

Effect of Application Type of Plant Growth Promoting Bacteria on Growth, Yield and Nutrient Uptake of French lettuce under Hydroponic Culture

Asghar Akbarzadeh¹, Sahebali Bolandnazar^{2*} , Mohammadreza Sarikhani³, Zahra Ranjuoi¹

Received: August 5, 2023

Accepted: March 15, 2024

1- Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2-Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3-Associated Prof., Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Corresponding Author: Email: bolandnazar@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Nowadays, in order to achieve the maximum production, it is inevitable to use the soil microbial potential especially plant growth promoting bacteria (PGPB). Plant growth-promoting bacteria can enhance nutrient uptake efficiency, strengthen the root system, and increase the plant's resistance to environmental stresses, thereby contributing to improved growth and product quality. The aim of the present experiment was to investigate the use of several plant growth-promoting bacteria and their application method effects on growth, yield, and nutrient absorption in lettuce in hydroponic system.

Material and Methods: For this purpose, to investigate the effect of PGPB with half the concentration of Hoagland's nutrient solution on the growth characteristics and nutrient uptake of French lettuce under hydroponic conditions, a factorial experiment was carried out in the form of a randomized complete block design with three replications. The first factor was using PGPB including (*Pseudomonas* sp. C16-2O, *Enterobacter cloacae* S16-3, *Ensifer* sp. 3MDP-1) and the second factor was type of inoculation and how to use these bacteria; in the form of foliar spraying, adding to the planting bed (root inoculation) and using them simultaneously.

Results: The results showed that the use of *Ensifer* sp. 3MDP-1 bacteria in the form of addition to the substrate along with foliar spraying had the highest plant fresh weight (169.05 g) and the highest number of leaves (27.66). Foliar spraying of bacteria along with adding to the bed and also using as a foliar spray had a better result on the leaf surface area (respectively 2852.15 and 2781.2 cm²) than the method of adding to the bed. The simultaneous application of *Pseudomonas* sp. C16-2O bacterium, at the aerial and root parts, it showed the greatest effect on the lettuce root fresh (25.96 g) and dry weight (3.46 g). The treatment of adding *Pseudomonas* sp. C16-2O bacterium to the substrate with leaf spraying resulted in the production of total chlorophyll of lettuce leaves (35.8) and antioxidant property of lettuce leaves (0.16 µg/mg), while all traits in the control was less than inoculated treatments.

Conclusion: The results of this experiment, in addition to proving the growth-stimulating effects of bacteria in inoculated plants compared to the control without inoculation, showed that the simultaneous use of bacteria in the form of leaf spraying and application in the substrate (root inoculation) intensifies the positive effects of bacteria.

Keywords: Chlorophyll, Hydroponics, Biofertilizer, Lettuce, Leaf Spraying,

تأثیر روش استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه بر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی کاهوی فرانسوی در شرایط آب‌کشت

اصغر اکبرزاده^۱، صاحبعلی بلندنظر^{۲*}، محمدرضا ساریخانی^۳، زهرا رنجوری^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: bolandnazar@tabrizu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: امروزه برای دستیابی به تولید حداکثر محصول، استفاده از پتانسیل میکروبی خاک بویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه اجتناب‌ناپذیر است، باکتری‌های محرک رشد با ارتقای کارایی جذب عناصر غذایی، تقویت سیستم ریشه‌ای و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی، می‌توانند به بهبود رشد و کیفیت محصول کمک کنند. هدف از آزمایش حاضر بررسی کاربرد چند باکتری محرک رشد گیاه و نحوه کاربرد آنها بر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی در کاهو در آب‌کشت بود.

مواد و روش‌ها: بدین منظور برای بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه با نصف غلظت محلول غذایی هوگلند بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی کاهوی فرانسوی در شرایط هیدروپونیک، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل (*Enterobacter cloacae* S16-3، *Pseudomonas* sp. C16-20 و *Ensifer* sp. 3MDP-1) و فاکتور دوم نحوه استفاده از باکتری‌های فوق (به صورت محلول‌پاشی برگ، اضافه کردن به بستر کاشت و استفاده هم‌زمان از دو روش) بود.

