Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

(OPEN ACCESS)

Evaluation of the response of two Strawberry cultivars to bacterial based biological fertilizers

Amirali Mohammadi[1], Mahdi Alizadeh[*2], Feryal Varasteh[3], Mehdi Hadadinejad[4], Negar Bagheri[5]

1. Ph.D. Student in the Physiology of Production and Post-Harvest of Horticultural Plants, Dept. of Horticulture Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: amiralimohammadi72@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mahdializadeh@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: feryalvarasteh@gmail.com
4. Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, College of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: mehdihadadi@gmail.com
5. Managing Director of Science Based Company (Danaziat Lotus), Gorgan, Golestan, Iran. E-mail: negarbagheri68@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.16.2024
Revised: 12.14.2024
Accepted: 12.23.2024

Keywords:
Anthocyanin,
Bacillus,
Berry weight,
Biological nutrition,
Pseudomonas

ABSTRACT

Background and Objectives: Strawberry is a crop that depends on chemical fertilizers and various pesticides during its cultivation. Utilizing biological fertilizers not only mitigates the problems linked to chemical fertilizers but also improves plant health and decreases the need for chemicals. This study aimed to explore how two strawberry cultivars respond to the application of biological fertilizers.

Materials and Methods: In March, strawberry transplants were placed in pots and received the necessary care. The study was structured as a factorial experiment based on a completely randomized design with five replications. It included two cultivars (Camarosa and Paros), three fertilizer levels (Control, Larma 222, and Larma 444), and three application methods (root priming before planting, foliar spraying, and fertigation). The biofertilizers utilized were developed by Dana Zist-Lotus, incorporating two strains of bacteria: *Pseudomonas fildesensis* NB5 and *Bacillus pumilus* NB4. The evaluation focused on morphological traits such as weight, length, diameter, fruit yield, number of leaves, and both fresh and dry leaf weights, as well as biochemical traits including fruit acidity, soluble solids, titratable acidity, chlorophyll index, antioxidant levels, and anthocyanin content.

Results: The results showed that the Paros variety exhibited stronger vegetative growth and greater foliage, while the Camarosa cultivar was distinguished by its reproductive characteristics and higher fruit antioxidant content. The control treatment, due to inadequate nutrition, was the least effective across vegetative, reproductive, and quality traits. In contrast, the application of Larma 222 fertilizer via fertigation, and occasionally through foliar spraying, resulted in the highest values for fruit weight, fruit length, leaf count, fresh and dry leaf weight, number of flower clusters, and overall

fruit yield. This treatment yielded the highest yield of 306 g per plant for the Camarosa cultivar. Forthermore, in this cultivar, the Larma 444 treatment resulted in the largest fruit diameter, petiole length, number of pedicles, leaf area, root length, and both fresh and dry weights. Additionally, the use of biological fertilizers derived from *Pseudomonas* and *Bacillus* bacteria improved fruit total soluble solids (TSS), acidity, anthocyanin levels, and antioxidant activity in the fruit extract. Consequently, the highest fruit sugar and taste index were recorded in the Larma 444 treatment at 13.28% and 11.37, respectively. Furthermore, the highest anthocyanin content was also observed in this treatment, measuring 29.07 mg/l in the Camarosa cultivar.

Conclusion: Overall, the results suggest that the use of Larma 222 fertilizer can enhance plant yield. Additionally, applying Larma 444 through fertigation improves fruit characteristics. The use of these biofertilizers may facilitate a reduction in the application of chemical fertilizers typically used in conventional strawberry production systems, ultimately leading to healthier fruit production.

Cite this article: Mohammadi, Amirali, Alizadeh, Mahdi, Varasteh, Feryal, Hadadinejad, Mehdi, Bagheri, Negar. 2026. Evaluation of the response of two Strawberry cultivars to bacterial based biological fertilizers. *Journal of Plant Production Research*, 32 (4), 69-89.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2024.22850.3194
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

ارزیابی واکنش دو رقم توت‌فرنگی به کاربرد کودهای زیستی

امیرعلی محمدی[۱]، مهدی علیزاده*[۲]، فریال وارسته[۳]، مهدی حدادی‌نژاد[٤]، نگار باقری[٥]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغبانی، گروه باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: amiralimohammadi72@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mahdializadeh@gau.ac.ir

۳. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: feryalvarasteh@gmail.com

٤. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mehdihadadi@gmail.com

۵. مدیرعامل شرکت دانش‌بنیان دانا زیست لوتوس، گرگان، گلستان، ایران. رایانامه: negarbagheri68@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۸/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰۹/۲٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۱۰/۰۳

واژه‌های کلیدی:
آنتوسیانین،
باکتری باسیلوس،
باکتری سودوموناس،
تغذیه زیستی،
وزن حبه

چکیده

سابقه و هدف: توت‌فرنگی گیاهی است که در تولید آن از کودهای شیمیایی و سموم مختلف استفاده می‌شود. استفاده از کودهای زیستی، علاوه‌بر حل مشکلات استفاده از کودهای شیمیایی، بهبود سلامت بوته‌ها و کاهش به‌کارگیری سموم را نیز به‌همراه دارد. این پژوهش، با هدف بررسی واکنش دو رقم توت‌فرنگی به استفاده از کودهای زیستی انجام شده‌است.

مواد و روش‌ها: نشاهای توت‌فرنگی در اسفندماه در گلدان کشت شدند و مراقبت‌های لازم انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام شد و تیمارها شامل دو رقم (کاماروسا و پاروس)، سه سطح کودی (شاهد، لارما ۲۲۲ و لارما ٤٤٤) و سه روش کاربرد (تلقیح ریشه قبل از کاشت، محلول‌پاشی و کودآبیاری) بودند. کودهای زیستی مورداستفاده، تولیدشده در شرکت دانش‌بنیان دانا زیست لوتوس استان گلستان، بودند که بر پایه دو باکتری *Psudomonas fildesensis* NB5 و *Bacillus pumilus* NB4 تولید و تجاری‌سازی شده‌اند. کوددهی به سه روش خیساندن ریشه قبل از کشت (پرایمینگ ریشه)، محلولپاشی و کود- آبیاری انجام شد. صفات ریخت‌شناسی ازجمله، وزن، طول، قطر و عملکرد میوه، و هم‌چنین تعداد برگ، وزن‌تر و خشک برگ و صفات زیست‌شیمیایی ازجمله اسیدیته میوه، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، شاخص کلروفیل، آنتی‌اکسیدان و آنتوسیانین مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد رقم پاروس ازنظر صفات رویشی برتر بود و رشد قوی‌تر و شاخ و برگ بیش‌تری تولید کرد؛ اما رقم کاماروسا به لحاظ زایشی و خواص آنتی‌اکسیدانی بالاتر، موردتوجه قرار گرفت. تیمار شاهد با توجه به عدم دریافت تغذیه مناسب ازلحاظ صفات رویشی، زایشی و کیفی در پایین‌ترین سطح قرار داشت، این در حالی است که استفاده از کود لارما ۲۲۲ به‌صورت کودآبیاری و در برخی موارد محلول‌پاشی، منجر به بیش‌ترین مقادیر وزن میوه، طول میوه، تعداد برگ، وزن‌تر و خشک برگ، تعداد خوشه گل و عملکرد شد. به‌طوری‌که استفاده از این تیمار بیش‌ترین مقدار عملکرد را به میزان ۳۰٦ گرم در بوته در رقم کاماروسا به همراه داشت. در رقم کاماروسا، تیمار لارما ٤٤٤ منجر به بیش‌ترین قطر میوه، طول دمبرگ، تعداد روندک، سطح برگ، طول و وزن‌تر و خشک‌ریشه شد. هم‌چنین استفاده از این کودهای زیستی مبتنی بر باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس، منجر به افزایش قند و اسیدیته میوه، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه شد. به‌طوری‌که بیش‌ترین قند میوه و شاخص طعم در تیمار لارما ٤٤٤ که به‌صورت کودآبیاری اعمال شد به ترتیب به میزان ۱۳/۲۸ درصد و ۱۱/۳۷ مشاهده گردید. هم‌چنین بیش‌ترین میزان آنتوسیانین نیز در همین تیمار به مقدار ۲۹/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر در رقم کاماروسا به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: در کل، نتایج نشان‌می‌دهد که استفاده از کود لارما ۲۲۲ می‌تواند منجر به بهبود عملکرد بوته گردد و استفاده از کود لارما ٤٤٤ به‌روش کودآبیاری منجر به بهبود خواص میوه می‌شود. با کاربرد این کودها می‌توان مقدار مصرف کودهای شیمیایی و تأثیر منفی آن بر تولید محصول سالم توت‌فرنگی که در کشت‌های مرسوم توت‌فرنگی بسیار بحث‌برانگیز است را کاهش داد.

