۹۸ سانتی‌متر) در تیمار ورمی‌کمپوست و تغذیه ۵۰ درصد (فاقد باکتری) و کمترین طول دمبرگ (۲/۸۲ و ۳ سانتی‌متر) به‌ترتیب در تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) و ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی فاقد تغذیه مشاهده شد (شکل ۱-ج).

نتایج حاصل از برازش رگرسیون خطی و بررسی شیب خط‌های حاصل از الگوی تغییرات رشدی در طول دوره رشدی ۳۰ تا ۷۰ روز بعد از انتقال نشا نشان‌دهنده تفاوت سرعت رشدی گیاهان تحت تیمارهای مختلف بود (جدول ۳). بررسی نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، قطر طوقه و طول دمبرگ در هر پنج تیمار آزمایشی در طول زمان روند افزایشی داشتند؛ اما الگوی رشدی در دو تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد (فاقد باکتری) و ورمی‌کمپوست با ترکیب باکتریایی همراه با تغذیه ۵۰ درصد، افزایش شیب رشدی نسبت به شاهد در ارتفاع بوته (به‌ترتیب ۷۳/۹۱ و ۳۹/۱۳ درصدی)، قطر طوقه (به‌ترتیب ۱۱۰ و ۹۰ درصدی) و طول دمبرگ (به‌ترتیب ۳/۹۲ و ۲۱/۵۶ درصدی) در طول دوره رشدی نشان دادند؛ در صورتی که شیب رشدی در دو تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) و ورمی‌کمپوست با ترکیب باکتریایی و بدون تغذیه، بسیار کمتر از شاهد و سایر تیمارها بود؛ به‌طوری که کاهش شیب خط در تغییرات ارتفاع بوته (۱۷/۳۹ و ۴/۳۴ درصدی)، قطر طوقه (۲۰ و ۳۰ درصدی) و طول دمبرگ (۲۹/۴۱ و ۲۷/۴۵ درصدی) در طول دوره رشد، به‌ترتیب در تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) و تیمار ورمی‌کمپوست همراه با تلقیح باکتریایی و بدون تغذیه نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

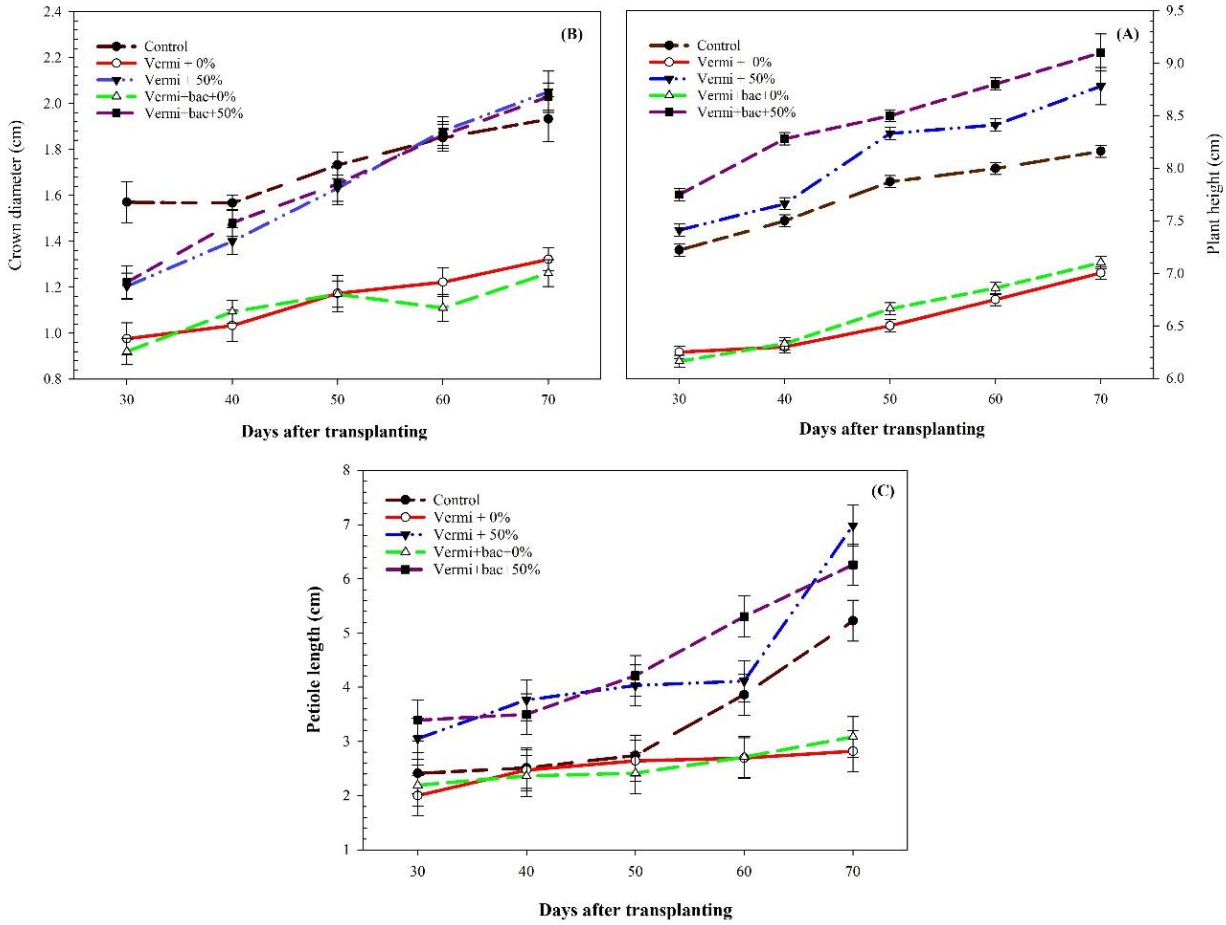
جدول ۲. جدول تجزیه واریانس تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر صفات رویشی توت فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای در کشت بدون خاک

