

Evaluation of some quantitative and qualitative characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum*) affected by plant growth-promoting rhizobacteria and putrescine hormone

Nadieh Malekikhas¹, Ghobad Salimi^{2*}, Atefeh Pourjabar³, Saeid Alipour⁴

- 1- MSc, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 2- Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.
- 3- Assistant Professor, Department of Medicinal plants, kermanshah ACECR Institute of Higher Education, Kermanshah, Iran.
- 4- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

*Corresponding author: salimi8m@yahoo.com

(Received: 02 July 2022

Revised: 31 December 2022

Accepted: 05 September 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** The excessive and prolonged use of chemical fertilizers has adversely affected soil ecosystems and environmental sustainability. A considerable proportion of these fertilizers is lost through leaching caused by rainfall or irrigation, resulting in groundwater contamination. Continued dependence on chemical fertilizers therefore poses serious environmental challenges. Replacing chemical fertilizers with biological and organic alternatives is considered one of the most effective strategies for reducing these negative impacts. In this context, biofertilizers have emerged as sustainable substitutes that improve soil fertility while supporting environmentally friendly agricultural production. Among these, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) have attracted considerable attention because of their ability to enhance plant growth through a wide range of direct and indirect mechanisms, ultimately improving crop productivity and quality.
2. **Materials and methods:** A factorial experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) with three replications under greenhouse conditions at the Islamic Azad University, Kermanshah Branch, Iran, to evaluate the effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and putrescine on the quantitative and qualitative characteristics of tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) cv. Sinda. The first experimental factor consisted of three bacterial inoculation treatments: no inoculation (control), *Pseudomonas fluorescens*, and *Azospirillum lipoferum*. The second factor included three concentrations of putrescine (0, 1.5, and 3 mM). Growth parameters, including growth rate, days to flowering, plant height, number of leaves, stem diameter, and total fruit yield, were recorded throughout the growing period. After harvest, fruit quality attributes, including soluble solids content (TSS), titratable acidity, lycopene concentration, and vitamin C content, were determined using standard analytical procedures.
3. **Results and discussion:** The combined application of PGPR and putrescine significantly improved both the quantitative and qualitative characteristics of tomato plants. Fruit soluble solids, titratable acidity, lycopene, and vitamin C contents increased following bacterial inoculation and putrescine application. These improvements can be attributed to the ability of PGPR to produce phytohormones, siderophores, and organic acids, thereby enhancing nutrient availability and uptake, particularly nitrogen and iron. Improved nutrient acquisition subsequently promotes photosynthetic activity, carbohydrate accumulation, and overall plant performance, leading to enhanced plant growth and improved fruit quality. Analysis of variance revealed that PGPR significantly affected all evaluated traits, including plant height, fruit diameter, number of flowers, number of fruits, root dry weight, shoot dry weight, total fruit yield, soluble solids, titratable acidity, lycopene, potassium, phosphorus, and calcium contents ($P < 0.01$). However, the effect on vitamin C content was not statistically significant. Likewise, putrescine significantly influenced all measured characteristics at the 1% probability level ($P < 0.01$). Moreover, the interaction between PGPR and putrescine significantly affected plant height, flower number, fruit number, fruit yield, titratable acidity, and phosphorus content ($P < 0.01$), indicating a synergistic effect between bacterial inoculation and putrescine application. The highest fruit yield (16 kg plant⁻¹) was obtained from plants inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and treated with 1.5 mM putrescine. Plants inoculated with *Azospirillum lipoferum* and sprayed with 1.5 mM putrescine also exhibited high fruit yield, although lower than that achieved with *P. fluorescens*. In contrast, the lowest yield (7.75 kg

plant⁻¹) was recorded in the untreated control, where neither bacterial inoculation nor putrescine was applied. The beneficial effects of putrescine under non-stress conditions may be associated with its antioxidant properties, its contribution to maintaining cellular cation–anion balance, and its potential role as a nitrogen source. Furthermore, PGPR have been reported to enhance phosphorus and potassium uptake, thereby improving plant nutritional status and stimulating vegetative and reproductive growth. The increased number of flowers and fruits observed in the present study is likely the result of enhanced nutrient uptake, improved photosynthetic efficiency, and increased metabolic activity induced by both PGPR and putrescine. The stimulation of the plasma membrane H⁺-ATPase by PGPR may further facilitate the uptake of essential mineral nutrients, particularly nitrogen, phosphorus, and potassium, ultimately contributing to higher fruit yield and improved overall crop productivity.

4. **Conclusions:** The combined application of plant growth-promoting rhizobacteria and foliar application of putrescine effectively enhanced tomato growth, fruit quality, and yield under greenhouse conditions. Among all treatments, inoculation with *Pseudomonas fluorescens* in combination with 1.5 mM putrescine produced the highest fruit yield. Therefore, this treatment can be recommended as a sustainable and environmentally friendly strategy for improving greenhouse tomato production while reducing reliance on chemical fertilizers.

Keywords: Acidity, *Azospirillum lipophorum*, *Pseudomonas fluorescens*, putrescine, and yield.

Citation: Malekikhas, N., Salimi, Gh., Pourjabar, A. & Alipour, S. (2025). Evaluation of some quantitative and qualitative characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum*) affected by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and putrescine hormone. *Journal of Vegetables Sciences*, 19(1), 209-226. doi: 10.22034/iuvs.2023.556977.1220

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





بررسی برخی خصوصیات کمی و کیفی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی و هورمون پوتریسین

نادیه ملکی خاص^۱، قباد سلیمی^{۲*}، عاطفه پورجبار^۳، سعید علی‌پور^۴

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده داروسازی، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲ - استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۳ - استادیار، گروه گیاهان دارویی، مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی جهاددانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۴ - استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: salimi8m@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱

چکیده

به منظور بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاهی و پوتریسین بر خصوصیات کمی و کیفی گوجه‌فرنگی رقم سیندا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه در سال ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در سه سطح (بدون تلقیح، تلقیح با *سودوموناس فلوروسنس*، تلقیح با *آزوسپیریلیوم لیپوفرورم*) و پوتریسین در سه سطح (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد بالاترین میزان عملکرد (۱۶ کیلوگرم) در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین و تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* به دست آمد. بیشترین و کمترین تعداد گل به ترتیب در اثر متقابل *آزوسپیریلیوم* × ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین و سطوح شاهد فاکتورهای آزمایشی حاصل گردید. بیشترین و کمترین تعداد میوه در اثر متقابل *سودوموناس فلوروسنس* × ۳ میلی‌مولار پوتریسین و سطوح شاهد فاکتورهای آزمایشی به دست آمد. به طور کلی کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی و محلول پاشی پوتریسین موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی شد. با توجه به این که بالاترین میزان عملکرد میوه در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین و تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* به دست آمد، توصیه می‌شود از سطح دوم پوتریسین و تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* استفاده گردد.

کلمات کلیدی: *آزوسپیریلیوم لیپوفرورم*، *سودوموناس فلوروسنس*، لیکوپن و عملکرد.

استناد: ملکی خاص، ن.، سلیمی، ق.، پورجبار، ع. و علیپور، س. (۱۴۰۵). بررسی برخی خصوصیات کمی و کیفی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی و هورمون پوتریسین. علوم سبزی‌ها، ۱۹(۱)، ۲۰۹-۲۲۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترسی است.

مقدمه

گوجه‌فرنگی از سبزی‌های مهمی است که به لحاظ داشتن ویتامین‌های مختلف و سایر ترکیبات معدنی نقش مهمی را در سلامت جامعه ایفا می‌کند. این سبزی سرشار از ویتامین ث و لیکوپن است که امروزه به روش‌های مختلفی، به‌طور خام یا به‌عنوان یکی از مواد لازم برای تهیه غذا، انواع سس و نوشیدنی مصرف می‌شود و بخش مهمی از رژیم غذایی مردم بسیاری از کشورها را تشکیل می‌دهد (Khoshkhatti *et al.*, 2023).