استناد: محمدی، امیرعلی، علیزاده، مهدی، وارسته، فریال، حدادی‌نژاد، مهدی، باقری، نگار (۱۴۰۴). ارزیابی واکنش دو رقم توت‌فرنگی به کاربرد کودهای زیستی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۲ (۴)، ۸۹-۶۹.
DOI: 10.22069/jopp.2024.22850.3194

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

در دهه گذشته، جمعیت جهان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته‌است و تا سال ۲۰۵۰ تخمین زده می‌شود که بیش از ٤/۲ میلیارد نفر به جمعیت جهان اضافه شود؛ اما درعین‌حال، رشد و بهره‌وری از گیاهان در سراسر جهان محدودتر خواهد شد و دسترسی به مواد غذایی نیز به‌دلیل تنش‌های محیطی مانند خشک‌سالی، شوری، سرما و گرما محدود خواهد شد. درنتیجه، اهمیت بیش‌تری به کشاورزی و تولید محصولات غذایی باارزش افزوده اعطا می‌شود (۱). توت‌فرنگی (*Fragaria× ananassa* L.) یکی از میوه‌های مهم باارزش غذایی بالا است و به‌دلیل داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند ترکیبات پلی‌فنولی، آنتوسیانین و تانن، ارزش غذایی بالایی دارد. توت‌فرنگی به‌دلیل شکل، رنگ، عطروطعم منحصربه‌فرد خود در سراسر جهان کشت و کار می‌شود (۲، ۳). به‌دلیل مشکلات جدی در تغذیه سالم انسان و بروز بیماری‌های سرطانی، استفاده از روش‌های کشاورزی ارگانیک که باعث تولید غذاهای سالم و حفاظت از محیط‌زیست می‌شود، بسیار مهم است. کشاورزی ارگانیک به‌عنوان یک نوع کشاورزی تعریف می‌شود که به‌منظور ایجاد سامانه‌های تولید کشاورزی یکپارچه و انسانی، از منابع تجدیدپذیر بهره می‌برد و مقادیر قابل‌قبولی از محصولات زراعی و دامی و مواد غذایی را تولید می‌کند. این روش هم‌چنین با حفظ تعادل عناصر موردنیاز در خاک، از کودهای طبیعی مانند خاک‌برگ، جلبک و کودهای حیوانی و زیستی به‌جای کودهای شیمیایی بهره می‌گیرد (٤، ٥).

کودهای زیستی به دلیل تأثیر مؤثرشان در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، جایگاه ویژه‌ای در دسته‌بندی انواع کودها دارند (٦). پژوهش‌های بیش‌تر بر استفاده از این کودها در گلخانه‌ها متمرکزشده و آن‌ها به‌عنوان محرک‌های رشد سریع‌تر، مزایای بیش‌تری نسبت به کودهای شیمیایی، ازجمله عدم رسوب فلزات سنگین و کاهش علف‌های هرز دارند (۷، ۸). مصرف کودهای آلی باعث افزایش کربن، نیتروژن و حاصلخیزی خاک می‌شود که این ناشی از فعالیت‌های میکروبی است و منجر به آزادسازی عناصر غذایی برای گیاهان می‌شود (۹، ۱۰). با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان، تمایل آن‌ها به استفاده از محصولات ارگانیک روز به‌روز افزایش می‌یابد و استفاده از روش‌های جایگزین به‌جای روش‌های شیمیایی بیش‌تر می‌شود. این کودها به دلیل دارا بودن عناصر غذایی ضروری، کیفیت خاک را بهبود داده و عملکرد گیاهی را افزایش می‌دهند (۱۱، ۱۲). میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی با تأمین عناصر غذایی در ناحیه اطراف ریشه، به رشد و نمو گیاه کمک می‌کنند (۱۳). هم‌چنین، استفاده از کودهای زیستی، پایداری اکوسیستم را افزایش داده و عوارض جانبی کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد (١٤، ١٥).

در پژوهشی به بررسی تأثیر باکتری‌های مفید بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی و کاهش نیاز به کود شیمیایی پرداخته شد. نتایج نشان‌می‌دهد که استفاده از باکتری‌های مفید مانند *Azospirillum brasilense*، *Bacillus megaterium* و *Brevibacillus fluminis* می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در رشد و عملکرد توت‌فرنگی داشته‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که این باکتری‌ها می‌توانند صفات مختلفی مانند میزان کلروفیل، قطر طوقه، تعداد برگ و مساحت برگ را بهبود بخشند. این مطالعه نشان‌می‌دهد که استفاده از باکتری‌های مفید می‌تواند به‌جای استفاده از کود شیمیایی، بهبود قابل‌توجهی در رشد و عملکرد گیاهان داشته‌باشد (١٦).

در مطالعه دیگری، تأثیر یک کود زیستی مبتنی بر ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر بهبود کارایی کود نیتروژن درکشت توت‌فرنگی موردبررسی قرار گرفت. استفاده از این کود زیستی باعث کاهش محدودیت‌های کربنی و زیست‌شیمیایی در فتوسنتز بوته‌های توت‌فرنگی شد. هم‌چنین، این کود زیستی نسبت C/N برگ‌ها را افزایش داد و مقادیر نیتروژن قابل‌جذب نزدیک به گیاهان را حفظ کرد. بااین‌حال این پژوهش‌گران بیان نمودند که استفاده از این کود زیستی به‌تنهایی کافی نیست و نیاز به کود شیمیایی برای تغذیه توت‌فرنگی وجود دارد؛ اما استفاده تکمیلی از این کود زیستی می‌تواند بهبودی در کارایی زیست‌محیطی و اقتصادی این محصول را به‌همراه داشته‌باشد (۱۷).

هم‌چنین در پژوهشی اثر کود آلی و سایر تیمارها بر عملکرد، کیفیت و رشد گیاه توت‌فرنگی (رقم مونتری) موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد (۲۵۰/۱۷ گرم در بوته)، بیش‌ترین وزن میوه (۱۸/۱۳ گرم)، بالاترین نسبت مواد جامد محلول به اسید (۱۸/۰۵) و بیش‌ترین محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ‌ها در زمان کاربرد کودهای باکتریایی نسبت به شاهد، به‌دست آمد. به‌طور مشابه، تیمار مشابه طولانی‌ترین ریشه، ضخیم‌ترین ساقه و حداکثر سطح برگ را ایجاد کرد. درنتیجه این مطالعه، استفاده از کودهای زیستی همراه با کودهای آلی برای اطمینان از تولید میوه با بالاترین کیفیت توصیه شده‌است (۱۸). هدف از انجام این پژوهش ارزیابی تأثیر کودهای زیستی حاوی باکتری بر دو رقم تجاری توت‌فرنگی است. این پژوهش به دنبال شناخت اثرات مثبت این کودها نه‌تنها در حفظ کیفیت و سلامت محصول، بلکه هم‌چنین در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و ترویج روش‌های کشاورزی پایدار است. در شرایطی که کشاورزی مدرن با چالش‌های زیادی مواجه است، نتایج این مطالعه می‌تواند راهکارهای مؤثری برای بهبود عملکرد زراعی و حفاظت از محیط‌زیست ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

پژوهش در بستر خاکی با مشخصات جدول ۱، در شرایط گلدانی انجام شد. نشا رقم کاماروسا و پاروس از شرکت تعاونی چهارفصل بهنمیر تهیه و در اسفندماه ١٤٠١ در گلدان‌هایی به ابعاد ۲۰×۳۵ سانتی‌متر و با ترکیب خاکی شامل خاک باغچه و کود دامی کاملاً پوسیده (۱:۳) کشت شد. آزمایش حاضر در یک باغ شخصی در شهرستان قائم‌شهر، روستای بالالموک با مختصات جغرافیایی 36° 29′ 38″ N و 52° 53′ 47″ E انجام شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده در کشت گلدانی توت‌فرنگی ارقام کاماروسا و پاروس در شهرستان قائم‌شهر.

Table 1. Soil properties utilized for pot cultivation of Camarosa and Paros strawberry cultivars in Qaemshahr city.

بافت خاک Soil Texture	کربن آلی Organic Carbon	مواد آلی Organic Matter	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	مواد خنثی‌شونده TNV	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
-	(%)	(%)	-	ds/m	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)
Sa.loam	19.03	33.02	7.51	0.83	1.5	1.93	43	450

در این پژوهش، از دو نوع کود زیستی بانام تجاری، لارما ۲۲۲ و لارما ٤٤٤ استفاده گردید. این کودها در شرکت دانش‌بنیان دانا زیست لوتوس، تولید شده‌است که پایه این کودهای زیستی، باکتری‌های گیاهی است. نام کامل باکتری‌ها و شماره دسترسی آن‌ها در پایگاه NCBI به شرح زیر است (جدول ۲):

جدول ۲- مشخصات کودهای زیستی.

Table 2. Specifications of the biofertilizers.

اسم تجاری کودزیستی Biofertilizer commercial name	اسم باکتری Bacterial name	شماره توده Accession number
Larma 222	*Psudomonas fildesensis* NB5	OQ130703
Larma 444	*Bacillus pumilus* NB4	OQ119638

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل رقم، نوع کود زیستی و نحوه کاربرد بود. ارقام شامل کاماروسا و پاروس بوده که در اسفندماه در گلدان‌ها نشا شدند و مراقبت‌هایی مانند مبارزه با علف‌های هرز و حلزون انجام گرفت. تیمارهای آزمایش به روش‌های زیر اعمال شد. دو نوع کود زیستی و آب (شاهد) به سه روش خیساندن ریشه قبل از کاشت، محلول‌پاشی و کودآبیاری استفاده گردید.

درروش خیساندن ریشه بر اساس نظر شرکت سازنده، ۲۵۰ میلی‌لیتر از هر یک از کودها را با یک لیتر آب مخلوط نموده و نشاها به‌مدت ۳۰ دقیقه در آن غوطه‌ور گردید و سپس در بستر، کشت قرار گرفت. هم‌چنین جهت انجام محلول‌پاشی و کودآبیاری از هر دو نوع کود به‌صورت پنج درصد و طی دو مرحله و به‌شکل هم‌زمان استفاده شد. بدین‌صورت که نوبت اول، یک هفته پس از کاشت نشا در بستر و نوبت دوم سه هفته پس از تیمار اولیه در زمان آغاز گل‌دهی انجام شد. انجام تیمار شاهد در هر مرحله، با استفاده از آب به روش‌های ذکرشده نیز صورت پذیرفت. برای هر تیمار، پنج گلدان به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد که به‌صورت کاملاً تصادفی در فضای باز چیده شدند. پس از اتمام آزمایش و برداشت محصول، سپس گلدان‌ها به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل و ارزیابی صفات کمی و کیفی انجام شد.