Table 2- Analysis of variance for the effect of combined application of vermicompost and plant growth-promoting bacteria (PGPB) on the vegetative traits of 'Albion' strawberry under nutrient stress in soilless culture

		Mean squares						
SOV	df	Plant height	Crown diameter	Petiole length	Runner number	Leaf number	Flower number	Fruit number
Replication	2	1.97	0.37	6.76	0.117	0.052	0.459	0.004
Treatment	4	7.18**	1.35**	10.24**	3.41**	11.94**	9.82**	1.54**
Error	40	11.02	0.27	0.72	0.32	1.19	0.75	0.03
CV%		18.20	14.08	11.59	18.61	15.50	11.46	8.46

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

** indicated highly significant differences at P < 0.01.



شکل ۱. تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته (الف)، قطر طوقه (ب) و طول دمبرگ (ج) توت‌فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای در کشت بدون خاک

Figure 1- The influence of combined application of vermicompost and plant growth-promoting bacteria (PGPB) on (A) Plant height, (B) Crown diameter, and (C) Petiole length of 'Albion' strawberry under nutrient stress in soilless culture

جدول ۳. شیب خط حاصل از برازش رگرسیون خطی شاخص‌های رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم آلبیون در طول دوره رشدی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 3- Slope of the linear regression fitted to the vegetative and reproductive traits of 'Albion' strawberry during the growing period in response to experimental treatments

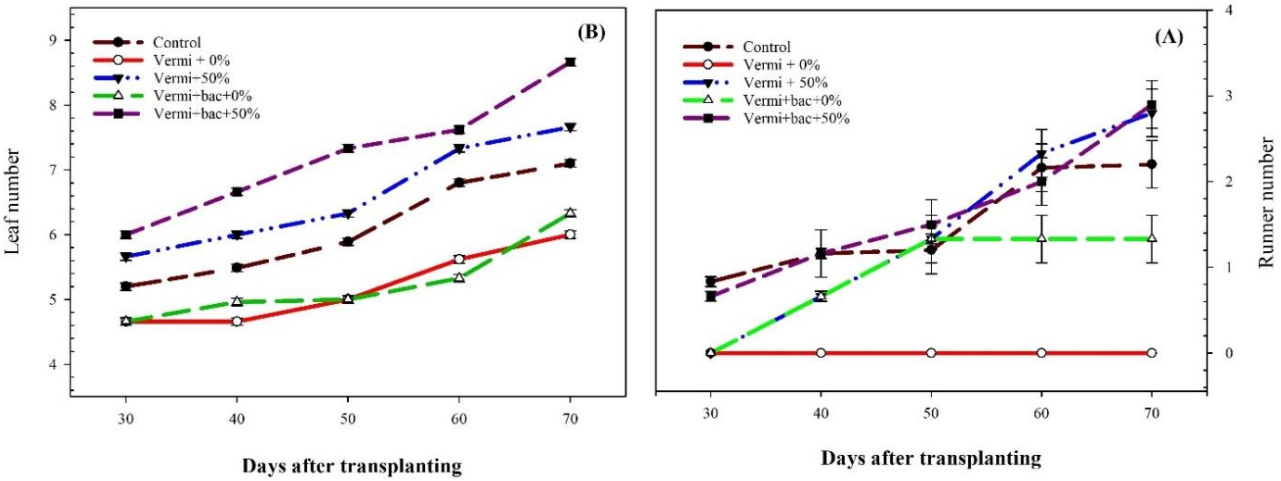
Treatments	Plant height	Crown diameter	Petiole length	Runner number	Leaf number	Flower number	Fruit number
Control	0.23	0.1	0.69	0.37	0.51	1.28	0.55
Vermi+0%	0.19	0.08	0.18	0	0.36	0.56	0.34
Vermi+50%	0.40	0.21	0.82	0.62	0.53	1.6	0.89
Vermi+bac+0%	0.22	0.07	0.21	0.23	0.37	0.58	0.16
Vermi+bac+50%	0.32	0.19	0.75	0.53	0.62	1.8	0.74

تعداد رانر و تعداد برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر تعداد رانر و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد ($p \leq ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس بررسی نتایج مقایسه میانگین، مشاهده شد که بیشترین تعداد رانر (۲/۹۰ و ۲/۸۳) ۷۰ روز بعد از انتقال نشا، به‌ترتیب در تیمار ورمی‌کمپوست و تلقیح باکتری با تغذیه ۵۰ درصد و تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد (فاقد باکتری) و کمترین تعداد رانر در تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) به دست آمد (شکل ۲-الف). همین‌طور نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد برگ نشان داد که بیشترین تعداد برگ (۸/۵۹) در تیمار

ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد (فاقد باکتری) و کمترین تعداد برگ (۶/۰۴) در تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) مشاهده شد (شکل ۲-ب).

نتایج حاصل از برازش رگرسیون خطی و بررسی شیب خط‌های حاصل از الگوی تغییرات رشدی در طول دوره رشدی ۳۰ تا ۷۰ روز نشان از تفاوت سرعت رشدی گیاهان تحت تیمارهای مختلف داشت (جدول ۳). بررسی نتایج نشان داد که تعداد رانر و برگ در هر پنج تیمار آزمایشی در طول زمان روند افزایشی داشتند؛ اما سرعت تغییرات رشدی در تیمارهای ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد افزایش ۳۱/۸۱ و ۱۳/۶۴ درصدی نسبت به شاهد و تیمار ورمی‌کمپوست و تلقیح باکتریایی با تغذیه ۵۰ درصد، به‌ترتیب افزایش ۲۷/۲۷ و ۰/۵۲ درصدی نسبت به شاهد را در تعداد رانر و تعداد برگ در طول دوره رشدی نشان دادند (جدول ۳ و شکل ۲)؛ اما شیب خط تعداد رانر و برگ در طول دوره رشدی در دو تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) کاهش ۱۰۰ و ۲۱/۲۵ درصدی و تیمار ورمی‌کمپوست با تلقیح باکتریایی (فاقد تغذیه)، کاهش ۳۹/۵ و ۱۶/۹ درصدی نسبت به شاهد نشان داد؛ البته بین دو تیمار مربوط تفاوت معنی‌داری در تعداد رانر در طول دوره رشدی مشاهده شد؛ به‌طوری که تیمار ورمی‌کمپوست با تلقیح باکتریایی و فاقد تغذیه، به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) روند رشدی بهتری داشت (شکل ۲-الف).