استفاده از کودهای شیمیایی نظیر کودهای نیتروژن دار، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف در کوتاه مدت اثر مثبتی بر افزایش محصول گوجه‌فرنگی می‌گذارد. کودهای شیمیایی به‌مرور زمان روی اکوسیستم خاک اثر منفی گذاشته و مازاد آن با آب باران یا آبیاری شسته شده و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. ادامه این روند مشکلات بسیاری را برای محیط زیست، به بار خواهد آورد (Hokmalipour *et al.*, 2018). یکی از راهکارهای اساسی و مؤثر برای کاهش این اثرات مضر جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی و آلی است. در این راستا به‌کارگیری کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند. کودهای زیستی موجب اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند، توانایی تکثیر خودبخودی دارند و در چرخه غذایی مواد سمی و میکروبی تولید نمی‌کنند. این کودها در حقیقت شامل ریزجانداران آزادی هستند که در ریزوسفر گیاهان زندگی می‌کنند و عناصر غذایی اصلی و موردنیاز گیاه را از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس تبدیل می‌کنند (Cakmakci *et al.*, 2007).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی به گروهی از باکتری‌های ریزوسفری اطلاق می‌شود که با استفاده از یک یا چند سازوکار موجب بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌گردند (Bashan & Holguin, 2005).

به‌طور کلی این باکتری‌ها به دو روش مستقیم و غیرمستقیم روی رشد گیاه و میزان تولید در واحد سطح تأثیر می‌گذارند. در روش مستقیم این باکتری‌ها با سنتز موادی مانند هورمون‌های گیاهی نظیر ایندول استیک‌اسید، جیبرلین، کینیتین، سیدروفور، آنزیم ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC) دآمیناز، تثبیت نیتروژن اتمسفر، حلالیت فسفات غیرمحلول و تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط توسط گیاه موجب افزایش رشد گیاه و تولید محصول در واحد سطح می‌شوند. یکی از مکانیسم‌های مستقیم تأثیرگذار جلوگیری از تولید هورمون اتیلن می‌باشد. بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، توسعه سیستم ریشه و جلوگیری از ریزش اندام هوایی، افزایش گره‌زایی و تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی از سایر سازوکارهایی است که باکتری‌های محرک رشد گیاهی در افزایش رشد و نمو گیاهان استفاده می‌کنند (Hokmalipour *et al.*, 2018). این باکتری‌ها جذب مواد غذایی از خاک را افزایش و نیاز به کوددهی را کاهش داده و از تجمع نیترات و فسفات در خاک جلوگیری می‌کند. باکتری‌های محرک رشد گیاهی جذب یون معدنی را از طریق تحریک پمپ پروتون $\text{ATP} \rightarrow \text{ase}$ افزایش می‌دهد و همچنین موجب افزایش جذب پتاسیم، نیتروژن و فسفر می‌شوند (Steinbachel, 2010). در روش غیرمستقیم باکتری‌های محرک رشد گیاهی، اثرات مضر عوامل بیماری‌زا را در ریزوسفر با افزایش مقاومت گیاه میزبان نسبت به عوامل بیماری‌زا، خنثی یا تعدیل می‌کنند. این باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک کم می‌باشد، بنابراین تلقیح بذره‌های گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه منجر به بروز اثرات مفید آن‌ها در خاک گردد (Dehghani *et al.*, 2018). همکاران (۲۰۱۱) اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی را بر روی ویژگی‌های مختلف بابونه مثبت ارزیابی کردند.

(۲۰۱۳) در مطالعه ای روی اثر پوتریسین بر توت‌فرنگی افزایش اسید قابل تیتراسیون را گزارش کردند. نتایج مشابهی در تحقیق Khademi و Akbari (2016) که اثر پوتریسین بر عملکرد کیفی میوه توت‌فرنگی رثم کاماروسا را بررسی کردند گزارش شده است Soltani . و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی و کمپوست مصرف شده قارچ بر رشد و عملکرد گیاه گوجه فرنگی گزارش کردند که تلقیح بذور گوجه فرنگی با باکتری‌های محرک رشد گیاهی موجب افزایش وزن خشک بوته و ریشه، ارتفاع بوته، تعداد، قطر و عملکرد میوه شده است.

از آنجایی که گوجه‌فرنگی هم به طور خام هم در صنایع غذایی کاربرد فراوانی دارد، تولید محصول سالم این گیاه که عاری از آلودگی‌های ناشی از کودهای شیمیایی باشد از اهمیت خاصی برخوردار است. از این رو این تحقیق به منظور بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی و هورمون پوتریسین انجام گرفته است.

مواد و روش

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاهی و هورمون رشد پوتریسین بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه گوجه‌فرنگی در سال ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در سه سطح (بدون تلقیح، تلقیح با سودوموناس فلورسنس و تلقیح با آروسپریلیوم لیپوفروم) و پوتریسین در سه سطح (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) بود. برای ضدعفونی کردن بذور از هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ده دقیقه زیر لامینار هود استفاده شد. به‌منظور حذف هیپوکلریت، بذرها با آب مقطر استریل ده بار شستشو شده و به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود بیولوژیک قرار داده شدند. بذرها استریل شده به

هورمون پوتریسین به‌عنوان یک پلی‌آمین طبیعی تقریباً در همه موجودات زنده یافت می‌شود و در طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد و نمو گیاهان، تحریک تقسیم سلولی، سنتز DNA و پروتئین‌ها، جوانه‌زنی بذور، کنترل ریشه‌زایی، جنین‌زایی، پیری و ریزش بافت‌ها و اندام‌ها، گل‌انگیزی و نمو اندام‌های زایشی، تشکیل رشد و رسیدن میوه‌ها و واکنش به تنش‌های محیطی نقش مهمی را بر عهده دارد (Takahashi & Kakehi, 2009).

پلی‌آمین‌ها در تسریع یا کند نمودن فرایند پیری نقش تعیین‌کننده داشته و به‌طور معمول غلظت پلی‌آمین‌ها طی روند پیری در بافت روند کاهشی نشان می‌دهد و به نظر می‌رسد دلیل این کاهش شروع یا تشدید تولید اتیلن است (Mohammadrezakhani *et al.*, 2018).

پلی‌آمین‌ها در جلوگیری از تولید اتیلن در میوه‌ها نقش داشته و موجب تعویق انداختن پیری می‌شوند (Mona *et al.*, 2011). کاربرد پوتریسین به عنوان یک پلی‌آمین موجب استحکام دیواره سلولی می‌گردد. این امر ممکن است به دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی از جمله پلی‌گالاکتروناز، اگزوبیلی‌گالاکتروناز و متیل‌استراز باشد. فعالیت آنزیم گالاکتروناز متناسب با غلظت پلی‌آمین‌ها کاهش می‌یابد، به‌علاوه پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان غیرفعال‌کننده‌های رادیکال آزاد عمل کند و غشاهای سلولی را در برابر اکسید شدن حفظ کنند و بدین ترتیب مقاومت غشاها را افزایش دهند (Nilam *et al.*, 2017).

پوتریسین با نقش تنظیم‌کنندگی که در گیاه دارد سبب افزایش تقسیم سلولی و تمایز یابی سلول‌ها و جلوگیری از پیری گیاه به‌وسیله جلوگیری از کاهش کلروفیل و سنتز اتیلن می‌شود. از سوی دیگر پوتریسین عامل مهمی در سنتز قندها و کربوهیدرات‌ها می‌باشد. علاوه بر این پوتریسین می‌تواند به عنوان یک هورمون شبه سیتوکینینی عمل کرده و در شرایط بدون تنش باعث افزایش میزان کلروفیل و همچنین شاخص‌هایی کیفیت میوه بشود Kazemi و همکاران

میزان لیکوپن میوه پس از برداشت اندازه‌گیری شد. هر تیمار به صورت جداگانه با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند، به منظور اندازه‌گیری وزن خشک (وزن خشک ریشه، بوته و ...)، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. پس از گذشت این مدت وزن خشک نمونه‌ها توزین و برای اندازه‌گیری عناصر آماده شدند.