صفات ریخت‌شناسی: پس از برداشت محصول، تعداد پنج حبه توت‌فرنگی با ترازوی دیجیتال توزین و میانگین آن یادداشت شد. هم‌چنین همین میوه‌ها، برای اندازه‌گیری ابعاد طول و قطر حبه نیز استفاده شدند. هم‌چنین برای ارزیابی میزان عملکرد هر بوته، مجموع میوه‌های تولیدشده را وزن نموده و از تجمیع وزن میوه‌ها، عملکرد کل یک بوته محاسبه شد.

تعداد برگ در هر بوته شمارش و یادداشت شد. طول دمبرگ در هر تیمار با استفاده از خط‌کش برآورد و یادداشت گردید. جهت بررسی وزن‌تر برگ، وزن پنج‌برگ با استفاده از ترازوی دیجیتال محاسبه و میانگین آن‌ها یادداشت گردید. سپس نمونه‌ها را در پاکت قرار داده و به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد آون خشک شدند. پس از خروج از آون وزن خشک آن‌ها به‌طور میانگین محاسبه شد. برای بررسی سطح برگ از هر بوته سه عدد برگ

اسکن شد و با استفاده از نرم‌افزار Digimizer سطح کل آن اندازه‌گیری شد.

صفات زیست‌شیمیایی

اسیدیته (pH) میوه: برای اندازه‌گیری pH میوه‌های توت‌فرنگی، از دستگاه pHمتر دیجیتال مدل PHS-3E استفاده شد. برای این منظور pH مقدار مشخصی آب‌میوه با دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد.

مواد جامد محلول کل: مواد جامد محلول کل با رفرکتومتر چشمی (مدل ATC-20E Atogo) در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اندازه‌گیری شد. برای تعیین TSS یک قطره از عصاره توت‌فرنگی روی لنز رفرکتومتر ریخته شد و عدد نمایش‌داده‌شده بر مبنای درجه بریکس یادداشت گردید.

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA): برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد برای این منظور ۱۰ میلی‌لیتر آب‌میوه با ۹۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس عمل تیتراسیون انجام گرفت تا pH عصاره به ۸/۲ برسد و رنگ آن تیره شود. مقدار سود مصرفی را ثبت نموده و سپس میزان اسید برحسب گرم اسیدسیتریک (اکی‌والان برابر ۰/۰٦٤۰٤) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه بیان شد (۱۹).

شاخص کلروفیل: برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی از دستگاه اسپد مدل (SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter) استفاده شد. جهت این کار در هر گلدان سه‌شاخه رویشی موردبررسی قرار گرفت و میانگین اعداد یادداشت گردید.

آنتوسیانین: آنتوسیانین کل با روش Wrolstad و همکاران (۲۰)، با استفاده از روش اختلاف جذب در pHهای مختلف اسپکتوفوتومتری اندازه‌گیری شد. در این روش از دو بافر استفاده شد. برای ساخت بافر یک، نخست محلول (الف= کلرید پتاسیم ۰/۲ مولار) و (ب= اسیدکلریدریک ۰/۲ مولار) به‌صورت جداگانه تهیه شد. برای ساخت بافر دو، نخست محلول (ج= اسید استیک ۰/۲ مولار) و (د= استات سدیم ۰/۲ مولار) به‌طور جداگانه‌ای تهیه شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از نمونه‌ها را برداشته و با دو میلی‌لیتر بافر مخلوط نموده و ٢٤ ساعت در تاریکی قرار داده، سپس در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر قرائت انجام شد. با استفاده از رابطه زیر محاسبات انجام گرفت (رابطه ۱).

$$A = (A520 - A700)\ pH\ 1.0 - (A520 - A700)\ pH4.5 \quad (۱)$$

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل: جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل از رادیکال پایدار دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید. (۲۱). به دو میلی‌لیتر از آب‌میوه رقیق‌شده، DPPH (٤ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر) اضافه کرده و بعد از آماده‌شدن لوله‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در محیط تاریک قرار داده و درنهایت جذب ترکیب فوق‌الذکر به‌همراه یک لوله حاوی DPPH خالص به‌عنوان شاهد، در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج نوری (MAPADA مدل uv-1800PC ساخت چین) قرائت شد. اعداد جذب درنهایت با رابطه زیر به درصد مهار تبدیل‌شده و به‌صورت درصد مهار آب‌میوه گزارش شد (رابطه ۲).

$$DPPH\%= (Ac-As)/Ac \times 100 \quad (۲)$$

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌شکل سه روش کوددهی (خیساندن ریشه قبل از کاشت، محلول‌پاشی و کودآبیاری) در دو رقم توت‌فرنگی و با دو نوع کود زیستی در ۵ تکرار انجام گرفت. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف انجام شد و سپس تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی نشان داد که اثر متقابل نوع کود، نحوه کاربرد کود و نوع رقم بر همه صفات موردبررسی معنی‌دار شد. هم‌چنین ارقام کاماروسا و پاروس در صفات وزن میوه، تعداد برگ، طول دمبرگ، سطح برگ تفاوت معناداری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی ارقام توت‌فرنگی تحت‌تأثیر کود زیستی.

Table 3. Analysis of Variance for Morphological Traits of Strawberry Cultivars Affected by Biofertilizers.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square								
		وزن میوه Fruit weight	طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit diameter	عملکرد Yield	تعداد برگ Number of Leaves	طول دمبرگ Petiole Length	وزن‌تر برگ Leaf Fresh Weight	وزن خشک برگ Leaf Dry Weight	سطح برگ Leaf Area
نوع کود Fertilizer (F)	2	137.3**	3.5**	0.2**	4815.5**	1.6^{ns}	60.5**	4.0**	0.4**	1479.6**
کاربرد Application (A)	2	5.7*	0.4**	0.2**	5206.7**	14.5^{ns}	7.7**	0.6**	0.05**	231.1**
رقم Cultivar (C)	1	0.05^{ns}	0.8**	0.06*	906630.4**	9.6^{ns}	0.4^{ns}	1.8**	0.12**	0.0008^{ns}
اثر متقابل F×A×C	12	9.3**	0.5**	0.3**	6465.3**	16.0**	11.8**	0.8**	0.05**	13.4**
خطا Error	72	1.6	0.02	0.01	294.2	7.5	1.3	0.1	0.008	4.9
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		7.1	4.2	3.7	12.5	7.2	12.5	6.5	10.6	5.38

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

^{ns}, *, ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

وزن میوه: نتایج مقایسه میانگین وزن میوه بیانگر آن بود که کاربرد کودهای زیستی لارما به‌صورت محلول‌پاشی در هر دو رقم کاماروسا و پاروس موجب افزایش معنی‌دار وزن تک میوه گردید، به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن میوه در رقم کاماروسا در همین تیمار و به میزان ۲۱/۸۹ گرم به‌دست آمد. هم‌چنین کاربرد کود لارما ٤٤٤ به‌صورت خیساندن ریشه در رقم کاماروسا، وزن میوه را به بالاترین سطح رسانده و با بیش‌ترین

مقدار تفاوت معنی‌داری ندارد؛ این در حالی است که در رقم پاروس کاربرد این کود به‌صورت کودآبیاری بیش‌ترین افزایش وزن میوه را به میزان ۲۱/۱۳ گرم به‌دنبال داشت (جدول ٤).

اندازه میوه: در بررسی طول میوه نتایج نشان داد که کاربرد هر دو نوع کود زیستی موجب افزایش معنی‌دار طول میوه نسبت به شاهد شده‌است. بیش‌ترین طول میوه در رقم کاماروسا و در تیمار کودآبیاری لارما ۲۲۲ به میزان ٤/۹ سانتی‌متر حاصل گردید (جدول ٤). مقایسه میانگین قطر میوه نشان داد که بیش‌ترین قطر میوه در رقم پاروس و در تیمار کودآبیاری لارما ٤٤٤ به‌دست آمد. این در حالی است که کاربرد لارما ۲۲۲ به‌صورت محلول‌پاشی بیش‌ترین قطر میوه در رقم کاماروسا را به‌دنبال داشت (جدول ٤).

عملکرد: در بررسی عملکرد، نتایج بیانگر آن بود که رقم کاماروسا در همه تیمارها عملکرد بیش‌تری نسبت به رقم پاروس نشان داد. بیش‌ترین عملکرد در هر دو رقم کاماروسا و پاروس در محلول‌پاشی کود لارما ۲۲۲ به‌ترتیب به میزان ۳۰٦/٥٤ گرم و ۲٥٦/۷۳ گرم به‌دست آمد. اگرچه در رقم کاماروسا در همین تیمار به‌روش کودآبیاری و کود لارما ٤٤٤ به‌روش خیساندن ریشه، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ٤).

جدول ٤- جدول مقایسه میانگین صفات مرتبط با میوه توت‌فرنگی تحت‌تأثیر کودهای زیستی.

Table 4. Mean data of Strawberry Fruit Traits as Affected by Biofertilizers.