یافته‌ها: استفاده از باکتری 3MDP-1 به صورت اضافه کردن در بستر به همراه برگ‌پاشی، منجر به بیشترین وزن تر بوته (۱۶۹/۰۵ گرم) و بیشترین تعداد برگ (۲۷/۶۶) شد. روش استفاده باکتری‌های محرک رشد گیاه چه به صورت استفاده هم‌زمان، یا کاربرد برگ‌پاشی نتیجه بهتری بر سطح برگ (به ترتیب ۲۸۵۲/۱۵ و ۲۷۸۱/۲ سانتی‌مترمربع) نسبت به روش اضافه کردن در بستر داشت. کاربرد هم‌زمان باکتری C16-20، در قسمت هوایی و ریشه بیشترین تأثیر را بر وزن تر (۲۵/۹۶ گرم) و خشک (۲/۴۶ گرم) ریشه نشان داد. تیمار اضافه کردن در بستر به همراه برگ‌پاشی باکتری C16-20، منجر به تولید بیشترین کلروفیل کل برگ کاهو (۲۵/۸) و خاصیت آنتی اکسیدانی برگ کاهو (۰/۱۶ میکروگرم بر میلی‌گرم) گردید، در حالیکه همه صفات در شاهد کمتر از تیمار با باکتری‌ها بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این آزمایش علاوه بر اثبات اثرات محرک رشدی باکتری‌ها در گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد بدون

تلقیح، نشان داد که استفاده همزمان باکتریها به صورت برگ پاشی و کاربرد در بستر (تلقیح ریشه) اثرات مثبت باکتریها را تشدید می نماید.

واژه های کلیدی: برگ پاشی، کود زیستی، کاهو، کلروفیل، هیدروپونیک

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) سبزی برگي یک ساله، که محصول فصل سرد و از تیره Asteracea است، که بصورت تازه خوری و سالاد استفاده می شود (لابدا و همکاران ۲۰۰۷). با توجه به افزایش تقاضای مصرف این سبزی، سطح تولید و کشت آن در سال های اخیر به دلیل بازارپسندی، خواص دارویی و داشتن ویتامین های مختلف از جمله A، C، B9 و K و همچنین مواد معدنی مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز و آهن در حال افزایش است. تمایل به پرورش این سبزی به دلیل دارا بودن سلولز بالا که نقش مهمی در بهبود هضم غذا دارد، در حال افزایش می باشد (ورنییر و همکاران ۲۰۰۶). در بسیاری از گلخانه های تجاری دنیا، کاهو از جمله محصولات است که به روش هیدروپونیک (آبکشت) پرورش داده می شود و تمامی عناصر ضروری و مورد نیاز به صورت محلول در آب در اختیار آن قرار می گیرد، سبزی های برگي به دلیل تراکم زیاد گیاه و همچنین محدودیت محیطی ریشه به ویژه در شرایط هیدروپونیک نیازمند مدیریت دقیق تغذیه کودی هستند (سوندی و همکاران ۲۰۰۱). لذا تهیه درست محلول غذایی از ارکان مدیریت موفق در گلخانه محسوب می شود، ترکیب محلول غذایی باید به صورتی باشد که تمام نیازهای گیاه را از نظر عناصر غذایی ضروری برآورده نماید که گاهی برای تغذیه مناسب برخی از عناصر به ویژه فسفر بیش از نیاز گیاه در اختیار آن قرار می گیرد، همچنین محدودیت برخی عناصر در طبیعت لزوم بالا بردن کارایی مصرف عناصر را ضروری ساخته است (جونز ۲۰۰۴). بنابراین مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی منجر به آلودگی های زیست محیطی می شود. استفاده از کودهای زیستی و