اندازه‌گیری نیتروژن، فسفر و پتاسیم

اندازه‌گیری نیتروژن به روش تقطیر کج‌دال انجام شد (Bremner & Mulvaney, 1982). فسفر به روش اولسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Olsen et al., 1982). در این روش از بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال در $\text{pH } 8.5$ برای اندازه‌گیری فسفر استفاده شد. میزان پتاسیم قابل جذب نیز از طریق قرائت یون‌های پتاسیم با دستگاه نشر شعاعی اندازه‌گیری شد (Ryan et al., 2007).

اندازه‌گیری pH مواد جامد محلول کل (TSS)

میزان مواد جامد محلول کل به‌وسیله یک رفاکتومتر دیجیتالی اندازه‌گیری شد. روش این کار به این صورت بود که ابتدا دستگاه به‌وسیله آب مقطر کالیبره شده و سپس با قرار دادن چند قطره از عصاره گوجه‌فرنگی بر روی صفحه منشور دستگاه و بستن درپوش آن، قرائت و یادداشت شد. در پایان هر مرحله صفحه مخصوص دستگاه را توسط آب مقطر تمیز شد. با استفاده از دستگاه pH متر میزان pH میوه نیز مشخص شد (Saleh Hosseini, 2003).

اندازه‌گیری اسیدیت قابل تیتراسیون

برای اندازه‌گیری میزان اسیدیت قابل تیتراسیون نیز از عصاره‌های به‌دست آمده از گوجه‌فرنگی‌ها استفاده شد. ده گرم از عصاره میوه در داخل یک استولنه مدرج ریخته شد و سپس تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر با آب مقطر رقیق شد. سپس محلول به‌دست آمده به یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتر منتقل و ۳-۴ قطره از معرف فنل‌فتالین به آن اضافه شد و توسط محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا ظاهر شدن رنگ قرمز کم‌رنگ تا صورتی تیتر شد. میزان سود مصرفی یادداشت و درصد اسیدیت

ارلن‌های حاوی مایه تلقیح باکتری اضافه و بذرها بدون تلقیح به ارلن‌های حاوی آب مقطر اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر با دور ۱۲۰ و دمای ۲۸ درجه قرار داده شدند. پس از طی زمان مذکور، در زیر هود بذرها از داخل ارلن خارج و به منظور حذف رطوبت اضافی روی فویل آلومینیوم استریل گذاشته شدند و در اواخر اسفند در سینی‌های کشت کاشته شدند. عملیات کاشت بذور در گلدان با ایجاد دو حفره در گلدان و انتقال دو نشاء گوجه‌فرنگی در هر گلدان انجام شد. هر نشاء در یک حفره قرار داده شده و مقدار پنج میلی‌لیتر از هر مایه تلقیح باکتری با پیپت بر روی ریشه نشاءها و خاک اطراف آن ریخته و روی ریشه در انتها با خاک پوشانده شد. در همان روز بعد از کاشت، آبیاری انجام شد.

روش تلقیح

برای تهیه مایه تلقیح ابتدا ۸ ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیتر از محیط نوترینت براث (Nutrient Broth) استفاده شد. برای تهیه ده میلی‌لیتر محیط نوترینت براث مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته شد و تحت شرایط استریل به یکی از ارلن مایرهای تهیه شده اضافه شد. ارلن مایرهای تلقیح شده با باکتری (۶ عدد) همراه با دو ارلن مایر تلقیح نشده به عنوان شاهد، روی شیکر انکوباتور با سرعت ۱۲۰ rpm و دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. مایه تلقیح از بخش بیولوژی خاک دانشگاه تبریز تهیه گردید. محلول‌پاشی به صورت برگ‌پاشی با غلظت‌های ذکر شده انجام گرفت، محلول‌پاشی در سه مرحله قبل و بعد از گلدهی به فواصل زمانی دوهفته انجام شد. مبانی انتخاب غلظت‌های مذکور مطالعات قبلی پوتربسین روی گیاهان دیگر بود.

اندازه‌گیری صفات

برخی اندازه‌گیری طول بوته، تعداد گل، قطر و تعداد میوه، عملکرد، وزن خشک ریشه و وزن خشک بوته، در زمان رشد گیاه اندازه‌گیری و بعد از اتمام مراحل فوق، شاخص‌هایی همانند میزان قند، اسیدیت، مواد جامد محلول (قند میوه)، سفتی بافت میوه، ویتامین ث و

بر حسب میزان اسید سیتریک موجود در عصاره محاسبه شد. (Fatahi Moghadam, 2017)

اندازه‌گیری سفتی گوشت و پوست میوه

برای اندازه‌گیری سفتی گوشت و سفتی پوست به‌وسیله سفتی‌سنج، قسمتی از پوست میوه به وسیله تیغه‌ای مخصوص جدا نموده و نوک فشارسنج در قسمتی از میوه که پوست آن حذف شد قرار داده شد و تا زمانی که نوک فشار سنج تا محل مورد نظر و تعیین شده وارد گوشت گردد با دست به دستگاه فشار آورده شد. در این آزمایش اندازه‌گیری سفتی بافت میوه به‌وسیله دستگاه سفتی‌سنج انجام شد و با استفاده از پروبی با قطر ده میلی‌متر از یک طرف میوه صورت گرفت و سفتی بافت بر حسب کیلوگرم قراعت شد (Wang et al., 2006).

اندازه‌گیری میزان ویتامین ث و لیکوپن

میزان ویتامین ث از طریق تیتراسیون با محلول رنگی دی‌کلروفل‌ایندوفنل انجام شد. در این روش اسید آسکوربیک، معرف رنگی ۲ و ۶ دی‌کلروفل‌ایندوفنول را به یک محلول بی‌رنگ احیا کرد و در پایان واکنش، محلول احیا شده در محیط اسیدی به رنگ صورتی گرایش پیدا کرد. در این روش دو میلی‌لیتر از عصاره میوه صاف شده را با دو میلی‌لیتر از محلول پایدار کننده تری‌کلرواستیک‌اسید مخلوط کرده و سپس با معرف مورد نظر و با استفاده از همزن مغناطیسی عمل تیتراسیون را تا زمان تغییر رنگ پایدار به صورتی ادامه یافت و بر اساس حجم ایندوفنل مصرفی در نمونه و استاندارد اسید آسکوربیک، میزان ویتامین ث اندازه‌گیری شد. (Adsule & Dan, 1979) به منظور اندازه‌گیری لیکوپن گوجه‌فرنگی از روش فیش و همکاران استفاده گردید (Fish et al., 2002). برای این منظور از بوتیرات هیدروکسی تولوئن، اتانول، استون، هگزان، یخ خرد شده استفاده شد. با استفاده از نمودار کالیبراسیون و فرمول زیر مقدار لیکوپن بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم محاسبه گردید. جهت رسم منحنی کالیبراسیون، غلظت‌های مختلف لیکوپن

در n- هگزان تهیه گردید. برای این منظور غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر لیکوپن در-n هگزان آماده گردید و مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۰۳ نانومتر ثبت و منحنی کالیبراسیون رسم گردید. طبق این روش جذب نمونه‌ها به این دلیل در ۵۰۳ نانومتر انتخاب شد تا از دخالت حضور سایر کاروتنوئیدها جلوگیری شود. بعد از کالیبراسیون مناسب دستگاه با هگزان جذب به‌ازای غلظت لیکوپن نشان داده شده در نمودار کالیبراسیون به‌دست آمد (فرمول ۱).