کود Fertilizer		نحوه کاربرد Fertilizer Application		وزن حبه Berry weight		طول حبه Berry length		عرض حبه Berry width		عملکرد Yield
				g- گرم		cm- سانتی‌متر		cm- سانتی‌متر		g.plant^{-1}- گرم در بوته
				کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros
شاهد Control		پرایمینگ	Priming	15.2^{f}	15.2^{f}	3.7^{g}	3.7^{g}	3.43^{c}	3.1^{fg}	222.1^{fg}	167.2^{i}
		محلول‌پاشی	Spraying	15^{f}	15.9^{ef}	3.18^{h}	3.8^{g}	2.74^{i}	3.$^{2e-g}$	261.8^{d}	197.0^{h}
		کودآبیاری	Fertigation	15.8^{ef}	16.1^{ef}	3.7^{g}	3.1^{h}	3.1f^{g}	3.$^{3c-e}$	264.9^{cd}	225.7^{fg}
لارما ۲۲۲ Larma 222		پرایمینگ	Priming	18.1^{cd}	17.2^{de}	4.3^{bc}	4.4^{b}	3.2^{d-g}	3.1^{h}	284.2^{bc}	152.9^{i}
		محلول‌پاشی	Spraying	21.8^{a}	20.5^{ab}	4.0^{ef}	4.3^{b-d}	3.6^{b}	3.4^{cd}	306.5^{a}	256.7^{d}
		کودآبیاری	Fertigation	18.0^{cd}	18.0^{cd}	4.9^{a}	4.1^{d-e}	3.3^{c-f}	3.3^{c-e}	291.3^{ab}	199.0^{h}
لارما ٤٤٤ Larma 444		پرایمینگ	Priming	21.1^{a}	18.9^{bc}	4.1^{de}	3.8^{fg}	3.2^{c-g}	3.3^{c-f}	295.9^{ab}	208.3^{gh}
		محلول‌پاشی	Spraying	18.9^{bc}	18.7^{cd}	4.1^{c-e}	3.8^{g}	3.2^{c-g}	2.9^{h}	264.6^{cd}	165^{i}
		کودآبیاری	Fertigation	18.1^{cd}	21.1^{a}	4.2^{b-e}	4.2^{b-e}	3.2^{c-g}	3.8^{a}	253.4^{de}	232.4^{ef}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

تعداد برگ: تعداد برگ با استفاده از کودهای لارما ۲۲۲ و لارما ٤٤٤ در هر دو رقم نسبت به شاهد، با افزایش همراه بود. در زمان کاربرد لارما ۲۲۲ در هر دو رقم بالاترین تعداد برگ به‌دست آمد؛ اگرچه در زمان کاربرد این کود به‌صورت کودآبیاری بیش‌ترین مقادیر در هر دو رقم حاصل گردید. هم‌چنین در زمان کاربرد کود لارما ٤٤٤ نیز افزایش در تعداد برگ مشاهده شد (جدول ٥).

طول دمبرگ: طول دمبرگ در زمان کاربرد کود لارما ٤٤٤ به‌صورت کودآبیاری بیش‌ترین مقدار بود؛ به‌طوری‌که در این تیمار رقم پاروس با طول دمبرگ ۲۱/۲۸ سانتی‌متر و رقم کاماروسا با طول دمبرگ ۲۰/٦ سانتی‌متر بیش‌ترین مقادیر را نشان دادند. این در حالی است که کاربرد لارما ۲۲۲ مقادیر کم‌تری از طول دمبرگ را نشان داد (جدول ۵).

وزن‌تر و خشک برگ: نتایج مقایسه میانگین وزن‌تر برگ نشان داد، زمانی که از کود لارما ۲۲۲ استفاده گردید، در هر دو رقم افزایش معنی‌داری در این پارامتر دیده شد؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن‌تر برگ در هر دو رقم کاماروسا و پاروس به‌ترتیب ۳/۸۳ گرم و ۳/٤ گرم در تیمار کودآبیاری به‌دست آمد. این در حالی است که کاربرد کود لارما ٤٤٤ موجب شده تا کاهشی بعضاً معنی‌دار نسبت به کاربرد لارما ۲۲۲ در وزن‌تر برگ ملاحظه شود (جدول ٤). وزن خشک برگ نیز همانند وزن‌تر برگ در تیمار کودآبیاری لارما ۲۲۲ بیش‌ترین مقادیر هر دو رقم را نشان داد. با کاربرد لارما ٤٤٤ اگرچه رقم پاروس تفاوت معنی‌داری را با تیمار لارما ۲۲۲ نشان نمی‌دهد، اما در رقم کاماروسا کاهش معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۵).

سطح برگ: میزان سطح برگ در زمان کاربرد کود لارما ۲۲۲ نسبت به شاهد افزایش خطی و معنی‌داری را نشان داد؛ بیش‌ترین مقادیر در این تیمار، زمان کاربرد آن به‌صورت کودآبیاری در هر دو رقم بوده است. هم‌چنین کاربرد کود لارما ٤٤٤ به‌صورت محلول‌پاشی و کودآبیاری توانسته اختلاف معنی‌داری نسبت به تلقیح ریشه ایجاد کند و بیش‌ترین مقادیر سطح برگ در هر دو رقم را به‌دنبال داشته‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵- جدول مقایسه میانگین صفات مرتبط با رشد رویشی توت‌فرنگی تحت‌تأثیر کودهای زیستی.

Table 5. Mean data of Strawberry vegetative traits as Affected by Biofertilizers.

کود Fertilizer		نحوه کاربرد Fertilizer Application	تعداد برگ Berry weight		طول دمبرگ Berry length		وزن‌تر برگ Berry width		وزن خشک برگ Yield		سطح برگ Leaf area	
			–		cm- سانتی‌متر		cm- سانتی‌متر		g- گرم		cm^2- سانتی‌مترمربع	
			کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros	کاماروسا Camarosa	پاروس Paros
شاهد Control		پرایمینگ Priming	18.6^{d}	20.4^{cd}	17.2^{d-h}	19.2^{bc}	2.308^{h}	2.43^{f-h}	0.67^{h}	0.70^{gh}	33.59^{f}	29.21^{g}
		محلول‌پاشی Spraying	21.8^{a-d}	18.6^{d}	18^{c-e}	20^{ab}	1.846^{i}	2.51^{f-h}	0.54^{i}	0.69^{h}	32.84^{f}	34.15^{f}
		کودآبیاری Fertigation	20.4^{cd}	21^{b-d}	17.5^{d-g}	18.18^{cd}	2.45^{f-h}	2.4^{gh}	0.91^{b-e}	0.81^{e-g}	35.14^{f}	35.03^{f}
لارما ۲۲۲ Larma 222		پرایمینگ Priming	23.4^{a-c}	23.4^{a-c}	16.56^{e-i}	17.74^{d-f}	2.72^{e-g}	3.35^{bc}	0.83^{d-f}	0.97^{bc}	39.13^{e}	42.45^{d}
		محلول‌پاشی Spraying	21.8^{a-d}	22.6^{a-c}	18^{c-e}	16.06^{g-j}	3.15^{b-d}	3.34^{bc}	0.91^{b-e}	0.97^{bc}	42.69^{d}	44.02^{cd}
		کودآبیاری Fertigation	24.6a	24.4^{ab}	16.4^{g-j}	14.8^{j}	3.83^{a}	3.4^{b}	1.11^{a}	0.98^{b}	46.28^{bc}	46.91^{b}
لارما ٤٤٤ Larma 444		پرایمینگ Priming	21.6^{a-d}	23.4^{a-c}	17.2^{d-h}	15.8^{h-j}	3.13^{b-d}	3.20^{b-d}	0.71^{gh}	0.93^{b-d}	42.51^{d}	42.15^{d}
		محلول‌پاشی Spraying	21.6^{a-d}	21.6^{a-d}	15.8^{h-j}	15.4^{ij}	2.99^{c-e}	2.80^{d-f}	0.86^{e-d}	0.92^{b-e}	49.05^{ab}	48.63^{ab}
		کودآبیاری Fertigation	21^{b-d}	22.2^{a-c}	20.6^{a-b}	21.28^{a}	3.32^{bc}	3.29^{bc}	0.72^{f-h}	0.95^{bc}	49.79^{a}	48.45^{ab}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

درمجموع نتایج صفات ریخت‌شناسی نشان داد که کاربرد کودهای زیستی لارما ۲۲۲ و لارما ٤٤٤ در اکثر صفات موجب افزایش معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد شده‌است. در صفات وزن میوه، طول میوه، تعداد برگ، وزن‌تر و خشک برگ، عملکرد، کاربرد کود لارما ۲۲۲ به‌صورت کودآبیاری و هم‌چنین در برخی موارد محلول‌پاشی موجب شده بیش‌ترین مقادیر حاصل شود. هم‌چنین کاربرد لارما ٤٤٤ موجب شد بیش‌ترین مقادیر قطر میوه، طول دمبرگ، تعداد روندک، سطح برگ، طول و وزن‌تر و خشک‌ریشه در هر دو رقم حاصل شود. اگرچه برخی از پارامترها در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. کود لارما ۲۲۲ بر پایه جنس سودوموناس بوده که این کود به‌عنوان یک کود زیستی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان داشته‌باشد. در همین راستا نتایج پژوهشی نشان داد که عملکرد توت‌فرنگی در بوته تحت‌تأثیر کودهای زیستی با افزایش همراه بود (۲۲). هم‌چنین بیان گردید کودهای زیستی به همراه کودهای آلی به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد میوه و اجزای آن تأثیر گذاشتند که این می‌تواند به دلیل افزایش در تعداد برگ باشد (۲۳). هم‌چنین مشخص گردید، کود زیستی سودوموناس قادر به تحریک رشد ریشه و بهبود جذب مواد مغذی از خاک است که می‌تواند به‌طور غیرمستقیم برافزایش اندازه توت‌فرنگی مؤثر واقع شود (۲۳). هم‌چنین، در مطالعه مشابه دیگری بر گیاهان گوجه‌فرنگی، کاربرد سودوموناس موجب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و افزایش طول میوه‌ها شده بود (٢٤). در این پژوهش، بیش‌ترین قطر میوه در رقم پاروس و در تیمار کودآبیاری باسیلوس مشاهده شد. طبق مطالعات انجام‌شده، باسیلوس به‌عنوان یک کود زیستی قادر به افزایش فعالیت‌های زیستی در خاک و بهبود ساختار ریشه است که می‌تواند باعث بهبود دریافت مواد مغذی و درنتیجه افزایش اندازه میوه‌ها گردد (۲۵). هم‌چنین در پژوهشی دیگر، نشان داده شد که استفاده از باسیلوس در فرآیندهای فتوسنتزی گیاه تأثیر مثبت دارد و موجب افزایش تولید ماده خشک و اندازه میوه‌ها می‌شود (۲٦).