شکل ۲. تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر تعداد رانر (الف) و تعداد برگ (ب) توت‌فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای در کشت بدون خاک

Figure 2- The influence of combined application of vermicompost and plant growth-promoting bacteria (PGPB) on (A) Runner number and (B) Leaf number of 'Albion' strawberry under nutrient stress in soilless culture

نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های سایر محققین در این زمینه همخوانی دارد. ناردی و همکاران (Nardi *et al*., 2009) بیان نمودند که ورمی‌کمپوست با تأثیر بر متابولیسم گیاهی و همچنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود. حسن‌زاده و همکاران (Hasanzadeh ***et al.*, 2013**) گزارش کردند ورمی‌کمپوست دارای هیومیک، فولویک و دیگر اسیدهای آلی است که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود و می‌تواند موجب تحریک رشد گیاهان شود. نتایج سایر پژوهشگران نیز افزایش ارتفاع بوته ناشی از مصرف کودهای آلی را تأیید کرد (Feizabadi *et al*., 2021). جوشی و همکاران (Joshi *et al*., 2013) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری قطر ساقه گندم را تحت تأثیر قرار داد. همچنین نتایج آزمایش پاندورانگ (Pandurang, 2013) و ذاکریان و همکاران (Zakerian *et al*, 2014) نشان داد استفاده از ورمی‌کمپوست باعث افزایش قطر ساقه در ذرت و بادرنجبویه شد. کاربرد دو باکتری آزوسپیریلوم و ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست در گیاهچه کنجد باعث افزایش قطر ساقه نسبت به شاهد شد (Sotoodeh *et al*., 2016). گیاهانی که با ورمی‌کمپوست رشد می‌کنند، اغلب ساقه‌های قوی‌تر، شاخه و برگ‌های بیشتر و بزرگ‌تر و مقاومت بالاتری از خود نشان می‌دهند (Khaligh and Shokouhian, 2019).

ورمی‌کمپوست محصول نهایی فرایند تجزیه مواد آلی در حضور کرم‌های خاکی کمپوست‌ساز است و به دلیل کاهش سطح آلاینده‌ها و داشتن سطح بالای جمعیت میکروبی و عناصر غذایی، در حال حاضر به‌عنوان

یکی از بهترین کودهای زیستی مطرح شده است (Ravindran *et al.*, 2008). ورمی‌کمپوست کود آلی بسیار غنی از مواد مغذی است. این کود حاوی مواد مغذی ضروری گیاهی، مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عناصر کمیاب است. مواد مغذی موجود در ورمی‌کمپوست به‌راحتی توسط گیاه جذب و باعث رشد و نمو آن‌ها می‌شود. ورمی‌کمپوست با افزایش توانایی خاک در حفظ رطوبت و مواد مغذی، به بهبود ساختار آن کمک می‌کند و باعث افزایش تخلخل خاک می‌شود و امکان هوادهی بهتر و نفوذ آب را نیز فراهم می‌کند. محتوای مواد مغذی و مواد آلی موجود در ورمی‌کمپوست، رشد و بهره‌وری گیاه را تحریک می‌کند؛ علاوه بر این، با تقویت ریشه، منجر به افزایش جذب مواد مغذی و تسریع رشد گیاه می‌شود (Özenç, 2008). افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاهان در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست نشان می‌دهد که بهبود رشد ریشه و جذب مواد غذایی توسط ریشه ممکن است یکی از سازوکارهای اصلی در تحریک رشد گیاه باشد (Pant *et al.*, 2009).

در پژوهش فوق، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که تیمارها به‌خوبی از هم متمایز شده‌اند؛ به‌طوری که تیمارهای ورمی‌کمپوست بدون تغذیه با محلول غذایی، چه دارای ترکیب باکتریایی و چه بدون تلقیح باکتریایی، الگوی رشدی بسیار کندی دارند و در نهایت، کمترین میزان شاخص‌های رویشی را نسبت به شاهد ایجاد کردند؛ اما به‌طور کاملاً مشهود، در دو تیمار دیگر ورمی‌کمپوست که تحت تغذیه ۵۰ درصد (در مقایسه با شاهد تحت تغذیه کامل) بودند، به‌خصوص در تیمار فاقد ترکیب باکتریایی، شاخص‌های مورد مطالعه سرعت رشدی بسیار مطلوبی داشتند و به‌طور خاص در دو شاخص ارتفاع بوته و طول دمبرگ توانستند افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد ایجاد کنند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت تغذیه و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز برای گیاه در شرایط کشت بدون خاک است.