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های با استفاده از نرم افزار ۱۶ SPSS و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

طول بوته

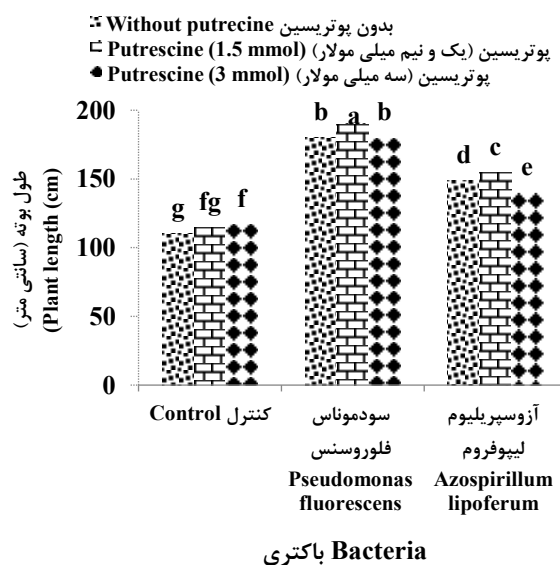
مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح با باکتری و اضافه نمودن پوتریسین نشان می‌دهد که گیاهان حاصل از تلقیح بذره‌های گوجه‌فرنگی که با باکتری سودوموناس فلورسنس و ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین محلول پاشی شده بودند بیشترین میانگین طول بوته را به‌میزان ۱۹۵ سانتی‌متر داشت و بعد از آن گیاهان تلقیح شده با همان باکتری و محلول پاشی شده با غلظت سه میلی‌مولار پوتریسین قرار داشتند. کمترین میانگین طول بوته (۱۰۹ سانتی‌متر) مربوط به سطوح شاهد باکتری و پوتریسین بود (شکل ۱). نتایج حاصل از این پژوهش مشخص می‌نماید که باکتری‌های محرک رشد گیاهی و پوتریسین منجر به افزایش طول بوته گوجه‌فرنگی شده است. به‌نظر می‌رسد این افزایش به دلیل تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی در افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، تولید سیدروفورهای محرک رشد مانند اکسین، سیتوکینین و کلونیزه شدن بیشتر باکتری‌ها و افزایش سطح و توان جذب مواد غذایی و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های

Figure 1- Mean comparison of the effect of bacteria and putrescine on plant height. Columns with the same letters do not have a significant statistical difference (Duncan 5%).

تعداد گل

مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح بذر با باکتری و محلول پاشی پوتریسین نشان می‌دهد که بذرهای تلقیح شده با باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفرورم* و محلول پاشی شده با سه میلی مولار پوتریسین با تولید ۳۵/۷۵ گل بیشترین میانگین تعداد گل را دارا بود. کمترین تعداد گل (۱۸) مربوط به تیمار بدون باکتری همراه با پوتریسین سه میلی مولار بود (شکل ۲). به‌طور کلی می‌توان گفت که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاهی و پوتریسین با افزایش توان جذب آب و مواد غذایی و همچنین سنتز بیشتر هورمون‌های گیاهی تسریع کننده رشد گیاه موجب تولید تعداد گل بیشتر در گیاهان تیمار شده می‌گردد. پوتریسین با نقش تنظیم‌کنندگی که در گیاه دارد سبب افزایش تقسیم سلولی و تمایز یابی سلول‌ها و جلوگیری از پیری گیاه به‌وسیله جلوگیری از کاهش کلروفیل و سنتز اتیلن می‌شود. از سوی دیگر پوتریسین عامل مهمی در سنتز قندها و کربوهیدرات‌ها می‌باشد. به‌نظر می‌رسد ممانعت از تولید اتیلن در کنار افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها موجب افزایش تعداد گل به دنبال محلول پاشی توسط هورمون پوتریسین شده است. از طرفی دیگر باکتری‌های محرک رشد گیاهی موجب بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، توسعه سیستم ریشه و جلوگیری از ریزش اندام هوایی، افزایش گره‌زایی و تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی می‌شود (Hokmalipour *et al.*, 2018). روی این اصل به نظر می‌رسد افزایش معنی‌دار تعداد گل به دلیل تقویت گیاه به دنبال افزایش جذب مواد غذایی و اثر باکتری‌های محرک رشد گیاهی در جلوگیری از ریزش اندام‌های هوایی باشد.

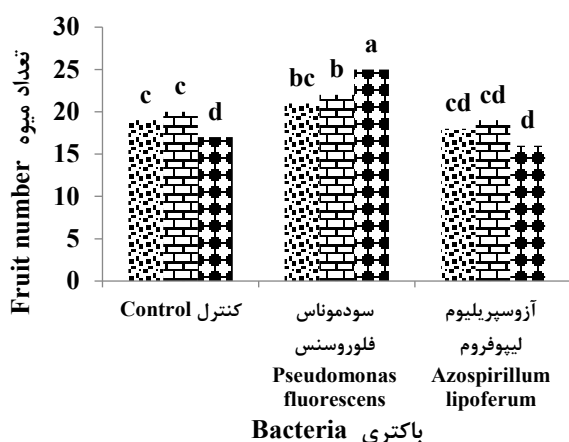
خشکی و کاهش تولید اتیلن بوده باشد (Hokmalipour *et al.*, 2018). پژوهشگران گزارش کردند که استفاده از کود بیولوژیک حاوی آزوسپریلیوم و ازتوباکتر در گیاه مریم‌گلی، سبب افزایش طول بوته گردید. این محققان اظهار داشتند که کودهای بیولوژیک حاوی ریزجانداران و جایگزینی آن‌ها با تنظیم‌کننده‌های رشد مصنوعی در بهبود ویژگی‌های رشدی از جمله طول بوته، قطر ساقه و ترکیبات اسانس گیاه مریم‌گلی کارایی بالایی دارند (Youssef *et al.*, 2004). در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که تلقیح گوجه‌فرنگی و آرابیدوپسیس با باکتری‌های محرک رشد سودوموناس نژاد UW4 تحت شرایط تنش از طریق کاهش تولید اتیلن و افزایش دیگر هورمون‌های تحریک‌کننده رشد موجب افزایش طول و قطر شاخساره گوجه‌فرنگی شدند (Belimov *et al.*, 2001). از آنجایی‌که هورمون پوتریسین در طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد و نمو گیاهان نقش دارد (Takahashi & Kakehi, 2009) به‌نظر می‌رسد محلول پاشی گوجه‌فرنگی با این هورمون موجب افزایش طول گیاه شده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر باکتری و پوتریسین بر طول بوته. ستون‌های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری ندارند (دانکن ۵ درصد).

معنی‌دار تعداد گل در گوجه‌فرنگی شده است. از آنجایی که باکتری‌های محرک رشد گیاهی جذب یون معدنی را از طریق تحریک پمپ پروتون ATPase افزایش می‌دهد و همچنین موجب افزایش جذب پتاسیم، نیتروژن و فسفر می‌شوند (Steinbachel, 2010)، به نظر می‌رسد با افزایش جذب مواد معدنی پر مصرف شرایط تغذیه‌ای مناسب برای افزایش تعداد میوه و در نهایت افزایش قطر میوه ایجاد شده باشد.

□ بدون پوتریسین
 ▨ پوتریسین (یک و نیم میلی مولار) Putrescine (1.5 mmol)
 ■ پوتریسین (سه میلی مولار) Putrescine (3 mmol)



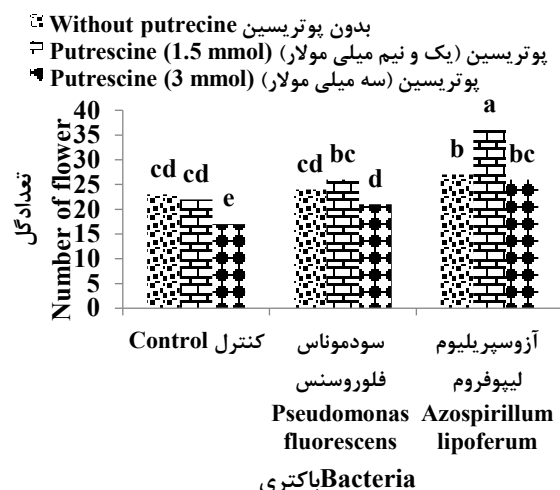
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر باکتری و پوتریسین بر تعداد میوه. ستون‌های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری ندارند (دانکن ۵ درصد)

Figure 2 - Mean comparison of the effect of bacteria and putrescine on the number of fruit .