بررسی تأثیر کودهای زیستی لارما ۲۲۲ و لارما ٤٤٤ بر عملکرد دو رقم توت‌فرنگی کاماروسا و پاروس نشان داد که رقم کاماروسا در بیش‌تر تیمارها عملکرد بهتری نسبت به رقم پاروس داشت. این یافته با نتایج مطالعات مشابه همخوانی دارد که نشان داده‌اند انتخاب رقم مناسب می‌تواند تأثیر مهمی در افزایش عملکرد داشته باشد. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه‌ای دیگر بر توت‌فرنگی، رقم‌های مختلف با کودهای زیستی متفاوت، تفاوت‌های قابل‌توجهی در عملکرد نشان دادند (۲۷). این تفاوت‌ها معمولاً به توانایی رقم در جذب و استفاده از مواد مغذی و هم‌چنین مقاومت به بیماری‌ها و شرایط محیطی مربوط می‌شود. ازنظر اثر کودهای زیستی، بیش‌ترین عملکرد در هر دو رقم در تیمار محلول‌پاشی کود لارما ۲۲۲ مشاهده شد. این نتیجه می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت کود لارما ۲۲۲ بر رشد و توسعه گیاه از طریق فعالیت‌های مفید میکروبی باشد. سودوموناس ممکن است باعث تقویت سامانه ایمنی گیاه و بهبود جذب عناصر غذایی شود که به افزایش عملکرد منجر می‌شود (۲۸). مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که استفاده از کودهای زیستی مبتنی بر سودوموناس می‌تواند به‌ویژه در خاک‌های فقیر ازنظر مواد مغذی به افزایش عملکرد گیاهان کمک کند (۲۹).

پژوهش‌هایی نشان داده‌اند که باسیلوس‌ها می‌توانند تعداد برگ‌ها را افزایش دهند و رشد کلی گیاه را بهبود بخشند (۳۰). به‌ویژه در این پژوهش، مشاهده شد که استفاده از کودهای مبتنی بر باسیلوس به‌طور چشمگیری تعداد برگ‌ها را نسبت به شاهد افزایش داد که این امر ممکن است به دلیل تأثیرات این

باکتری‌ها بر بهبود کارایی فتوسنتز و افزایش سطح هورمون‌های رشد گیاهی باشد. روش کودآبیاری مؤثرتر از سایر روش‌ها بود، ممکن است به دلیل این باشد که رطوبت خاک باعث تسهیل در انتقال و جذب بهتر مواد مغذی و محرک‌های رشد از طریق ریشه‌ها می‌شود. این یافته مشابه نتایج پژوهش‌های دیگر است که نشان می‌دهند روش‌های آبیاری و محلول‌پاشی برای بهبود تأثیر کودهای زیستی بر گیاهان مناسب‌تر از روش تلقیح ریشه هستند (۳۱).

مطالعات نشان داده‌اند که سودوموناس قادر به تحریک رشد گیاه از طریق تولید ترکیبات رشد گیاهی مانند انواع هورمون‌های گیاهی، به‌ویژه اکسین‌ها و سایتوکینین‌ها است (۳۲). این اثر در وزن خشک برگ نیز مشاهده گردید، به‌طوری‌که تیمار کودآبیاری سودوموناس موجب افزایش وزن خشک برگ در هر دو رقم کاماروسا و پاروس گردید. این یافته‌ها با پژوهش‌های قبلی که نشان داده‌اند کودهای زیستی به‌ویژه سودوموناس می‌توانند برافزایش کیفیت و کمیت رشد برگ و اندام‌های هوایی گیاهان تأثیرگذارند، مطابقت دارد (۳۳). باکتری جنس سودوموناس قادر به تسهیل جذب عناصر غذایی از خاک توسط گیاه است. این باعث افزایش تأمین مواد غذایی برای گیاه می‌شود و درنتیجه رشد آن بهبود می‌یابد (۳٤). ازآن‌جایی‌که سودوموناس‌ها قادر به تثبیت نیتروژن جوی هستند و این نیتروژن را در دسترس گیاهان قرار می‌دهند. این امر نیز باعث افزایش ماده خشک و رشد گیاهان می‌شود (۳۵). هم‌چنین این نوع باکتری قادر به تولید هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین‌ها می‌باشد که این هورمون‌ها می‌توانند رشد اندام‌های هوایی ازجمله شاخه و برگ‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد (۳۵). گزارش‌شده سودوموناس می‌تواند بهبود ساختار خاک را تسهیل کند. این باعث افزایش تهویه و نفوذپذیری خاک شده و جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان بهبود می‌یابد؛ درنتیجه موجب افزایش پارامترهای رشدی می‌شود (۳٦). مشابه با نتایج این پژوهش بیان گردید کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش صفات رویشی ازجمله ارتفاع بوته، گسترش بوته، تعداد برگ در بوته و قطر طوقه نسبت به شاهد شد که دلیل آن را تثبیت بیش‌تر نیتروژن و آزادسازی سریع آن همراه با جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاهان باشد (۳۷).

در این پژوهش، مشاهده شد که کاربرد کود لارما ٤٤٤ به‌ویژه در روش‌های محلول‌پاشی و کودآبیاری منجر به افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به روش تلقیح ریشه شد. این امر ممکن است به‌دلیل تأثیر مثبت باسیلوس بر تحریک رشد ریشه و بهبود جذب مواد مغذی از خاک باشد (۳۸). کاربرد کود لارما ٤٤٤ که مبتنی بر جنس باسیلوس بوده بر برخی صفات رشدی و ریشه‌ای گیاه مؤثر بوده است. پژوهش‌ها نشان داده است که باکتری باسیلوس می‌تواند به افزایش طول ریشه گیاه کمک کند. این باکتری با تولید هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین، رشد ریشه را تحریک می‌کند (۳۹). گزارش‌شده استفاده از باکتری باسیلوس می‌تواند منجر به افزایش سطح برگ گیاه شود. این باکتری با افزایش فعالیت کلروفیل و تسهیل در جذب نیتروژن و عناصر غذایی دیگر، سبب افزایش سطح برگ می‌شود. هم‌چنین باکتری باسیلوس می‌تواند به تقویت ساقه گیاه کمک کند. این باکتری با تولید هورمون‌های رشد گیاهی مانند جیبرلین، رشد ساقه را تحریک می‌کند و باعث افزایش طول دمبرگ می‌شود (٤۰)؛ این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

صفات زیست‌شیمیایی: نتایج بررسی جدول تجزیه واریانس صفات زیست‌شیمیایی نشان داد که اثر متقابل کود، نحوه کاربرد و رقم بر همه صفات موردبررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده‌است (جدول ٦).

جدول ٦- تجزیه واریانس صفات زیست‌شیمیایی ارقام توت‌فرنگی تحت‌تأثیر کود زیستی.

Table 6. Analysis of Variance for Biochemical Traits of Strawberry Cultivars Influenced by Biofertilizer.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square						
		مواد جامد محلول TSS	اسیدیته قابل‌تیتر TA	شاخص طعم TSS/TA	اسیدیته pH	شاخص کلروفیل SPAD	آنتوسیانین Anthocyanin	فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH%
نوع کود Fertilizer (F)	2	18.8**	0.2*	0.8**	1.1**	57.5**	50.1**	556.2**
کاربرد Application (A)	2	8.3**	0.06**	0.06ns	0.1**	13.4**	4.6**	51.2**
رقم Cultivar (C)	1	10.6**	0.1**	0.08 ns	0.5**	24.2**	1361.3**	5652.3**
اثر متقابل F×A×C	12	0.7**	0.005**	0.6**	0.05**	21.9**	2.2**	24.5**
خطا Error	72	0.06	0.001	0.18	0.008	1.6	0.4	4.5
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		2.4	3.8	4.0	2.42	3.3	2.8	2.64

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

ns, *, ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

بررسی مواد جامد محلول نشان داد زمانی که کود لارما ۲۲۲ به‌صورت کودآبیاری در هر دو رقم به‌کاربرده شده، نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده گردید؛ اما بیش‌ترین مقدار این پارامتر در تیمار کودآبیاری لارما ٤٤٤ و در رقم کاماروسا به میزان ۱۳/۲۸ به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار مواد جامد محلول در رقم پاروس نیز به میزان ۱۱/٦٦ در همین تیمار ملاحظه گردید (جدول ۷).