مدیریت تلفیقی با کودهای شیمیایی نه تنها موجب افزایش عملکرد و بالا رفتن کارایی مصرف عناصر می شود بلکه باعث جلوگیری از تخریب محیط زیست نیز می شود (سوداکار و همکاران ۲۰۰۰). در این بین استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم های کشاورزی، یکی از ارکان اصلی سامانه های مبتنی بر کشاورزی پایدار می باشد که با هدف کاهش قابل ملاحظه و مصرف نهاده های شیمیایی است (دهقانی بیدگلی و همکاران ۲۰۲۰). ایده بازگشت به طبیعت و استفاده کم تر از کودها و سم های شیمیایی و تمایل فزاینده مردم به استفاده از محصولات ارگانیک سبب توجه بیش از پیش به استفاده از کودهای زیستی شده است. به همین علت توجه به عملکرد سامانه های بیولوژیک و تلفیقی لازم است (ساریخانی و امینی ۲۰۲۱). همچنین لازمه استفاده از کودهای زیستی برای تامین قسمتی از نیازهای کودهای گیاهان زراعی و کاهش کودهای شیمیایی بیش از پیش احساس می شود (بلندنظر و همکاران ۲۰۱۴). باید توجه داشت که مقادیر کم عناصر موجود در محلول غذایی ارائه شده منجر به کمبود می شود و در حالی که مقادیر بیش از حد عناصر مواد غذایی، موجب سمیت یونی، عدم تعادل یونی و ایجاد تنش اسمزی می شود (ساواس و همکاران ۱۹۹۹). مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه در راستای کشاورزی پایدار بوده و می تواند باعث افزایش محصول در واحد سطح، تامین امنیت غذایی، تغذیه متعادل و تولید محصول سالم و ارتقای سطح سلامت جامعه و همچنین کاهش اثرات تنش های غیرزیستی و زیستی در گیاه شود (ماهاجان ۲۰۰۹). باکتری های محرک گیاه (PGPR)^۱ نیز از انواع کودهای زیستی محسوب می شود که امروزه کاربرد مهمی در سامانه های کشاورزی پایدار در راستای

^۱ - Plant Growth Promoting Rhizobacteria

دستیابی به عملکرد مطلوب محصول و افزایش کیفیت آن دارند، و از این بین می‌توان به باکتری‌های (سودوموناس، انتروباکتر و انسیفرا) اشاره کرد. باکتری‌های محرک رشد به گروهی نامتناس از باکتری‌های ریزوسفری اطلاق می‌شود که با استفاده از چنین فرآیندهای منحصر به فرد باعث بهبود و افزایش شاخص‌های عملکردی کمی و کیفی از جمله رشد و نمو گیاه می‌گردد (کلپر و همکاران ۱۹۸۹). PGPRها شامل باکتری‌های احاطه‌کننده ریشه هستند که باعث افزایش رشد در گیاه می‌شوند. امروزه PGPRها به عنوان زادمایه میکروبی به شکل کنترل‌گرهای زیستی یا کودهای زیستی استفاده می‌شوند (ساریخانی و امینی ۲۰۲۱). این باکتری‌های محرک رشد، به صورت مستقیم و غیرمستقیم باعث افزایش عملکرد رشد گیاه و نقش مهمی در تامین نیاز گیاهان به عناصر دارند (بلندنظر و همکاران ۲۰۲۰). این باکتریها با مشارکت در سازکارهای جذب عناصری شامل نیتروژن و همین طور جذب افزایش قابلیت عنصرهای کانی نامحلول فسفر به صورت مستقیم و با مشارکت در سازکارهای کاهش اثرات زیان‌آور پاتوژن‌های گیاهی با ایجاد مقاومت سیستمیک گیاهان از طریق تولید سیانید هیدروژن، آنزیم‌ها، سیدروفورها و آنتی‌بیوتیک‌ها می‌شوند (ماهر ۲۰۱۹). همچنین باعث افزایش و تولید هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکنین، اکسین، جبرلین و کاهش تولید اتلین که در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود (ساریخانی و امینی ۲۰۲۰). کشت هیدروپونیک دارای مزایای زیادی از جمله تولید محصولات با عملکرد بالا و یکنواخت، مدیریت جامع عناصر غذایی نسبت به سطح کشت حاکی است، امروزه با توجه به کاربرد زیاد باکتری‌های زیستی محرک رشد این پژوهش در گلخانه هیدروپونیک دانشگاه تبریز با هدف بررسی تاثیر تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه (شامل انسیفرا، سودوموناس و انتروباکتر) و همچنین نوع کاربرد آنها (برگ‌پاشی، تلقیح ریشه و استفاده همزمان) بر میزان جذب و تحریک عناصر غذایی از ریشه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها (روش تحقیق)