گیاه توت‌فرنگی در تمام مراحل رشد خود به تأمین عناصر غذایی نیاز دارد. افزایش رشد، عملکرد و کیفیت محصول تولیدی به میزان زیادی به تغذیه مناسب گیاه مرتبط است؛ چه‌بسا وجود ۲۰ درصد حجمی ورمی‌کمپوست در بستر برای اثربخشی بر رشد گیاه کافی نباشد. نتایج آزمایش پیمانی فروشانی (Peimani Foroushani, 2017) نشان داد کاربرد ۶۰ درصد حجمی ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین نتایج آزمایش اشرفی راد و همکاران (Ashrafi-Rad *et al.*, 2022) نشان داد استفاده از ۳۰ درصد حجمی ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع بوته، قطر طوقه و طول دمبرگ توت‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهشی که توسط عامری و همکاران (Ameri *et al.*, 2011) انجام شد، نشان داده شد توت‌فرنگی در بستر حاوی ۲۵ درصد حجمی ورمی‌کمپوست نسبت به بسترهای حاوی ۱۵ درصد، بیشترین رشد رویشی و عملکرد را داشت. در تحقیقی دیگر، بیشترین رشد رویشی گیاه و عملکرد توت‌فرنگی زمانی به دست آمد که از ورمی‌کمپوست با نسبت‌های حجمی بالای ۲۰-۴۰ درصد در بستر کشت استفاده شد (Ameri *et al.*, 2012). از طرفی، نتایج آزمایش آذرمی و همکاران Azarmi *et al.*, (2008) نشان داد کاربرد تنها ۵ تا ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر کشت باعث افزایش وزن خشک نشا در بوته گوجه‌فرنگی شد. بر این اساس، حجم ورمی‌کمپوست یک مسئله است؛ اما مسئله دیگری که وجود دارد، این است که با توجه به اینکه عناصر غذایی در ترکیبات کمپوستی به‌صورت آزاد وجود ندارند و در قالب ترکیبات اسیدآمینه‌ای و پروتئینی نمود پیدا می‌کنند و از طرفی باکتری‌های محرک رشد موجود در ورمی‌کمپوست و حتی باکتری‌های تکمیلی که به بستر اضافه شده‌اند، برای آزادسازی این عناصر نیاز به تأمین انرژی مورد نظر از طریق دریافت عناصری مثل نیتروژن دارند، می‌توان نتایج به‌دست‌آمده را این‌گونه توجیه نمود که در این سیستم‌های کشت لازم است عناصر غذایی مورد نیاز باکتری‌ها به‌صورت دوره‌ای تأمین شود تا آن‌ها هم بتوانند عناصر موجود در بستر آلی را آزاد نمایند. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های کیرشباوم و همکاران (Kirschbaum *et al.*, 2009) تطابق دارد که بیان کردند در کشت بدون خاک، استفاده از محلول غذایی تکمیلی در بستر حاوی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد، ضمن تأمین عناصر غذایی مورد نیاز باکتری، باعث می‌شود که آن‌ها بتوانند عناصر موجود در بستر آلی را نیز آزاد کنند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر تیمارهای آزمایشی بر دو شاخص تعداد رانر و تعداد برگ نیز تفاوت معنی‌دار و مشخصی بین تیمارها مشاهده شد؛ به‌طوری‌که مشهود بود تیمارهای ورمی‌کمپوست فاقد تغذیه محلول غذایی، روند رشدی بسیار کندی داشتند و در نهایت، بعد از ۷۰ روز کمترین تعداد رانر و برگ را نسبت به شاهد و سایر تیمارها دارا بودند؛ البته بین دو سطح تلقیح‌شده با ترکیب باکتریایی و

بدون ترکیب باکتری، از نظر تعداد رانر تفاوت معنی‌داری ایجاد شد؛ چه‌بسا تلقیح باکتریایی و افزایش جمعیت باکتری‌های درون بستر حتی در شرایط تغذیه صفر درصد، باعث افزایش محتوای عناصر، به‌خصوص نیتروژن شده باشد. همین مقدار توانسته است تأثیر مثبتی در افزایش تعداد رانر و رشد رویشی نسبی گیاه داشته باشد؛ هرچند باز نسبت به شاهد و دو تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد، مقدار بسیار کمی است. تیمارهای ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد، تأثیر بسیار خوبی بر الگوی رشدی و تعداد نهایی رانر و برگ داشته‌اند و در تعداد نهایی تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داده‌اند که نتیجه بسیار جالب و درخور توجهی است. در راستای نتایج به‌دست‌آمده می‌توان به یافته‌های ایکیز و همکاران (Ikiz *et al*., 2024) استناد کرد که بیان کردند تلقیح گیاه کاهو با باکتری‌های محرک رشد، رشد و نمو کلی را ارتقا و شاخص‌های کلیدی رشد گیاه، مانند وزن شاخه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و ماده خشک را افزایش داد. این‌چنین تأثیرات مثبتی را می‌توان به افزایش تغذیه گیاه و افزایش طول و حجم ریشه نسبت داد که در نهایت منجر به بهبود کلی رشد و نمو گیاه کاهو می‌شود (Rostaminia *et al*., 2021; Aini *et al*., 2019). غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن موجب افزایش فسفر قابل جذب و همچنین افزایش نیتروژن کل در ورمی‌کمپوست گردیده است. افزایش جمعیت میکروبی، افزایش اسیدهیومیک، کاهش pH، ماده آلی و کاهش C/N در ورمی‌کمپوست غنی‌شده با تیمارهای باکتریایی گزارش شده است که باعث افزایش شاخص‌های رویشی می‌شود (Adamtey *et al*., 2009).