Columns with the same letters do not have a significant statistical difference (Duncan 5%).

عملکرد

اثر متقابل تلقیح با باکتری و محلول‌پاشی پوتریسین بیان‌گر آن است که بذره‌ای تلقیح شده با باکتری سودوموناس فلوروسنس که با پوتریسین با غلظت ۱/۵ میلی مولار تیمار شده بودند با عملکرد ۱۶ کیلوگرم در بوته از بیشترین میانگین وزن میوه برخوردار بودند، که پس از آن باکتری‌های آزوسپیریلیوم لیپوفرورم و محلول‌پاشی شده با غلظت ۱/۵ میلی مولار پوتریسین بیشترین میانگین وزن میوه را داشتند (شکل ۴). کمترین میزان میانگین مجموع عملکرد میوه در شاهد



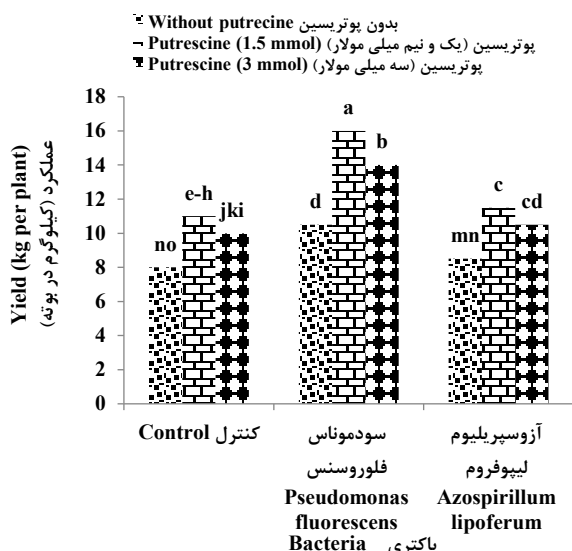
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر باکتری و پوتریسین بر تعداد گل. ستون‌های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری ندارند (دانکن ۵ درصد).

Figure 2 - Mean comparison of the effect of bacteria and putrescine on the number of flowers. Columns with the same letters do not have a significant statistical difference (Duncan 5%).

قطر و تعداد میوه

مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نشان می‌دهد بیش‌ترین (۶/۴۳ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۴/۵۰ سانتی‌متر) قطر میوه به ترتیب در کاربرد سودوموناس فلوروسنس و سطح شاهد باکتری محرک رشد گیاهی به‌دست آمد (جدول ۱). این در حالی بود که در کاربرد ۱/۵ میلی‌مول پوتریسین بیش‌ترین قطر میوه (۵/۷۰ سانتی‌متر) حاصل گردید. سطح شاهد پوتریسین کم‌ترین میزان قطر میوه (۴/۰۰ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد (جدول ۱).

در خصوص تعداد میوه مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح با باکتری و محلول‌پاشی پوتریسین نشان می‌دهد که بذره‌ای تلقیح شده با باکتری سودوموناس فلوروسنس که با غلظت سه میلی‌مولار پوتریسین تیمار شده بودند بیش‌ترین میانگین تعداد میوه به تعداد ۲۴/۷۵ میوه را تولید نمودند (شکل ۳). افزایش معنی‌دار در تعداد میوه به دنبال کاربرد پوتریسین و باکتری‌های محرک رشد گیاهی قبل انتظار بود. چرا که کاربرد پوتریسین در مطالعه حاضر موجب افزایش



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر باکتری و پوتریسین بر عملکرد. ستون‌های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری ندارند (دانکن ۵ درصد).

Figure 2 - Mean comparison of the effect of bacteria and putrescine on yield. Columns with the same letters do not have a significant statistical difference (Duncan 5%).

وزن خشک ریشه

نتایج نشان داد تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی موجب افزایش وزن خشک ریشه گوجه‌فرنگی شده است. بیشترین میانگین وزن خشک ریشه (۲۳۶/۴۳ گرم) در تیمار تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنتس به‌دست آمد. کمترین میانگین وزن خشک ریشه (۱۴۶/۷۵ گرم) مربوط به تیمار بدون باکتری بود (جدول ۲). محلول پاشی پوتریسین ۱/۵ میلی‌مولار موجب افزایش وزن خشک ریشه شد و بیشترین میانگین وزن خشک ریشه (۱۹۴/۲۱ گرم) در این تیمار به‌دست آمد. در یک مطالعه باکتری‌های محرک رشد گیاهی موجب افزایش ۲۶ تا ۱۸ درصد در وزن خشک ریشه‌ها و ۱۳ تا ۱۵ درصد طول ریشه‌ها شدند. این باکتری‌ها از تولید ریشه‌های اولیه جلوگیری کرده و موجب افزایش طول ریشه‌ها شدند (Bashan & Holguin, 2005). افزایش وزن خشک ریشه به دنبال کاربرد پوتریسین در مطالعه حاضر که در شرایط غیر تنش انجام شده است به‌نظر می‌رسد به دلیل استفاده

بدون باکتری و بدون پوتریسین (۷/۷۵ کیلوگرم در بوته) به‌دست آمد. محققین گزارش کردند که عامل اصلی در افزایش عملکرد توسط تلقیح با باکتری‌های محرک رشد، افزایش جذب نیتروژن و فسفر و افزایش قندهای محلول بوده است (Weller *et al.*, 1986).

محققین در یک آزمایش نشان دادند که سودوموناس osu142 و باسیلوس m3 به طور معنی‌داری شاخص‌های عملکرد در راسبیری را افزایش دادند (Turan *et al.*, 2006). آن‌ها این افزایش را به دلیل افزایش در جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم و منیزیم قابل دسترس در استفاده ترکیبی از هر دو نژاد دانستند. در یک تحقیق که تأثیر باکتری‌های محرک رشد را روی تغییر کیفیت میوه گوجه‌فرنگی بررسی کردند، نتایج نشان داد نژاد bs13 بیشترین درجه بازارپسندی و عملکرد میوه را نسبت به سایر نژادها به‌دلیل جذب فسفر و پتاسیم بیشتر داشت (Ordookhani *et al.*, 2010). در بررسی اثر پوتریسین و گلوتامین بر میزان عملکرد پیاز گزارش شده است که بیشترین میزان عملکرد و کیفیت مطلوب پیاز با محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گلوتامین به‌صورت ترکیبی یا جداگانه به‌دست آمد و این تیمارها اثر معنی‌داری بر میزان این صفات اعمال نموده‌اند (Amin *et al.*, 2011). نقش پوتریسین در افزایش رشد گیاهان در شرایط بدون تنش احتمالاً مربوط به اثر آنتی‌کسیداتیو، کمک به تعادل کاتیون-آنیون و یا احتمالاً عمل به‌عنوان منبع نیتروژن بوده است (Tang & Newton, 2004).

گیاه از پوتریسین به عنوان منبع نیتروژن بوده باشد. Tang & Newton (2004) استدال مشابهی در خصوص کاربرد پوتریسین در شریط غیر تنش و افزایش وزن گیاه ارایه کردند.