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در رقم کاماروسا و در تیمار کودآبیاری لارما ۲۲۲ و محلول‌پاشی و کودآبیاری لارما ٤٤٤ بیش‌ترین مقادیر را به‌دنبال داشت. البته کاربرد همین تیمارها در رقم پاروس نیز موجب شد بیش‌ترین مقادیر این پارامتر در این رقم مشاهده شود (جدول ۷). بررسی نتایج شاخص طعم نشان داد کاربرد کود لارما ۲۲۲ در رقم کاماروسا موجب کاهش این پارامتر نسبت به شاهد شد و کم‌ترین مقدار درروش کودآبیاری به‌دست آمد. این در حالی است که بیش‌ترین مقدار در تیمار کودآبیاری لارما ٤٤٤ در رقم کاماروسا به‌دست آمد. هم‌چنین در رقم پاروس نیز کاربرد کود لارما ۲۲۲ موجب کاهش نسبت به تیمار شاهد شده‌است؛ ولی کم‌ترین مقدار در این رقم در تیمار تلقیح ریشه لارما ٤٤٤ به‌دست آمد (جدول ۷).

نتایج بررسی میزان pH نشان داد رقم کاماروسا نسبت به پاروس اسیدیته بالاتری دارد. بیش‌ترین مقدار این پارامتر در تیمار کودآبیاری لارما ٤٤٤ و در رقم کاماروسا به میزان ٤/۱۳ به‌دست آمد. درمجموع نتایج نشان داد در هر دو رقم کاربرد کودهای زیستی لارما ۲۲۲ و لارما ٤٤٤ مؤثر بوده و موجب افزایش نسبت به تیمار شاهد شده‌است (جدول ۷).

بررسی میزان شاخص کلروفیل نشان داد کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش این صفت در هر دو رقم شده‌است. بیش‌ترین مقدار در رقم پاروس و در تیمار محلول‌پاشی لارما ۲۲۲ به میزان ۴۱/۳۲ به‌دست آمد. در رقم کاماروسا نیز بیش‌ترین مقدار به میزان ۴۰/۵۸ در تیمار کودآبیاری لارما ۲۲۲ حاصل شد که با رقم پاروس تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد (جدول ۷).

میزان آنتوسیانین در رقم کاماروسا در همه تیمارها نسبت به رقم پاروس بیش‌تر بوده و تحت‌تأثیر کودهای زیستی قرار گرفت، به‌طوری‌که کاربرد لارما ۲۲۲ موجب افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد شد و سپس کاربرد لارما ٤٤٤ افزایش معنی‌داری نسبت به کود لارما ۲۲۲ نشان داد و بیش‌ترین مقدار در همین تیمار و درروش کودآبیاری به میزان ۲۹/۰۷ (میلی‌گرم بر لیتر) حاصل شد. در رقم پاروس نیز بیش‌ترین مقادیر در هر دو نوع کود زیستی و درروش کودآبیاری به‌دست آمد (جدول ۷). بررسی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد که رقم کاماروسا مقادیر بیش‌تری داشته و کاربرد کود زیستی نیز بر مقدار آن مؤثر بوده است. بیش‌ترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار کودآبیاری لارما ٤٤٤ به میزان ۹٦/٦٦ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین در رقم پاروس نیز بیش‌ترین مقادیر در هر دو نوع کود زیستی و درروش کودآبیاری به‌دست آمد (جدول ۷).

درمجموع نتایج صفات زیست‌شیمیایی نشان داد که کاربرد کودهای زیستی مبتنی بر سودوموناس و باسیلوس توانسته موجب افزایش معنی‌دار در پارامترهایی هم‌چون مواد جامد محلول، اسیدیته میوه، شاخص طعم (TSS / TA)، pH، شاخص کلروفیل آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شود. اگرچه اثرگذاری کود زیستی مبتنی بر جنس باسیلوس بیش‌تر و معنی‌دارتر بوده است. به‌طوری‌که نتایج گواه آن بود کاربرد کود لارما ٤٤٤ باعث شده بیش‌ترین مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، شاخص طعم و pH در رقم کاماروسا و درروش کودآبیاری مشاهده شود. افزایش مشاهده‌شده در جامدات محلول را می‌توان به توانایی کود زیستی باسیلوس در افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان نسبت داد. کودهای زیستی حاوی باکتری‌های مفید مانند گونه‌های باسیلوس برای بهبود در دسترس بودن و جذب مواد مغذی در ناحیه ریشه، منجر به افزایش تجمع قند و محتوای جامدات محلول بالاتر در میوه‌ها می‌شوند. هم‌چنین این افزایش می‌تواند به‌دلیل توانایی باسیلوس برای حل کردن فسفر و در دسترس قرار دادن آن برای جذب مواد مغذی و درنهایت افزایش پارامترهای کیفیت میوه مانند جامدات محلول کل باشد (٤١). گزارش گردید که بیش‌ترین مقدار pH به میزان ٤/۲۳ در رقم توت‌فرنگی چندلر هنگام استفاده از تیمار کود زیستی به‌دست آمد. علاوه بر این، مقادیر pH ممکن است با توجه به شرایط اکولوژیکی منطقه، رقم و تیمارها متفاوت باشد (٤۲). هم‌چنین بیان گردید بیش‌ترین مقدار SSC در هنگام استفاده از تیمار کود زیستی ۱۰/۱۸ درصد بود (٤۳)، این در حالی است که در تیمار ترکیبی کود آلی و کود زیستی بیش‌ترین مقدار مواد جامد محلول به میزان ۸/٤٦ درصد مشاهده شد و هم‌چنین مقادیر اسیدیته بین ۰/۵۹ تا ۰/٦۵ درصد به‌دست آمد (٤٤). در پژوهشی دیگر مقدار اسیدیته در محدوده ۰/٦۱ تا ۰/۷٤ درصد حاصل شد که نشان از تفاوت مقادیر در تیمارهای مختلف دارد (٤۵). هم‌چنین مقادیر شاخص طعم (TSS/TA) در محدوده ۱۲/۸٤ تا ۱۷/۰۵ برای توت‌فرنگی Sweet Charlie (٤۵) و ۱۱/۳ تا ۱٤ برای توت‌فرنگی رقم چندلر (٤۲) بود.

بررسی شاخص کلروفیل نشان داد که بیش‌ترین مقدار این پارامتر در کاربرد لارما ۲۲۲ به‌صورت محلول‌پاشی در رقم پاروس به‌دست آمد؛ اگرچه با روش کاربرد کودآبیاری در رقم کاماروسا تفاوت معنی‌داری نداشت. کلروفیل‌متر (SPAD) غلظت نسبی کلروفیل برگ را بر اساس مقدار نور عبور کرده از برگ در دو طول‌موج که جذب کلروفیل در آن‌ها تفاوت دارد نشان‌می‌دهد؛ بنابراین، شاخص‌های SPAD معیاری از مقدار کلروفیل موجود در برگ است (٤٦). در مطالعات قبلی مشخص شد که محتوای کلروفیل در اندام هوایی گیاه هنگام تلقیح با سودوموناس دارای فعالیت ACC- دآمیناز افزایش می‌یابد (٤٧). این افزایش در محتوای کلروفیل هم‌چنین ممکن است به‌دلیل افزایش سطح برگ فتوسنتزی گیاه با تلقیح، در مقایسه با شاهد تلقیح نشده باشد که در آن سطح برگ افزایش یافته‌است. به‌طورکلی، هر چه شرایط تغذیه‌ای و محیطی ازجمله عناصر غذایی، نور، رطوبت، آفات و بیماری‌ها برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد، توان گیاه در تولید کلروفیل برگ‌ها و تولید انرژی بیش‌تر می‌شود. از این‌رو، عواملی که سبب بهبود شرایط می‌شوند احتمالاً بر میزان کلروفیل نیز اثر دارند (٤٨). در پژوهشی دیگر بیان گردید که باکتری‌های محرک رشد اثر مثبت معنی‌داری را بر محتوای کلروفیل نشان دادند. ایشان دلیل افزایش در محتوای کلروفیل گیاهان تلقیح شده با کود زیستی را افزایش سطح برگ و متعادل شدن عناصر غذایی در خاک دانستند (٤٩).

مقادیر آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدان در رقم کاماروسا به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم پاروس بود و بیش‌ترین مقادیر در زمان کاربرد لارما ٤٤٤ به‌صورت کودآبیاری به‌دست آمد. در پژوهشی تأثیر باکتری باسیلوس بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی موردبررسی قرارگرفته است. نتایج نشان داده است که استفاده از باکتری باسیلوس منجر به بهبود رشد و عملکرد توت‌فرنگی می‌شود. گزارش‌شده حداکثر میزان موادجامد محلول، اسیدآسکوربیک و آنتوسیانین در میوه گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار آن در میوه گیاهان تلقیح نشده ثبت شد (۳۷). یافته‌های مشابهی نیز توسط بیر و همکاران (۵۰) در مورد توت‌فرنگی گزارش‌شده است. این باکتری‌ها با افزایش جذب عناصر غذایی و تسهیل فرایند هضم و جذب مواد مغذی، بهبودی در رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی ایجاد می‌کنند. منجر به افزایش محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها در میوه توت‌فرنگی می‌شود. آنتی‌اکسیدان‌ها موادی هستند که در مقابل اکسیداسیون سلول‌ها و جلوگیری از آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند. افزایش محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها در توت‌فرنگی بهبودی در کیفیت و ارزش غذایی آن ایجاد می‌کند (۵۱). برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از باکتری‌های جنس باسیلوس می‌تواند منجر به افزایش محتوای فنولیک و آنتی‌اکسیدانی در توت‌فرنگی شود که این مواد می‌توانند به بهبود خواص غذایی و سلامتی توت‌فرنگی کمک کنند (۵۲). باکتری‌های جنس باسیلوس می‌توانند به‌عنوان عوامل زیستی کنترل زیستی برعلیه بیماری‌های توت‌فرنگی استفاده شوند. این باکتری‌ها می‌توانند بهبود مقاومت گیاه به بیماری‌ها را ایجاد کرده و از آسیب‌های ناشی از عفونت‌های قارچی محافظت کنند (۵۳). استفاده از باکتری‌های جنس باسیلوس می‌تواند به بهبود کیفیت محصول توت‌فرنگی کمک کند. این باکتری‌ها می‌توانند بهبود ویژگی‌های ماندگاری، طعم، رنگ و قابلیت فروش محصول را ایجاد کنند (۵۲).