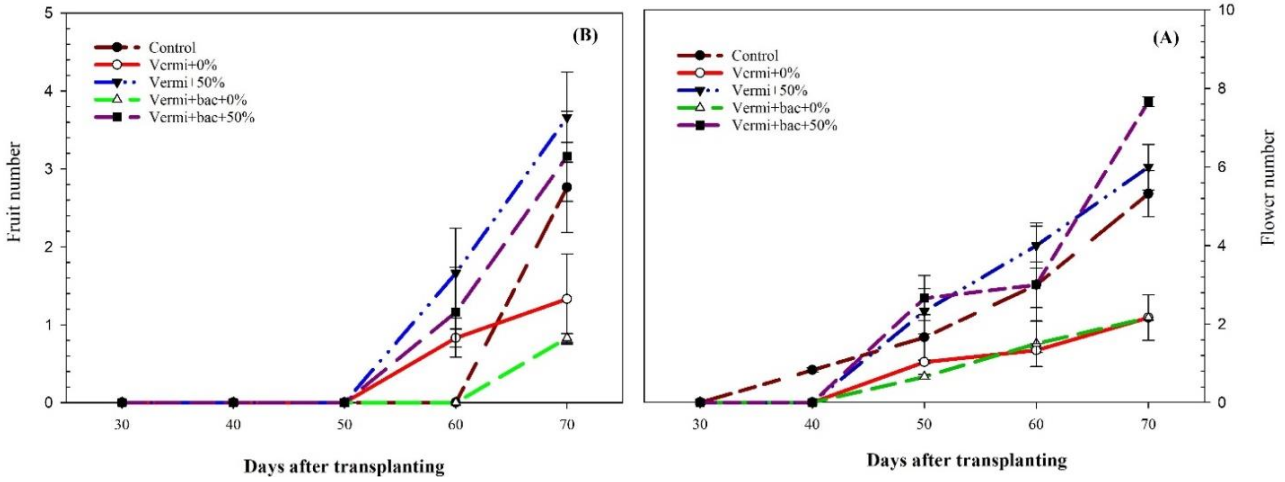
کاربرد باکتری‌های محرک رشد، مهم‌ترین تأثیر بر فرایند رشد گیاه را دارد و باعث افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، محلول کردن فسفر و پتاسیم و سیدروفورها، مهار زیستی عوامل بیماری‌زا با تولید پادزی‌های زیستی در گیاه و همچنین با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد، به‌ویژه اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سایتوکنین‌ها، باعث افزایش تعداد رانر، برگ و در کل، بهبود رشد رویشی گیاه می‌شود (Basu *et al*., 2021). نتایج این آزمایش با نتایج پژوهش سینگ و سینگ (Singh and Singh, 2019)، کوماری و همکاران (Kumari *et al*., 2019) و شر و میشرا (Sher and Mishra, 2023) که استفاده از ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر موجب افزایش رشد رویشی در انواع کلم شد، مطابقت دارد. کاربرد ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر با اثربخشی چندجانبه به‌عنوان جایگزینی مناسب در تولید محصولات کشاورزی، بهبود مواد مغذی موجود در خاک و تأمین برخی متابولیت‌ها در طول رشد گیاه پیشنهاد می‌شود (Hindersah *et al*., 2020).

شاخص‌های زایشی

تعداد گل و میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر تعداد گل و میوه در سطح احتمال یک درصد ($p < ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس بررسی نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد گل (۷/۶۱) ۷۰ روز بعد از انتقال نشا در تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد (فاقد باکتری) و کمترین تعداد گل (۲/۱) در ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) و تیمار ورمی‌کمپوست با ترکیب باکتریایی فاقد تغذیه مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد و سایر تیمارها داشتند (شکل ۳-الف). بیشترین تعداد میوه (۳/۶۹، ۳/۱۴ و ۲/۷۸) به‌ترتیب در تیمار ورمی‌کمپوست و تغذیه ۵۰ درصد، ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی همراه با تغذیه ۵۰ درصد و شاهد به دست آمد و کمترین تعداد میوه (۰/۸ و ۱/۲۹) به‌ترتیب در تیمار ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی فاقد تغذیه و تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد و سایر تیمارها داشتند (شکل ۳-ب).

نتایج حاصل از برازش رگرسیون خطی و بررسی شیب خط‌های حاصل از الگوی تغییرات رشدی در طول دوره رشدی ۳۰ تا ۷۰ روز نشان از تفاوت سرعت رشدی گیاهان تحت تیمارهای مختلف داشت (جدول ۳). بررسی نتایج نشان داد که از بازه ۳۰ تا ۷۰ روز بعد از انتقال نشا، تعداد گل و میوه افزایش پیدا کرد (شکل ۳). تعداد گل و میوه در هر پنج تیمار آزمایشی در طول زمان روند افزایشی نشان داد؛ اما شیب خط در تیمارهای ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد، افزایش ۲۵ و ۶۱/۸ درصدی و تیمار ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی با تغذیه ۵۰ درصد، افزایش ۴۰/۶ و ۳۴/۵ درصدی به‌ترتیب در تعداد گل و میوه نسبت به شاهد ایجاد کردند؛ در صورتی که در دو تیمار ورمی‌کمپوست (فاقد باکتری و فاقد تغذیه)، کاهش ۵۶/۲ و ۳۸/۱ درصدی و تیمار ورمی‌کمپوست و ترکیب باکتریایی فاقد تغذیه، کاهش ۵۴/۶ و ۷۰/۹ درصدی به‌ترتیب در تعداد گل و تعداد میوه نسبت به شاهد را باعث شدند (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر تعداد گل (الف) و تعداد میوه (ب) در توت‌فرنگی رقم آلبیون تحت تنش تغذیه‌ای در کشت بدون خاک

Figure 3- The influence of combined application of vermicompost and plant growth-promoting bacteria (PGPB) on (A) Flower number and (B) Fruit number of 'Albion' strawberry under nutrient stress in soilless culture.