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک

دانشکده کشاورزی تبریز واقع در شرق تبریز منطقه خاوران بر روی گیاه کاهوی فرانسوی (*Lactuca sativa*) Lollo Rosso انجام گرفت. آزمایش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. فاکتور اول شامل استفاده از سه گونه باکتری‌های محرک رشد (*Pseudomonas* sp. C16-20) و (*Enterobacter cloacae*) S16-3 و (*Ensifer* sp. 3MDP-1) و شاهد بدون تلقیح با باکتری بود. شایان ذکر است که در مورد نمونه‌های کنترل (شاهد) صرفاً از محیط کشت NB استریل فاقد باکتری استفاده شد و فاکتور دوم نحوه کاربرد باکتری‌ها شامل (محلول‌پاشی برگ، تلقیح با ریشه و تلقیح همزمان ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگ) بود. مایه تلقیح باکتری‌ها از آزمایشگاه بیولوژی خاک گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز تهیه شد. باکتری‌های مورد استفاده در این تحقیق طی سالهای اخیر از خاکهای منطقه آذربایجان جداسازی شده‌اند و ویژگیهای محرک رشدی آنها نظیر انحلال فسفات، آزادسازی پتاسیم یا تولید هورمون اکسین و همچنین اثربخشی آنها بر رشد گیاه در مطالعات مختلف مشخص شده است (ساریخانی و همکاران ۲۰۲۰؛ ساریخانی و همکاران ۲۰۱۸). باکتری‌های فوق در محیط کشت عمومی NB تکثیر شدند و پس از رسیدن به OD مطلوب، از بستر باگاس و پرلیت استریل (۱:۱) به منظور تهیه زادمایه جامد استفاده شد (ساریخانی و همکاران ۲۰۲۰). شمارش جمعیت میکروبی حاکی از وجود جمعیت 10^8 CFU/g در این بستر بود. تلقیح باکتریها در گلدانها به صورت زیر انجام شد: (۱) تلقیح بستر کشت: برای این منظور به مقدار ۲ گرم از زادمایه تهیه شده به بستر افزوده شد. (۲) استفاده زادمایه به صورت برگ‌پاشی: جهت انجام این تیمار از باکتری‌های تکثیر شده در محیط NB استفاده شده و پس از رقیق‌سازی آن در آب مقطر استریل (۵۰٪) برای برگ‌پاشی گیاهان استفاده شد. (۳) تلقیح همزمان به بستر کشت و برگ‌پاشی. به منظور اطمینان از کلنیزاسیون باکتریها در محیط ریشه و همچنین فیلوسفر تلقیح بستر کشت و برگ‌پاشی در دو نوبت (یک هفته و چهار هفته بعد از نشاءکاری) انجام گرفت. همچنین گیاهان روزانه در طول دوره‌ی رشد با محلول هوگلند (نصف غلظت)، تغذیه و

DPPH تعیین گردید. برای این منظور ۰/۱ گرم برگ گیاه با دو میلی لیتر متانول اسیدی مخلوط و با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد (کلوا و همکاران ۲۰۰۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. برای نرمال سازی داده‌ها از نرم افزار SPSS و برای مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون توکی (LSD در سطح ۵ درصد) انجام شده و نمودارهای با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

وزن تر بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده باکتری‌ها و روش اعمال آنها و همچنین اثر متقابل این دو بر وزن تر بوته، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین نشان داد که گیاهان تلقیح شده با باکتری (*Ensifer* sp. 3MDP-1) هم در بستر کاشت و هم به همراه برگ‌پاشی بیشترین (۱۶۹/۰۵ گرم) و گیاهان شاهد کمترین (۱۲۲/۰۸ گرم) وزن تر بوته را داشتند (جدول ۲).