وزن خشک بوته

جدول مقایسه میانگین صفات نشان داد که تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی موجب افزایش وزن خشک بوته گوجه‌فرنگی رقم سیندا شده است (جدول ۲). بیشترین میانگین وزن خشک بوته (۶۸۲ گرم) در تیمار تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس حاصل شد. کمترین میانگین وزن خشک بوته (۲۳۷/۶۹ گرم) مربوط عدم تلقیح با باکتری بود. محلول‌پاشی پوتریسین موجب افزایش وزن خشک بوته شد و بیشترین میانگین وزن خشک بوته (۳۳۴/۶ گرم) در محلول پاشی ۱/۵ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۲). در گوجه‌فرنگی و آرابیدوپسیس تلقیح باکتری‌های محرک رشد سودوموناس از طریق کاهش تولید اتیلن و افزایش هورمون‌های تحریک کننده رشد موجب افزایش وزن خشک شاخساره در گوجه‌فرنگی و آرابیدوپسیس و کلزا می‌شود (Belimov et al., 2001). در تحقیقی که روی اثر پوتریسین و ترانس سینامیک اسید در گیاه ریحان انجام شده گزارش گردیده که هر دو این تیمارها هم در چین اول و هم در چین دوم میزان عملکرد اندام هوایی را به صورت معنی‌داری افزایش داده است (Amin et al., 2011). یک مطالعه با هدف بررسی پاسخ رشد، عملکرد، کیفیت و سوخت‌وساز برخی از ترکیبات پیاز به محلول پوتریسین و گلوتامین، به تنهایی یا در ترکیب با هم بررسی شد. کاربرد برگ (محلول‌پاشی) به تنهایی یا در ترکیب، موجب افزایش معنی‌دار طول بوته، تعداد برگ، وزن تر برگ، وزن خشک گیاه، سطح برگ، طول غده، قطر غده و وزن شد. همچنین عملکرد پیاز و کیفیت از نظر تمام قندهای محلول، ترکیبات گوگرد، کل محتوای فنول‌های محلول، کل اسیدهای آمینه آزاد و کل محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ‌ها را افزایش

داد (Amin et al., 2011). در تحقیقی که روی اثر پوتریسین و تیامین در گل کوب انجام شد، نتایج نشان داد که غلظت ۱۵۰ ppm پوتریسین بیشترین اثر را بر میزان طول گیاه، تعداد شاخه، تعداد برگ، وزن تر و خشک و قطر ساقه دارد. عملکرد و ویژگی‌های گل و محتوای کلروفیل گیاه نیز با اعمال این تیمار به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. یافته‌های فوق با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد (Mona et al., 2011).

اسیدیتته میوه

جدول مقایسه میانگین صفات نشان داد که تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی موجب افزایش اسیدیتته میوه گوجه‌فرنگی شده است. بیشترین میانگین اسیدیتته (۱/۱۳ درصد) در تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس به‌دست آمد. محلول‌پاشی پوتریسین موجب افزایش اسیدیتته میوه شد. بیشترین میانگین اسیدیتته به ترتیب در محلول پاشی با غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین با میانگین ۰/۸۶ و ۰/۷۵ به‌دست آمد که بیشتر از تیمار شاهد به میزان ۰/۵۶ درصد بود (جدول ۲).

مواد جامد محلول (قند میوه)

مقایسه میانگین صفات نشان داد میزان مواد جامد محلول میوه گوجه‌فرنگی رقم سیندا تحت تاثیر تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی افزایش یافت و بیشترین میانگین مواد جامد محلول در تیمار تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس به میزان ۶/۸۸ درصد حاصل شد (جدول ۲). کمترین میانگین مواد جامد محلول مربوط به تیمار شاهد با داشتن مواد جامد قابل حل به میزان ۵/۶ درصد بود. محلول‌پاشی پوتریسین نیز موجب افزایش مواد جامد محلول شد. بیشترین میانگین مواد جامد محلول به ترتیب در محلول پاشی با غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین با میانگین ۶/۴۷ و ۶/۴۱ درصد بدست آمد. که اختلاف معنی‌داری باشاهد داشت. کمترین میانگین مواد جامد محلول به میزان ۶/۱۴ درصد در میوه گیاهان شاهد حاصل گردید (جدول ۲). باکتری‌ها محرک رشد

گیاهی با هورمون‌های گیاهی نظیر ایندول استیک‌اسید، جیبرلین، کینیتین، سیدروفور، آنزیم ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC) دامیناز، تثبیت نیتروژن اتمسفر، حلالیت فسفات غیرمحلول و تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط توسط گیاه موجب افزایش رشد گیاه و تولید محصول در واحد سطح می‌شوند (Hokmalipour et al., 2018). به‌نظر می‌رسد قند میوه که محصول نهایی فتوسنتز است به دلیل افزایش فتوسنتز به دنبال کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی افزایش پیدا کرده است.

سفتی بافت میوه

با توجه به جدول مقایسه میانگین صفات مشخص می‌گردد که تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی موجب افزایش سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی شده است (جدول ۲). بیشترین میانگین سفتی بافت میوه در تیمار تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس به خود اختصاص داد و میانگین سفتی بافت میوه ۳/۲۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود و کمترین میانگین سفتی بافت میوه مربوط به تیمار شاهد به میزان ۳/۰۶ سانتی‌متر مکعب بود (جدول ۲). محلول پاشی ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین موجب افزایش سفتی بافت میوه شد که با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲).

ویتامین ث

مقایسه میانگین تاثیر تیمارها نمایانگر آن است که تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی موجب افزایش ویتامین ث در میوه گوجه‌فرنگی شده است (جدول ۲). بیشترین میانگین ویتامین ث در تیمار تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس به خود با میانگین ۱/۴۱ درصد در ۱۰ میلی‌لیتر عصاره میوه بود که با شاهد اختلاف معنی‌دار نشان داد و کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد به میزان ۵/۶۱ درصد بود (جدول ۲). محلول پاشی پوتریسین موجب افزایش ویتامین ث در میوه شد. بیشترین میانگین این صفت به ترتیب در محلول پاشی با غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین با میانگین ۷/۲۳ و ۶/۹۳ درصد

به‌دست آمد (جدول ۲). نتایج تحقیقات محققان نشان دادند که چهار نوع باکتری محرک رشد، باسیلوس نژاد BA-8، M3، OSU-7، OSU-142 موجب افزایش ترکیبات شیمیایی میوه گوجه‌فرنگی به ویژه رنگ، قند، اسیدیته، ویتامین ث نسبت به شاهد شدند. تاثیر مثبت آن‌ها به دلیل توانایی تثبیت نیتروژن، افزایش حلالیت فسفر، آهن در نتیجه تشکیل رنگدانه بیشتر کلروفیل، افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی مانند هیدرات‌های کربن و در نتیجه افزایش مواد جامد محلول (قندها)، و افزایش رنگیزه‌های ایزوپروپونوئید (پلیمر هیدرات کربن) کاروتن مانند لیکوپن، افزایش تولید سیدروفورهای محرک رشد، مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، و در نتیجه افزایش تولید اسیدهای آلی و افزایش اسیدیته، اثر مستقیم اکسین‌ها و سایر هورمون‌ها روی تشکیل میوه و تغییرات در ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی میوه می‌باشد (Ordookhani et al., 2010).

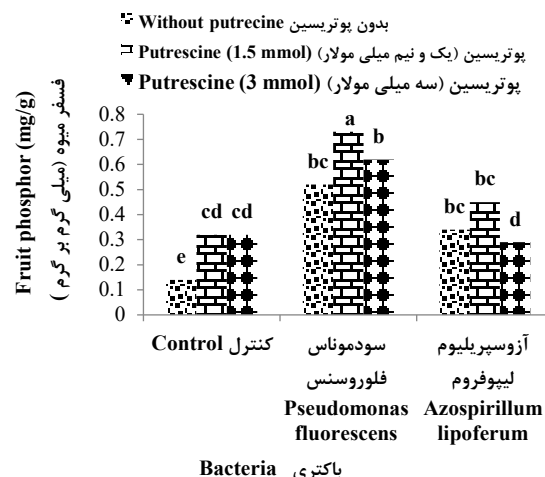
میزان فسفر میوه

مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح با باکتری و محلول پاشی پوتریسین نشان می‌دهد که بذره‌ای تلقیح شده با باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم که با غلظت سه میلی‌مولار پوتریسین محلول پاشی شدند بیشترین میانگین فسفر میوه را به میزان (۰/۷۲۵) میلی‌گرم در گرم وزن خشک داشتند که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۵). در آزمایشی در رابطه با تاثیر پوتریسین و ترانس‌سینامیک‌اسید روی ریحان مشخص شد کاربرد این تیمارها سبب افزایش رشد (طول گیاه، تعداد شاخه، وزن تر و خشک) و درصد اسانس ریحان به‌صورت محلول پاشی روی برگ شد. بررسی منابع نشان می‌دهد باکتری‌های محرک رشد گیاهی جذب مواد غذایی از خاک را افزایش می‌دهند. باکتری‌های محرک رشد گیاهی جذب یون معدنی را از طریق تحریک پمپ پروتون ATPase افزایش می‌دهد و همچنین موجب افزایش جذب پتاسیم، نیتروژن و فسفر می‌شوند (Steinbachel, 2010).

یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر متقابل پوتریسین و باکتری محرک رشد گیاهی برای این صفت معنی‌دار نبود. مقایسات میانگین اثر تلقیح با باکتری و محلول پاشی پوتریسین نشان می‌دهد که بذره‌ای تلقیح شده با باکتری سودوموناس فلورسانس بیشترین میانگین نیتروژن میوه را به میزان ۲/۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک داشت و از نظر تاثیر پوتریسین بر میزان نیتروژن میوه، تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین بیشترین میزان (۲/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) داشت که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۳ میلی‌مولار پوتریسین نداشت (جدول ۲). پژوهشگران نشان دادند که کودهای زیستی، آلی مانند باکتری‌های محرک رشد گیاهی و ژئولیت جذب عناصر نیتروژن، فسفر، و پتاسیم را افزایش دادند. سازوکار این افزایش از طریق افزایش حلالیت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم از طریق تولید اسیدهای آلی، تثبیت نیتروژن و سیدروفورهای حل‌کننده فسفات بود (Salehi *et al.*, 2011).

میزان لیکوپن میوه

مقایسه میانگین تیمارها مشخص کرد که تلقیح با باکتری موجب افزایش میزان لیکوپن میوه شد. بیشترین میزان لیکوپن در میوه (۸۰ میکروگرم بر گرم وزن میوه) در تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسانس حاصل گردید که با تیمارهای شاهد و تلقیح با باکتری *آزوسپیریلیوم لیپوفرورم* تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۲). استفاده از باکتری محرک رشد گیاهی به‌عنوان یک کود زیستی علاوه بر این که موجب افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی می‌شود موجب افزایش ویژگی‌های کیفی میوه مانند لیکوپن و ویتامین ث می‌گردد. رنگ گوجه‌فرنگی یکی دیگر از فاکتورهای خیلی مهم در انتخاب محصول توسط مصرف‌کنندگان می‌باشد. لیکوپن یکی از رنگدانه‌های کاروتنوئیدی می‌باشد که در طی رسیدن میوه تشکیل می‌شود و مسئول تشکیل رنگ قرمز در میوه‌ها می‌باشد. نسبت دو رنگدانه لیکوپن و بتاکاروتن تعیین‌کننده رنگ



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر باکتری و پوتریسین بر فسفر میوه.

Figure 5- Mean comparison of the effect of bacteria and putrescine on fruit phosphor. Columns with the same letters do not have a significant statistical difference (Duncan 5%).

میزان پتاسیم میوه

تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی موجب افزایش پتاسیم برگ گوجه‌فرنگی رقم سیندا شد. بیشترین میانگین پتاسیم برگ در تیمار تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسانس به خود اختصاص داد. میانگین پتاسیم برگ میوه ۳۵/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود که اختلاف معنی‌دار با شاهد داشت (جدول ۲). کمترین میانگین پتاسیم برگ مربوط به تیمارشاهد به میزان ۷ میلی‌گرم در گرم بود. محلول‌پاشی پوتریسین موجب افزایش پتاسیم برگ شد. بیشترین میانگین پتاسیم برگ به ترتیب در محلول‌پاشی با غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین با میانگین ۲۰/۵۷ و ۱۸ میلی‌گرم در گرم وزن تازه به‌دست آمد (جدول ۲). افزایش جذب پتاسیم به دنبال کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی توسط برخی محققان نیز گزارش شده است (Steinbachel, 2010).

نیتروژن میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاهی و پوتریسین بر محتوای عنصر نیتروژن در سطح احتمال

گوجه‌فرنگی رسیده می‌باشد که ارتباط مستقیمی با میزان قند میوه دارد (Dorais *et al.*, 2008). همانند ویتامین ث، میزان لیکوپن نیز ارتباط زیادی با میزان عناصر دارد. پتاسیم یکی از عناصری است که نقش فعالی در چرخه تولید پروتئین و بیوسنتز کاروتنوئیدها دارد و به همین دلیل مقدار آن ارتباط مستقیمی با میزان لیکوپن میوه دارد (Rouphael *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

عملکرد میوه در گیاه گوجه‌فرنگی مهم‌ترین صفت مورد بررسی حداقل در این تحقیق حاضر به طور مثبت متأثر از تیماری‌های مورد استفاده قرار گرفت. تلقیح بذر با باکتری *سودوموناس فلورسنس* همراه با پوتریسین با غلظت ۱/۵ میلی مولار بیشترین عملکرد میوه را به دنبال داشت (۱۶ کیلوگرم در بوته). کمترین میزان عملکرد میوه در عدم تلقیح با باکتری و بدون پوتریسین (۷/۷۵ کیلوگرم در بوته) به دست آمد. مقایسه کمترین و بیشترین میزان عملکرد میوه نشان داد کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* همراه با پوتریسین با غلظت ۱/۵ میلی مولار موجب افزایش بیش از ۴۸ درصدی در عملکرد میوه در این تحقیق شده است. علاوه بر عملکرد میوه، نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که باکتری‌های محرک رشد گیاهی به همراه پوتریسین موجب افزایش در میزان مواد جامد محلول (قند)، اسیدپتئ، ویتامین ث میوه شده است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و یافته‌ها و نظریات سایر محققین در رابطه با سازوکار عمل پوتریسین در افزایش میزان عملکرد گیاه و بهبود کیفیت محصول، می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل این که پوتریسین عضوی از پلی آمین‌های فعال گیاه بوده و بخشی از متابولیسم‌های ترکیبات نیتروژنی را شامل می‌شود می‌تواند نقش تامین کنندگی نیتروژن را در گیاه داشته و سبب افزایش رشد و عملکرد کلی گیاه گردد. از طرفی پوتریسین با نقش تنظیم کنندگی که در گیاه دارد سبب افزایش تقسیم و تمایز سلولی و جلوگیری از پیری گیاه به وسیله جلوگیری از کاهش کلروفیل و سنتز اتیلن می‌شود. علاوه بر این پوتریسین اثر

هم‌افزایی بر میزان آنزیم‌های گیاهی داشته و موجب سنتز بیشتر آنزیم‌ها می‌شود. در این آزمایش متناسب با تلقیح با باکتری محتوای لیکوپن میوه‌ها نیز افزایش یافته است و استفاده از پوتریسین هم تواسسته است تأثیر مثبتی بر لیکوپن میوه داشته باشد. با مرور نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان بیان داشت که استفاده از باکتری محرک رشد به عنوان یک کود زیستی علاوه بر این که موجب افزایش عملکرد می‌شود، قابلیت افزایش ویژگی‌های کیفی میوه مانند لیکوپن و ویتامین ث را نیز دارا می‌باشد. با توجه به این که در تحقیق حاضر بالاترین میزان عملکرد (۱۶ کیلوگرم در بوته) در تیمار ۱/۵ میلی مولار پوتریسین و تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس* به دست آمد، توصیه می‌شود از سطح دوم پوتریسین و تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس* استفاده گردد

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی باکتری و پوتریسین بر ویژگی‌های رشدی گوجه فرنگی

Table 1 - Mean Comparison of main effects of bacteria and putrescine on tomato growth characteristics