بررسی نتایج حاکی از این است که دو شاخص زایشی تعداد گل و تعداد میوه با سرعتی نسبتاً ثابت افزایش نیافتند. به‌طور متوسط، اولین تاریخ گل‌دهی، ۵۰ روز بعد از انتقال نشا و اولین تاریخ تشکیل میوه، ۶۰ روز بعد از انتقال نشا ثبت شد (شکل ۳). با توجه به اینکه گل‌دهی و میوه‌دهی نیاز به داشتن رشدی حداقلی و ذخیره کربوهیدراتی مناسب گیاه دارد، بر این اساس می‌توان این نتیجه را توجیه نمود.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در توت‌فرنگی، تعداد گل و میوه یا به‌عبارتی، عملکرد است. نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده تأثیر مثبت تیمارهای ورمی‌کمپوست (با باکتری و بدون باکتری) با تغذیه ۵۰ درصد بر شاخص‌های زایشی گیاه است. در پژوهشی روی بوته توت‌فرنگی نشان داده شد که استفاده از ورمی‌کمپوست، رشد و عملکرد توت‌فرنگی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد (Ravindran *et al.*, 2012). همچنین در پژوهشی دیگر نشان داده شد که غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم میوه و عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست، به‌طور چشمگیری افزایش یافت (Özenç et al., 2008). افزایش ۱۰-۲۰ درصدی عملکرد کاهو با کاربرد گونه‌های مختلف باکتری *Pseudomonas* گزارش شد که افزایش مشاهده‌شده در وزن و عملکرد کاهو به هیدرولیز باکتریایی ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک‌اسید نسبت داده شد (Rostaminia *et al.*, 2021). منطبق با نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تأثیر تیمارها بر شاخص‌های رویشی مشاهده می‌شود که تیمارهای ورمی‌کمپوست بدون تغذیه (با باکتری و بدون باکتری)، علاوه بر الگوی رشدی کند، تعداد گل و میوه به نسبت کمتری نسبت به شاهد تولید کردند. در همین راستا می‌توان گفت که وجود تغذیه‌ای حداقلی برای فعالیت باکتری‌های موجود در بستر برای آزادسازی عناصر مورد نیاز گیاه ضروری است. گل‌انگیزی و گل‌دهی، یکی از مهم‌ترین مراحل تشکیل میوه در توت‌فرنگی است. گل‌انگیزی مرحله‌ای است که طی آن پیام تشکیل گل از برگ به جوانه‌های گل منتقل می‌شود. از عواملی که بر میزان گل‌انگیزی مؤثر هستند، می‌توان به تغذیه گیاه، نوع رقم و شرایط آب‌وهوایی اشاره کرد. برای افزایش و تقویت گل‌انگیزی، تأمین مواد غذایی در طول فصل رشد ضروری است. با توجه به چرخه فیزیولوژیکی گیاه، مواد غذایی مورد نیاز برای تقویت گل‌انگیزی باید قبل از شروع این دوره در اختیار بوته‌ها قرار گیرد تا عمل جذب و انتقال مواد غذایی انجام شود (Bidaki *et al.*, 2013). بر این اساس، کاشت نشای توت‌فرنگی در بستر ورمی‌کمپوست غنی‌شده با باکتری محرک رشد و تغذیه با محلول غذایی هوگلند ۵۰ درصد، باعث تأمین عناصر معدنی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ویتامین‌ها، هورمون‌ها و اسیدآمینه و افزایش ذخیره کربوهیدرات و در نتیجه، افزایش رشد رویشی در بوته توت‌فرنگی می‌شود که باعث افزایش گل‌انگیزی و گل‌دهی در توت‌فرنگی و در نهایت، افزایش تعداد گل و میوه خواهد شد. کودهای زیستی به‌عنوان طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه‌حل برای زنده و فعال نگه داشتن سیستم حیاتی خاک، مطرح هستند. عرضه مواد آلی به خاک، به‌منظور تغذیه گیاه، بزرگ‌ترین مزیت این قبیل کودها است. علاوه بر تأمین عناصر غذایی به‌صورت کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، باعث بهبود تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط‌زیست و در

مجموع، حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی می‌شوند (Gupt and van Staden, 2021). ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد با بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک، تولید هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و نیز افزایش بیشتر جذب عناصر غذایی، منجر به افزایش مقدار کربوهیدرات و ماده خشک گیاهی می‌شوند که این مسئله باعث افزایش گل‌دهی می‌شود (Darzi *et al.*, 2012). ترکیب‌های شبه‌هورمونی موجود در عصاره ورمی‌کمپوست و استفاده از باکتری محرک رشد، باعث افزایش تعداد میوه توت‌فرنگی در بوته می‌شود. عصاره ورمی‌کمپوست حاوی برخی از هورمون‌های رشد گیاهی، مانند اکسین، سایتوکنین و جیبرلین است که این تنظیم‌کننده‌ها باعث آغاز رشد نهنج در توت‌فرنگی می‌شوند و میزان تشکیل میوه و به دنبال آن، عملکرد در بوته را افزایش می‌دهند (Jamal Uddin *et al.*, 2010)؛ البته در نتایج حاصل از پژوهش حاضر مشاهده می‌شود که با وجود برتر بودن و در موارد زیادی مشابه بودن هر دو تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد، تیمار فاقد ترکیب باکتریایی نسبت به نوع تلقیح‌شده با باکتری، تأثیر بهتری بر شاخص‌های رویشی و زایشی داشت. شاید بتوان گفت این ترکیب تیماری باعث افزایش بیش از حد بعضی از عناصر نسبت به نوع بدون تلقیح باکتریایی و تأثیر منفی آن‌ها بر رشد مطلوب گیاه شده باشد. با وجود این، تیمار فوق در تمام شاخص‌های مورد مطالعه، نسبت به شاهد روند رشدی بهتری نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این پژوهش، تیمار ورمی‌کمپوست با تغذیه ۵۰ درصد، با تلقیح ترکیب باکتری یا بدون تلقیح باکتری، تأثیر مثبتی بر رشد رویشی و زایشی توت‌فرنگی رقم آلبیون در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط کشت بدون خاک داشت؛ در صورتی که استفاده از ورمی‌کمپوست تنها یا همراه با تلقیح باکتری و بدون تغذیه باعث کاهش رشد رویشی و زایشی توت‌فرنگی در مقایسه با تیمار شاهد شد. با توجه به نتایج می‌توان به‌جای استفاده از محلول غذایی کامل و استفاده از کودهای شیمیایی، بخشی از آن را با ورمی‌کمپوست و تلقیح باکتری جایگزین کرد که در پژوهش حاضر کاربرد ورمی‌کمپوست فاقد یا همراه با تلقیح باکتریایی توانست جایگزین ۵۰ درصد محلول غذایی در تغذیه توت‌فرنگی شود. از طرفی، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش فوق، مشخص می‌شود که کوددهی مناسب روزانه در قالب محلول غذایی در کشت‌های بدون خاک ضروری است که البته می‌توان برای آن نیز جایگزین آلی و یا زیستی (مانند چای کمپوست، اسیدهیومیک، عصاره جلبک و غیره) در نظر گرفت تا به‌طور کلی کودهای شیمیایی حذف شوند. نتایج پژوهش فوق، دریچه‌ای به‌سوی اجرای سیستم نوین کشاورزی گلخانه‌ای زیستی یا همان بیوپونیک در ایران است؛ جایی که کود شیمیایی کاملاً حذف شده است و کودهای آلی و زیستی بدون آنکه تأثیر منفی بر شاخص‌های رویشی و زایشی گیاهان داشته باشند، جایگزین آن می‌شوند. بدین ترتیب، محصولی سالم و باکیفیت، بدون آلودگی‌های زیست‌محیطی و با هزینه به نسبت کمتر، تولید می‌شود.