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات زیست‌شیمیایی تحت‌تأثیر کودهای زیستی.

Table 7. Comparison of Mean biochemical traits under the influence of biofertilizers.

کود Fertilizer		نحوه کاربرد Fertilizer Application		مواد جامد محلول TSS		اسیدیته قابل تیتر TA		شاخص طعم TSS/TA		اسیدیته pH		شاخص کلروفیل SPAD		آنتوسیانین Anthocyanin		آنتی‌اکسیدان Antioxidant	
				Brix- بریکس		%- درصد		-		-		-		$mg.L^{-1}$- میلی‌گرم بر لیتر		%- درصد	
				کامارووسا Camarosa	پاروس Paros	کامارووسا Camarosa	پاروس Paros	کامارووسا Camarosa	پاروس Paros	کامارووسا Camarosa	پاروس Paros	کامارووسا Camarosa	پاروس Paros	کامارووسا Camarosa	پاروس Paros	کامارووسا Camarosa	پاروس Paros
شاهد Control		پرایمینگ	Priming	10.2^{hi}	9.1^{k}	0.94^{g-i}	0.85^{k}	10.85^{a-c}	10.72^{b-d}	3.54^{g-i}	3.48^{hi}	34^{e}	34.66^{e}	24.69^{d}	17.97^{gh}	82.08^{d}	69.77^{gh}
		محلولپاشی	Spraying	10.5^{f-h}	9.7^{j}	0.95^{gh}	0.88^{jk}	11.06^{ab}	10.95^{a-c}	3.55^{f-h}	3.44^{hi}	38.22^{d}	35.44^{e}	24.76^{d}	17.78^{h}	82.33^{d}	69.14^{h}
		کودآبیاری	Fertigation	10.3^{hi}	9.9^{ij}	0.97^{f-h}	0.90^{i-k}	10.55^{b-e}	11.08^{ab}	3.54^{g-i}	3.43^{i}	35.28^{e}	35.28^{e}	24.69^{d}	17.74^{h}	82.09^{d}	68.98^{h}
لارما ۲۲۲ Larma 222		پرایمینگ	Priming	10.7^{ef}	10.3^{hi}	1.04^{b-d}	0.93^{h-j}	10.28^{de}	11.08^{ab}	3.87^{c}	3.74^{de}	38.08^{d}	40.14^{ab}	27.03^{c}	19.47^{ef}	89.87^{c}	74.73^{ef}
		محلولپاشی	Spraying	10.8^{ef}	10.6^{e-g}	1.03^{c-e}	0.99^{e-g}	10.48^{c-e}	10.75^{b-d}	3.88^{c}	3.66^{ef}	38.08^{d}	41.32^{a}	27.06^{c}	18.89^{f}	89.98^{c}	72.83^{f}
		کودآبیاری	Fertigation	11.7^{b}	11.1^{cd}	1.15^{a}	1.07^{bc}	10.14^{e}	10.44^{c-e}	4.00^{b}	3.81^{cd}	40.58^{ab}	39.36^{b-d}	27.88^{b}	19.87^{e}	92.71^{b}	76.09^{e}
لارما ٤٤٤ Larma 444		پرایمینگ	Priming	10.9^{de}	10.3^{gh}	1.01^{d-f}	1.02^{c-f}	10.76^{b-d}	10.14^{e}	3.62^{fg}	3.63^{e-g}	39.22^{b-d}	40.58^{ab}	26.46^{c}	$18.76f^{g}$	87.98^{c}	$72.42f^{g}$
		محلولپاشی	Spraying	11.8^{b}	11.3^{c}	1.14^{a}	1.06^{b-d}	10.46^{c-e}	10.61^{b-e}	4.04^{ab}	3.78^{cd}	39^{b-d}	40^{a-c}	28.18^{b}	19.52^{ef}	93.70^{b}	74.93^{ef}
		کودآبیاری	Fertigation	13.2^{a}	11.6^{b}	1.16^{a}	1.08^{b}	11.38^{a}	10.72^{b-d}	4.13^{a}	3.83^{cd}	38.52^{cd}	38.26^{d}	29.07^{a}	19.79^{e}	96.66^{a}	75.88^{e}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش، استفاده از کودهای زیستی در بهبود عملکرد و کیفیت میوه‌های توت‌فرنگی به‌ویژه در دو رقم کاماروسا و پاروس تأثیر مثبت و معناداری دارد. نتایج نشان داد که رقم پاروس با رشد رویشی بهتری نسبت به رقم کاماروسا، توانست به شاخ و برگ بیشتری دست یابد؛ درحالی‌که کاماروسا ازنظر ویژگی‌های زایشی و خواص آنتی‌اکسیدانی موردتوجه قرار گرفت. استفاده از تیمار کود لارما ۲۲۲ به‌روش کودآبیاری، موجب افزایش وزن میوه، طول میوه و تعداد تولید گل خوشه‌ای گردید که افزایش عملکرد به میزان ۳۰٦ گرم در بوته رقم کاماروسا را به‌همراه داشت. از سوی دیگر، کود لارما ٤٤٤ نیز به‌عنوان یک گزینه مؤثر در افزایش کیفیت میوه‌ها عمل کرد، به‌خصوص که منجر به افزایش قند، اسیدیته و محتوای آنتوسیانین در میوه‌ها شد. این نتایج بیانگر اهمیت ارتباط بین استفاده از کودهای زیستی و بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی توت‌فرنگی‌ها است. بنابراین، نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای ترویج استفاده از کودهای زیستی درکشت توت‌فرنگی مطرح شود و به کشاورزان و تولیدکنندگان کمک کند تا با کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی، به بهبود کیفیت محصولات خود و هم‌چنین حفظ محیط‌زیست اقدام نمایند.

منابع

1. Basu, S., Rabara, R., & Negi, S. (2017). Towards a better greener future-an alternative strategy using biofertilizers. I: Plant growth promoting bacteria. *Plant Gene*, 12, 43-49.
2. Garriga, M., Muñoz, C. A., Caligari, P. D., & Retamales, J. B. (2015). Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae*, 195, 37-47.
3. Gaston, A., Osorio, S., Denoyes, B., & Rothan, C. (2020). Applying the Solanaceae strategies to strawberry crop improvement. *Trends in Plant Science*, 25(2), 130-140.
4. Yavarpanah, Z., Alizadeh, M., & Seifi, E. (2015). Effects of foliar and root applications of hydro-alcoholic solutions on physiological and biochemical attributes and fruit yield and weight of strawberry. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 5(1), 47-54.
5. Pandey, K. B., & Suttajit, M. (Eds.). (2022). *Plant bioactives as natural panacea against age-induced diseases: Nutraceuticals and functional lead compounds for drug development*. Elsevier.
6. Khan, K., Pankaj, U., Verma, S. K., Gupta, A. K., Singh, R. P., & Verma, R. K. (2015). Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of Andrographis paniculata, and soil properties. *Industrial Crops and Products*, 70, 404-409.
7. Khosravi, H. (2013). Biofertilizers Containing Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Strengths and weaknesses. *Land Management Journal*, 1(1), 33-46. [In Persian]
8. Liu, L., Du, W., Luo, W., Su, Y., Hui, J., & Ma, S. (2015). Development of an engineered soil bacterium enabling to convert both insoluble inorganic and organic phosphate into plant available phosphate and its use as a biofertilizer. *Molecular Biotechnology*, 57, 419-429.
9. Zhang, X., Li, J., & Pan, X. (2023). Effects of organic fertilizers on yield, soil physico-chemical property, soil microbial community diversity and structure of *Brassica rapa* var. *Chinensis*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1132853.
10. Li, C., Aluko, O. O., Yuan, G., Li, J., & Liu, H. (2022). The responses of soil organic carbon and total nitrogen to

chemical nitrogen fertilizers reduction base on a meta-analysis. *Scientific Reports*, 12(1), 16326.