Table 1. Mean comparison of main effects of bacteria and putrescine on tomato growth characteristics											
تیمار Treatments		قطر میوه (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)	اسید میوه (میلی گرم در ده سی سی عصاره)	مواد جامد (درصد)	ویتامین ث (میلی گرم در ده سی سی عصاره)	سفتی میوه (کیلو گرم/سانتی‌متر مکعب)	وزن خشک بوته (گرم)	میوه پتاسیم (میلی گرم بر گرم وزن خشک)	لیکوپن (میکروگرم بر گرم وزن میوه)	میوه نیتروژن (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
		Fruit diameter (cm)	Root dry weight (gr)	Fruit acid (Mg per 10 cc of extract)	Soluble solids (%)	(Mg per 10 cc of extract)	Fruit firmness (Kg / cm3)	Plant dry weight (gr)	Fruit potassium (Mg/g dry weight)	Lycopene (Micrograms per gram of fruit weight)	Fruit Nitrogen (Mg/g dry weight)
باکتری (Bacteria)	Control	4.5 ^c	164.75 ^c	0.45 ^b	4.01 ^c	5.61 ^c	2.56 ^b	237.69 ^c	7.00 ^a	60 ^c	1.52 ^c
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6.43 ^a	236.43 ^a	1.13 ^a	6.88 ^a	8.41 ^a	3.21 ^a	682.00 ^a	35.06 ^a	80 ^a	2.66 ^a
	<i>Azospirillum lipoferum</i>	5.37 ^b	180.00 ^b	0.83 ^b	5.60 ^b	6.46 ^b	3.09 ^b	385.13 ^b	27.12 ^b	65 ^b	2.09 ^b
پوتریسین (Putrescine)	Control	4.00 ^c	140.92 ^c	0.53 ^b	6.14 ^b	5.82 ^b	2.25 ^b	295.64 ^b	18.03 ^c	55 ^b	1.52 ^c
	1.5 mmol	5.71 ^a	194.21 ^a	0.86 ^a	6.47 ^{ab}	7.23 ^a	3.28 ^a	334.6 ^a	20.57 ^c	58 ^{ab}	2.38 ^a
	3 mmol	4.89 ^b	168.75 ^b	0.65 ^b	6.87 ^a	6.97 ^b	3.13 ^{ab}	297.57 ^b	18.50 ^d	62 ^a	2.23 ^{ab}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according Duncan test (P<0.05)

References

- Adsule, P.G., & Dan, A. (1979). Simplified extraction procedure in the rapid spectrophotometric method for lycopene estimation in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, (2), 22-38.
- Amin, A.A., Fatma, A.E., Gharib, M., El-Awadi, El-Sherbeny, M., & Rashad, M. (2011). Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. *Scientia Horticulturae*, 129, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.052>
- Bashan, Y., & Holguin, G. (2005). zospirillum/plant relationship: environmental and physiological advances. *Canadian Journal of Microbiology*, 43, 103-121.: <https://doi.org/10.1139/m96-147>
- Belimov, A.A., Safronova, V.I., Sergeyeva, T.A., Egorova, T.N., Matveyeva, V.A., Tsyganov, V.E., Borisov, A.Y., Tikhonovich, I.A., Kluge, C., Preisfeld, A., & Dietz, K.J. (2001). Characterization of plant growth-promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(7), 642-652. <https://doi.org/10.1139/w01-062>
- Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen – Total. In *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties* (pp. 595-624). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>
- Cakmakci, R., Erat, M., Erdoman, U.G., & Donmez, M.F. (2007). The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 288-295. <https://doi.org/10.1002/jpln.200521805>
- Dehghani Mashkani, M.R., Naghdi Badi, H., Darzi, M.T., Mehrafarin, A., Rezazadeh, Sh., & Kadkhoda, Z. (2011). The effect of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of Shirazian baboonch (*Matricaria recutita* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 38, 35-48. (In Persian)
- Dorais, M., Ehret, D.L., & Papadopoulos, A.P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7, 231-250. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x>
- Fatahi Moghadam, J., Seyedghasemi, S.E., & Madani, S. (2017). The effect of five rootstocks on physical, mechanical and chemical characteristics of Yashar fruits – a new Mandarin-during ripening stages. *Journal of Plant Production*, 24(2), 109-123. (In Persian)
- Fish, W.W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J.K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 309-317. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1069>
- Hokmalipour, S., Panahiane-Kivi, & Shirie-Janagard, M. (2018). The effect of seed inoculation with *Azotobacter* and *Azospirillum* on yield and some qualitative and quantitative characteristics of safflower at different planting dates. *Journal of Water and Soil*, 32(5), 931-942. (In Persian)
- Kazemi, M. (2013). Influence of foliar application of 5-sulfosalicylic acid, malic acid, putrescine, and potassium nitrate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. 'Selva'. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 7, 93-101.
- Khademi, O., & Akbari, A. (2016). The effects of putrescine treatment on the yield and quality of strawberry fruit cv. Camarosa. The First National Symposium of Small Fruits. (In Persian)
- Khoshkhatti, N., Eini, & Koolivand, D. (2023). Effect of mycorrhizal fungus *Rhizoglosum irregulare* on the infection of tomato with Tomato bushy stunt virus.

- Journal of Applied Research in Plant Protection, 12(2), 199-209. (In Persian)
- Mohammadrezakhani, S., Hajilou, J., & Rezanejad, F. (2018). Effect of foliar spray with putrescine and proline on some physiological characteristics of peel and pulp of two Citrus species in response to low temperature stress. *Pomology Research*, 3(1), 1-13. (In Persian)
- Mona, H., Mahgoub, N.G., Abd El Aziz, M., & Azza, M.A.M.T. (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering, and photosynthetic pigments. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 10(5), 769-775.
- Nilam, M., Gribbon, P., Reinshagen, J., Cordts, K., Schwedhelm, E., Nau, W.M., & Hennig, A. (2017). A label-free continuous fluorescence-based assay for monitoring ornithine decarboxylase activity with a synthetic putrescine receptor. *SLAS DISCOVERY: Advancing Life Sciences R&D*, 2(7), 906-914.
<https://doi.org/10.1177/2472555217705210>
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., & Page, A.L. (1982). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties of Phosphorus. ASA Monograph, 9, 403-430.
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24>
- Ordookhani, K., Khavazi, K., Moezzi, A., & Rejali, F. (2010). Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*, 5(10), 1108-1116.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., & Colla, G. (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 127, 172-179.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.019>
- Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2007). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. ICARDA.
- Saleh Hosseini, Z. (2003). Common Methods in Food Analysis. Shiraz University Press, 45 p. (In Persian)
- Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Asgharzade, A. (2011). The effect of zeolite, PGPR, and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(2), 188-201. (In Persian)
- Soltani Tularud, A.A., Ziyatbarahmadi, S., Esmailpour, B., Khawazi, K., & Fathul Uloomi, S. (2014). Investigating the effect of plant growth-stimulating bacteria and used mushroom compost on the growth and performance of tomato plant (*Lycopersicon esculentum*). *Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 29(3A), 285-296. (In Persian)
- Steinbachel, A. (2010). Plant Growth and Health-Promoting Bacteria. New York: Springer Heidelberg Dordrecht.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-13612-2>
- Takahashi, T., & Kakehi, J.I. (2009). Polyamines: ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. *Annals of Botany*, 105(1), 1-6.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcp251>
- Tang, W., & Newton, R.J. (2004). Increase of polyphenol oxidase and decrease of polyamines correlate with tissue browning in Virginia pine (*Pinus virginiana* Mill.). *Plant Science*, 167, 621-628.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.04.028>
- Turan, M., Ataoglu, N., & Sahin, F. (2006). Evaluation of the capacity of phosphate-solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28, 99-108.
https://doi.org/10.1300/J064v28n03_09
- Wang, J., Teng, T., & Yu, Y. (2006). The firmness detection by excitation dynamic characteristics for peach. *Food Control*,

- 17, 353–358.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.11.003>
- Weller, D.M., & Cook, R.J. (1986). Increased growth of wheat by seed treatments with fluorescent pseudomonads and implication of Pythium control. Canadian Journal of Plant Pathology, 8, 328-334.
<https://doi.org/10.1080/07060668609501803>
- Youssef, A.A., Edris, A.E., & Gomaa, A.M. (2004). A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormone-producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. plants. Annals of Agricultural Science, 49, 299-311.