References

Adamtey, N., Cofie, O., Ofosu-Budu, G. K, Danso, S. K. A. and Forster, D. 2009. Production and storage of N-enriched co-compost. *Waste Management*, 29: 2429–2436. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.014

Aini, N., Yamika, W. S. D., and Ulum, B. 2019. Effect of nutrient concentration, PGPR and AMF on plant growth, yield, and nutrient uptake of hydroponic lettuce. *International journal of agriculture and biology*, 21: 175–183. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0879

Alikhani, H.A. and Hemati, A. 2013. Effect of Vermicompost Enrichment with Chemical Fertilizer and Bacterial Treatments on Humification and Acid Humic Properties. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(1): 113-125. [In Persion].

Ameri, A., Tehrani Far, A., Shoor, M. and Davarynejad, G. M. 2011. Effect of substrate and cultivar on growth characteristic of strawberry in soilless culture system. In: *Proceedings of 7th International Horticulture Congress on Isfahan University of Technology, 5 Sep., Isfahan, Iran*, pp. 1904-1906. [In Persion]. https://doi.org/10.5897/AJB-11-2524

Ameri, A., Tehrani Far, A., Shoor, M. and Davarynejad, G. M. 2012. Study of the effect of vermicompost as one of the substrate constituents on yield indexes of strawberry. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 4(3): 241-246. https://doi.org/10.5829/IDOSI.JHSOP.2012.4.3.1574

Ashrafi-Rad, S.h. and Alustani, A. 2022. Study of the effects of compost, vermicompost and slow-release fertilizer on some vegetative and reproductive growth indices of strawberry. *First National Conference on Plants and Herbal Medicines, Traditional Medicine and Community Health*. [In Persian]

Azarmi, R., Ziveh, P.S. and Satari, M.R. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato *(Lycopersicum esculentum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11: 1797-1802. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1797.1802

Azizoglu, U., Yilmaz, N., Simsek, O., Ibal, J. C., Tagele, S. B., and Shin, J. H. 2021. The fate of plant growth-promoting rhizobacteria in soilless agriculture: Future perspectives. *3 Biotech*, *11*(8): 382. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1797.1802

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: 1140. https://doi.org/10.3390/su13031140

Bidaki, S., Chalavi, V. and Pirdashty, H. 2013. Effect of vermicompost, cattle manure and different fertilization timing in soilless culture on yield and yield components of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch). *Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology*, 4(16): 119-128. [In Persion]. https://doi.org/10.22059/ijhs.2014.52868

Darzi, M.T. Haj Seyedhadi M.R. and Rejali, F. 2012. Effects of the application of vermicompost and phosphate solubilizing bacterium on the morphological traits and seed yield of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(2): 215-219. https://doi.org/10.22059/ijhs.2014.52868

Dasgan, H.Y., Aydoner, G., and Akyol, M. 2010. Use of some microorganisms as bio-fertilizers in soilless grown squash for saving chemical nutrients. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium*, *927*: 155-162. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.17

Feizabadi, A., Noor Mohammadi, G.h. and Fatehi, F. 2021. Study of some morphophysiological characteristics of several rapeseed cultivars using vermicompost fertilizer in drought tension conditions. *Scientific Journal of Crop Physiology*. 12(48), 133-153. [In Persion].

Gupt, S. and Van Staden, J. 2021. Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development. *Publisher: Elsevier*. 489 pp.

Hasanzadeh, H., Shakerdargah, G.h. and Darjani, F. 2013. Determination of the best planting date of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in South coast of Iran. *The First National Electronic Conference on Advanced Topics in Horticultural Science. 19 and 20 November, Jahrom University*. [In Persion].