11. Faraji, S., Rafieiolhossaini, M., & Abasi Soorki, A. (2015). The effect of solitary and combined application of organic and biological manure and chemical fertilizer on some of the qualitative and quantitative properties of sugar beet. *Journal of Crops Improvement*, 17(3), 789-800. [In Persian]
12. Hitha, S., Vinaya, C., & Linu, M. (2021). Chapter 13-*Organic Fertilizers as a Route to Controlled Release of Nutrients*. 257 p.
13. Mahmud, A. A., Upadhyay, S. K., Srivastava, A. K., & Bhojiya, A. A. (2021). Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100063.
14. Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(3-4), 339-353.
15. Chojnacka, K., Moustakas, K., & Witek-Krowiak, A. (2020). Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy. *Bioresource Technology*, 295, 122223.
16. Silva, L. I. D., Oliveira, I. P. D., Jesus, E. D. C., Pereira, M. C., Pasqual, M., Araújo, R. C. D., & Dória, J. (2022). Fertilizer of the future: Beneficial bacteria promote strawberry growth and yield and may reduce the need for chemical fertilizer. *Agronomy*, 12(10), 2465.
17. García-López, J. V., Redondo-Gómez, S., Flores-Duarte, N. J., Rodríguez-Llorente, I. D., Pajuelo, E., & Mateos-Naranjo, E. (2023). Exploring through the use of physiological and isotopic techniques the potential of a PGPR-based biofertilizer to improve nitrogen fertilization practices efficiency in strawberry cultivation. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1243509.
18. Kilic, N. (2023). Synergistic Effect of Organic and Biofertilizers on Strawberry Cultivation. *Sustainability*, 15(10), 8206.
19. Rana, G. S., & Singh, K. (1992). Storage life of sweet orange fruits as influenced by Fungicides, oil emulsion and packages practices. *Crop Research*, 5(2), 150-155.
20. Wrolstad, R. E. (1976). Color and pigment analysis in fruit products. Oregon Agriculture Experiment Station Corvallis, Oregon. *Bulletin*, 624.
21. Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. F., Nabavi, S. M., & Eslami, B. (2010). Antihemolytic and antioxidant activities of Allium paradoxum. *Central European Journal of Biology*, 5, 338-345.
22. Pešaković, M., Karaklajić-Stajić, Ž., Milenković, S., & Mitrović, O. (2013). Biofertilizer affecting yield related characteristics of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) and soil micro-organisms. *Scientia Horticulturae*, 150, 238-243.
23. Negi, Y. K., Sajwan, P., Uniyal, S., & Mishra, A. C. (2021). Enhancement in yield and nutritive qualities of strawberry fruits by the application of organic manures and biofertilizers. *Scientia Horticulturae*, 283, 110038.
24. Skliros, D., Papazoglou, P., Gkizi, D., Paraskevopoulou, E., Katharios, P., Goumas, D. E., & Flemetakis, E. (2023). In planta interactions of a novel bacteriophage against Pseudomonas syringae pv. tomato. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(11), 3801-3815.
25. Wang, J., Ding, Z., Al-Huqail, A. A., Hui, Y., He, Y., Reichman, S. M., & Abou-Zaid, E. A. (2022). Potassium source and biofertilizer influence K release and fruit yield of Mango (*Mangifera indica* L.): A three-year field study in sandy soils. *Sustainability*, 14(15), 9766.
26. Wang, J., Qin, S., Fan, R., Peng, Q., Hu, X., Yang, L., & Cernava, T. (2023). Plant growth promotion and biocontrol of leaf blight caused by Nigrospora

sphaerica on passion fruit by endophytic Bacillus subtilis strain GUCC4. *Journal of Fungi*, 9(2), 132.

27. Tomic, J. M., Milivojevic, J. M., & Pesakovic, M. I. (2015). The response to bacterial inoculation is cultivar-related in strawberries. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(2), 332-341.
28. Comeau, D., Balthazar, C., Novinscak, A., Bouhamdani, N., Joly, D. L., & Filion, M. (2021). Interactions between Bacillus spp., Pseudomonas spp. and Cannabis sativa promote plant growth. *Frontiers in Microbiology*, 12, 715758.
29. Sarikhani, M. R., Aliasgharzad, N., & Khoshru, B. (2020). P solubilizing potential of some plant growth promoting bacteria used as ingredient in phosphatic biofertilizers with emphasis on growth promotion of *Zea mays* L. *Geomicrobiology Journal*, 37(4), 327-335.
30. Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012(1), 963401.
31. Abdiani, S. A., Kakar, K., Gulab, G., & Aryan, S. (2019). Influence of biofertilizer application methods on growth and yield performances of green pepper. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 2(4), 121-128.
32. Patel, J. S., Selvaraj, V., More, P., Bahmani, R., Borza, T., & Prithiviraj, B. (2023). A plant biostimulant from Ascophyllum nodosum potentiates plant growth promotion and stress protection activity of Pseudomonas protegens CHA0. *Plants*, 12(6), 1208.
33. Robas Mora, M., Fernández Pastrana, V. M., Oliva, L. L. G., Lobo, A. P., & Jiménez Gómez, P. A. (2023). Plant growth promotion of the forage plant Lupinus albus Var. Orden Dorado using Pseudomonas agronomica sp. nov. and Bacillus pretiosus sp. nov. added over a valorized agricultural biowaste. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1046201.
34. Lucke, M., Correa, M. G., & Levy, A. (2020). The role of secretion systems, effectors, and secondary metabolites of beneficial rhizobacteria in interactions with plants and microbes. *Frontiers in Plant Science*, 11, 589416.
35. Mehmood, N., Saeed, M., Zafarullah, S., Hyder, S., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., & Kupe, M. (2023). Multifaceted impacts of plant-beneficial pseudomonas spp. in managing various plant diseases and crop yield improvement. *ACS omega*, 8(25), 22296-22315.
36. Martínez, J. I., Gómez-Garrido, M., Gómez-López, M. D., Faz, Á., Martínez-Martínez, S., & Acosta, J. A. (2019). Pseudomonas fluorescens affects nutrient dynamics in plant-soil system for melon production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(2), 223-233.
37. Chandramohan Reddy, G., & Goyal, R. K. (2020). Growth, yield and quality of strawberry as affected by fertilizer N rate and biofertilizers inoculation under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(1), 46-58.
38. Huang, R., Feng, H., Xu, Z., Zhang, N., Liu, Y., Shao, J., & Zhang, R. (2022). Identification of adhesins in plant beneficial rhizobacteria Bacillus velezensis SQR9 and their effect on root colonization. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 35(1), 64-72.
39. Morshedi, E., Qareineh, M. H., Kouchakzadeh, A., & Bakhshandeh, A. (2023). Effect of growth promoting rhizobacteria and chemical fertilizer on yield and malting efficiency of different barley cultivars in rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 11(2), 235-254. [In Persian]
40. Otroshy, M., Esfehan, F. V., & Amooaghaie, R. (2015). Effect of mycorrhiza and plant growth promoting rhizobacteria on plant growth rate, flowering time and stevioside accumulation pattern in Stevia rebaudiana Bert. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(2), 220-234. [In Persian]
41. Saeid, A., Prochownik, E., & Dobrowolska-Iwanek, J. (2018). Phosphorus solubilization by Bacillus species. *Molecules*, 23(11), 2897.

42. Kumar, P., Sharma, N., Sharma, S., & Gupta, R. (2020). Rhizosphere stochiometry, fruit yield, quality attributes and growth response to PGPR transplant amendments in strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) growing on solarized soils. *Scientia Horticulturae*, 265, 109215.
43. Pešaković, M., Karaklajić-Stajić, Ž., Milenković, S., & Mitrović, O. (2013). Biofertilizer affecting yield related characteristics of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) and soil micro-organisms. *Scientia Horticulturae*, 150, 238-243.
44. Pradeep, B., & Saravanan, S. (2018). Effect of different biofertilizers and organic manures on yield and quality of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) cv. chandler. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 151-155.
45. Kumar, N. K., Ram, R. B., & Mishra, P. K. (2015). Effect of vermicompost and Azotobacter on quality parameters of strawberry (*Fragaria× Ananassa* Duch.) cv. Sweet Charlie. *International Journal of Agricultural Science Research*, 5, 269-276.
46. Mosavi Far, B., Behdani, M., Jami Alahmadi, M., & Hosyni, M. (2011). Chlorophyll index changes, SPAD, Relative water content, electrolyte leakage and grain yield in three spring safflower genotypes under the influence of water stress. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 9 (3), 525-534. [In Persian]
47. Zahir, Z. A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S. M., & Asghar, H. N. (2009). Comparative effectiveness of Pseudomonas and Serratia sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. *Archives of Microbiology*, 191, 415-424.
48. Aghababaei, F., & Reyesi, F. (2011). Mycorrhizal biological effect on chlorophyll, photosynthesis and water use efficiency in four almond genotypes in Chaharmahal and Bakhtiari. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 56, 91-101. [In Persian]
49. Seema, K., Mehta, K., & Singh, N. (2018). Studies on the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, physiological parameters, yield and fruit quality of strawberry cv. chandler. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 383-387.
50. Beer, K., Kumar, S., Gupta, A. K., & Syamal, M. M. (2017). Effect of organic, inorganic and bio-fertilizer on growth, flowering, yield and quality of strawberry (Fragaria× Ananassa Duch.) cv. Chandler. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 2932-2939.
51. Rahman, M., Sabir, A. A., Mukta, J. A., Khan, M. M. A., Mohi-Ud-Din, M., Miah, M. G., & Islam, M. T. (2018). Plant probiotic bacteria *Bacillus* and Paraburkholderia improve growth, yield and content of antioxidants in strawberry fruit. *Scientific Reports*, 8(1), 2504.
52. Drobek, M., Cybulska, J., Gałązka, A., Feledyn-Szewczyk, B., Marzec-Grządziel, A., Sas-Paszt, L., & Frąc, M. (2021). The use of interactions between microorganisms in strawberry cultivation (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 780099.
53. Wei, Y., Zhao, Y., Shi, M., Cao, Z., Lu, Q., Yang, T., & Wei, Z. (2018). Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresource Technology*, 247, 190-199.