Hindersah, R., Kamaluddin, N. N., Samanta, S., Banerjee, S., and Sarkar, S. 2020. Role and perspective of Azotobacter in crops production. *Sains Tanah Journal of Soil Science and Agroclimatology*, *17*(2): 170-179. https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i2.45130

Ikiz, B., Dasgan, H.Y., and Gruda, N.S. 2024. Utilizing the power of plant growth promoting rhizobacteria on reducing mineral fertilizer, improved yield, and nutritional quality of Batavia lettuce in a floating culture. *Scientific Reports*, 14(1): 1616. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51818-w

Jamal Uddin, A.F.M., Hossan, M.J., Islam, M.S., Ahsan, M.K. and Mehraj, H .2012. Strawberry Growth and Yield Responses to Gibberellic Acid Concentrations. *Journal of Experimental Biosciences*, 3(2): 51-56. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17472.55041

Joshi, R., Vig, A.P. and Singh, J. 2013. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L. a field study. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2: 16-27. https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-16

Khaligh, R. and Shokouhian, A.A. 2019. Effect of vermicompost extract (*Compost tea*) on growth and yield of strawberry. *Journal of Agroecology*, 9 (1): 39-51. [In Persion].

Kirschbaum, D., Larson, K., Weinbaum, S. and DeJong, M. 2009. Late-season nitrogen applications in high-latitude strawberry nurseries improve transplant production. *African Journal of Biotechnology*, 9(7): 1001-1007. https://doi.org/10.5897/AJB09.1059

Kumari, K., Singh, S. K., Mehmi, V., Kumar, U., and 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.

Luziatelli, F., Ficca, A.G., Colla, G., Baldassarre Švecová, E. and Ruzzi, M. 2019. Foliar application of vegetal-derived bioactive compounds stimulates the growth of beneficial bacteria and enhances microbiome biodiversity in lettuce. *Frontiers in Plant Science*, 10: 60. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00060

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A and Vianello, A. 2009. Physiological effects of vermicomposting and humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 1527–1536. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8

Özenç, D.B. 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in hazelnut husk compost under water-deficit stress. *Compost Science and Utilization*, 16: 125-131. https://doi.org/10.1080/1065657X.2008.10702367

Pandurang, M. U. 2013. Efficacy of weed vermicompost and chemical fertilizer on yield, morpho-physiological and biochemical investigations of maize. *African Journal of Biotechnology*, 14: 3786-3791.

Pant, A. P. Radovich, T. J., Hue, N. V., Talcott, S. T. and Krenek, K. A. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89: 2383-2392. https://doi.org/10.1002/jsfa.3732

Parray, J.A. and Shameem, N. 2019. Sustainable agriculture: advances in plant metabolome and microbiome. *Elsevier*, 79–87.

Peimani Foroushani, A. and Poorjavad, N.2017. Effects of different application methods of vermicompost on tomato leaf miner, Tuta absoluta (Lep., Gelechiidae) population. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 48 (1): 59-67. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijpps.2017.209718.1006719

Ravindran, B., Dinesh, S. L., John Kennedy., L. and Sekaran G, 2008. Vermicomposting of Solid Waste Generated from Leather Industries Using Epigeic Earthworm Eisenia fetida. *Applied Biochemical Biotechnology*, 151: 480–488. https://doi.org/10.1007/s12010-008-8222-3

Riaz, U., Murtaza, G., Anum, W., Samreen, T., Sarfraz, M., & Nazir, M. Z. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. *Microbiota and biofertilizers: a sustainable continuum for plant and soil health*, 181-196. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_11

Rostaminia, M. Habibi, D., Shahbazi, S., Sani, B. and Pazoki, A. 2021. Effect of three commercial bio-fertilizers prepared with Pseudomonas on yield and morphophysiological traits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Iran Agricultural Research*, 39(2): 99–107. https://doi.org/10.22099/iar.2021.38685.1413

Rueda, D., Valencia, G., Soria, N., Rueda, B. B., Manjunatha, B., Kundapur, R. R., and Selvanayagam, M. 2016. Effect of Azospirillum spp. and Azotobacter spp. on the growth and yield of strawberry (*Fragaria vesca*) in hydroponic system under different nitrogen levels. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *6*(1): 48-54. https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.600108

Sahana, B.J., Madaiah, D., Sridhara, S., Pradeep S. and Nithin, K.M.2020. Study on Effect of Organic Manures on Quality and Biochemical Traits of Strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) under Naturally Ventilated Polyhouse. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(10): 2692-2698. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.325

Saharan, B.S. and Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Science and Medical Research*, 21(1): 30.

Sher, A., and Mishra, S. 2023. Effect of FYM, biochar and biofertilizers on head quality and physicochemical attributes of soil of kharif cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) cv. pride of India. *Pharma Innovation*, 12(4): 651-658. https://www.doi.org/10.22271/tpi

Singh, G., and 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.

Singh, M.P., Singh, P., Singh, R.K., Solanki, M.K., and Bazzer, S.K. 2020. Plant microbiomes: understanding the aboveground benefits. *Phytobiomes: current insights and future vistas*, 51-80. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3151-4_3

Sotoodeh, P., Akhgar, A.R. and Rahimi, A. 2016. Effect of Combined Application of Vermicompost and PGPRs on Growth Parameters and Nutrient Uptake of Sesame Seedling (*Sesamum indicum* L.). *Water and Soil Science*, 26 (3): 21-34. [In Persion].

Treftz, C. and Omaye, S. T. 2015. Nutrient analysis of soil and soilless strawberries and raspberries grown in a greenhouse. *Food and Nutrition Sciences*, *6*(9): 805-815. https://doi.org/10.4236/fns.2015.69084

Valance, J., Deniel, F., Le Floch, G., Guerin-dubrana, L., Blancard, D. and Rey, P. 2011. Pathogenic and beneficial microorganism in soilless cultures. *Agronomy for Sustainable Development*, 1-13. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_31

Van Herwijnen, R., Hutchings, T.R., Al-Tabbaa, A., Moffat, A.J., Johns, M.L. and Ouki, S.K. 2007. Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environmental Pollution*, 150: 347–354. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.023

Zakerian, F., Abbaszadeh, B. and Rejali, F. 2014. Balm morphology under control of non-chemical sources of nutrients. *International Journal of Biosciences*, 4: 279-284.