آبیاری شدند. نشاءهای کاهو در گلدان‌های به حجم ۲ لیتر در بستر ۱ به ۳ کوکوپیت و پرلیت نشاء شدند و سپس بعد از گذشت یک هفته از هر کدام از باکتری‌های مذکور در تیمارهای مربوطه به مقدار ۲ گرم به بستر اضافه شد، تلقیح مجدد باکتری‌ها سه هفته بعد دوباره تکرار شد. پس از اتمام رشد، تمام بوته‌ها از طوقه برش داده شد. وزن تر بوته، تعداد برگ، اندازه سطح برگ، وزن تر و خشک و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین سطح برگ از دستگاه برگ سنج (مدل Li 1300 Li_cor_model) استفاده شد، تمام برگ‌ها از ساقه جداسازی شده و به‌صورت تجمعی در واحد سانتی‌مترمربع ثبت گردید و تعداد برگ‌ها با شمارش برگ‌های بالغ هر بوته مشخص شد. همچنین حجم ریشه‌ها به روش تعیین اختلاف حجم آب در یک استوانه مدرج ۵۰۰ میلی‌لیتری محاسبه گردید. در این آزمایش پس از رشد کامل برگ‌ها شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (مدل SPAD_502) اندازه‌گیری شد، این دستگاه بدون تخریب برگ از هر چند برگ تازه توسعه یافته در هر تیمار، به طور تصادفی ۱۰ عدد نمونه‌گیری انجام گرفت و نهایتاً میانگین این‌ها به عنوان شاخص کلروفیل برای هر تیمار مدنظر قرار گرفت. در این تحقیق، برای اندازه‌گیری فسفر موجود در برگ از روش رنگ سنجی واناتات مولیبدات استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، این ویژگی از طریق خنثی‌کنندگی آزاد

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه و روش استفاده آنها بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی کاهو فرانسوی.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر بوته	تعداد برگ	سطح برگ	میانگین مربعات	
					وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
نوع باکتری (T)	۳	۲۸۱۵/۷۲**	۲۵/۱۱۶**	۱۶۱۷۴۶۷**	۲۰۷/۸۳**	۰/۹۲**
روش اعمال (M)	۲	۲۷۲/۲۵**	۱۸/۷۷**	۲۷۵۱۸۴**	۷/۶۱**	۰/۱۳**
T×M	۶	۹۰/۲۱**	۴/۵۵**	۳۸۷۶۱ ^{ns}	۸/۴۷**	۰/۲۰**
خطای آزمایش	۲۴	۷/۴۵	۰/۷۲	۷۶۱/۶۱	۰/۸۱۴	۰/۰۲
ضریب تغییرات (CV)	%	۱/۹۴	۳/۸۶	۵/۰۵	۳/۸۲	۵/۴۷

** بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد. ns اختلاف غیر معنی دار است.

کاهو گیاهی است که استفاده از برگ آن به عنوان سبزی مورد توجه است، تمام باکتری‌های مورد استفاده در تمام روش‌های کاربردی در مقایسه با شاهد باعث افزایش این پارامتر شدند و بیشترین اثر افزایشی در بین تیمارها مربوط به باکتری *Ensifer sp.* 3MDP-1 بود. این باکتری از جمله باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن است و علاوه بر آن سایر ویژگی‌های محرک رشد گیاه نظیر انحلال فسفر، آزادسازی پتاسیم و تولید اکسین از آن گزارش شده است (ساریخانی و همکاران، ۲۰۲۰). به نظر می‌رسد تلقیح ریشه گیاه با این باکتری و برگ‌پاشی همزمان آن با اثرات هورمونی این باکتری بر گیاه همراه بوده و باعث ازدیاد برگ و بیوماس برگ شده است، این موضوع با نگاهی به نتایج تعداد برگ (جدول ۲) آشکار می‌گردد. همچنین گزارشاتی وجود دارد که استقرار باکتری‌ها در فیلسفر برگ از رشد بیماری‌ها و آفات در بخش سبزی گیاهی ممانعت به عمل می‌آورد. در مطالعه‌ی لی و همکاران (۲۰۱۳) اذعان داشتند که باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش عملکرد بیوماس گیاه شوند، این فرآیند با به تاخیر انداختن زمان گلدهی انجام می‌گیرد، همچنین وزن

قسمت هوایی و ریشه، پتاسیم، فسفر و کارایی مصرف آب با تیمار باکتری محرک رشد بطور معنی داری افزایش یافت و استقرار باکتری‌های محرک رشد در سیستم ریشه‌ای با افزایش فراهمی عناصر همراه بوده و در نتیجه باعث تاثیر آن‌ها بر رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌شود. باکتری‌های محرک رشد با تثبیت نیتروژن، حل نمودن فسفات‌های کم محلول و همچنین از طریق تولید ترکیبات کلات کننده آهن نظیر سیدروفورهای میکروبی موجب جذب بهتر عناصر شده و با تولید فیتوهورمون‌هایی تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، جیبرلین و سائیتوکینین و همچنین کاهش تولید اتیلن باعث بهبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند (کلپر و همکاران، ۱۹۸۹). نتایج پژوهش ما با یافته‌های چن و همکاران (۱۹۹۴) همسو هست که اعلام کردند برگ‌پاشی با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش عملکرد می‌شود. در آزمایش دیگری استیکن و همکاران (۲۰۱۰) مشخص کردند که برگ‌پاشی باکتری‌های محرک رشد اثر معنی‌داری بر رشد، عملکرد و میزان روی و فسفر توت‌فرنگی داشت.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل برخی باکتری‌های محرک رشد و روش مصرف آنها بر وزن تر بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه در کاهوی فرانسوی

روش اعمال تیمار	نوع باکتری	وزن تر بوته (g)	تعداد برگ	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)
در بستر	Control	۱۱۴/۳۳ ^f	۱۷/۶۶ ^d	۱۷/۵۶ ^d	۲/۱۹ ^d
	C16-2O	۱۴۱/۷۵ ^d	۲۲/۶۶ ^c	۲۳/۳۱ ^c	۲/۵۰ ^c
	S16-3	۱۳۶/۰۴ ^c	۲۱/۳۳ ^c	۲۵/۹۵ ^b	۲/۹۱ ^b
	3MDP-1	۱۴۹/۴۱ ^c	۲۲/۳۳ ^c	۲۵/۱۶ ^b	۲/۸ ^b
برگ پاشی	Control	۱۲۳/۹۸ ^f	۱۶/۶۶ ^d	۱۸/۳۶ ^d	۲/۲۵ ^d
	C16-2O	۱۵۱ ^{bc}	۲۴ ^b	۲۶/۵۸ ^b	۲/۹۶ ^b
	S16-3	۱۴۳/۲۴ ^d	۲۳/۳۳ ^b	۲۵/۶۹ ^b	۲/۸۱ ^b
	3MDP-1	۱۵۵/۰۷ ^b	۲۳/۶۶ ^b	۲۵/۰۲ ^b	۲/۷۸ ^b
کاربرد همزمان	Control	۱۱۸/۹۵ ^f	۱۸/۶۶ ^d	۱۹/۷۸ ^d	۲/۳۲ ^d
	C16-2O	۱۴۲/۲۲ ^d	۲۴/۳۳ ^b	۲۹/۷۱ ^a	۳/۴۹ ^a
	S16-3	۱۴۹/۲۸ ^c	۲۴/۳۳ ^b	۲۶/۳۱ ^b	۲/۸۴ ^b
	3MDP-1	۱۶۹/۰۵ ^a	۲۷/۶۶ ^a	۲۵/۹۶ ^b	۲/۶ ^b

حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

(*Pseudomonas sp.* C16-2O) و (*Enterobacter cloacae* S16-3) و (*Ensifer sp.* 3MDP-1)

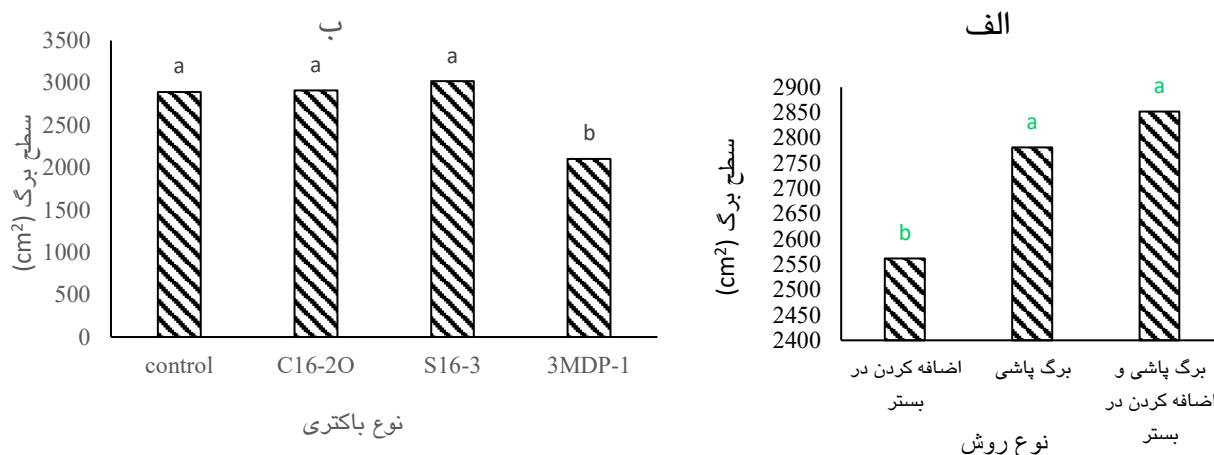
تعداد برگ

اثر روش مصرف و نوع باکتری های محرک رشد و همچنین اثر متقابل تیمارها بر تعداد برگ کاهوی فرانسوی معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده ها نشان داد (جدول ۲) مصرف همزمان باکتری 3MDP-1 در بستر ریشه برگپاشی آن منجر به تولید بیشترین تعداد برگ (۲۷/۶۶) و تیمار شاهد کمترین (۱۷/۶۶) تعداد برگ را داشت. تاثیر مثبت باکتری های محرک رشد بر طول ساقه و تعداد برگ را شاید بتوان به تولید هورمون های رشد مانند جیبرلین ها، سیتوکینین و اکسین نسبت داد. این هورمون ها بر رشد ساقه و افزایش تعداد برگ تاثیرگذار هستند، این باکتری ها علاوه بر انحلال و فراهمی جذب بهتر عناصر ضروری قادر به تولید بیشتر هورمون های رشد نیز می باشد. هورمون سیتوکینین که این باکتری ها توانایی قابل ملاحظه ای در تولید آن دارند، در تقسیم سلولی و هورمون اکسین در رشد سلولی باعث هم افزایی و رشد برگ گیاه شده که موجب افزایش تعداد آن می شود (ساریخانی و همکاران ۲۰۲۰). همچنین کاوینو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که گیاهان تلقیح شده با باکتری های محرک رشد در مقایسه با شاهد دارای تعداد برگ بیشتر، ساقه ای ضخیم و ارتفاع بیشتر بودند، همچنین حسن زاده و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که کاربرد کودهای زیستی سبب افزایش جذب عناصر غذایی ضروری از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه میشود که این امر منجر به بهبود رشد رویشی و افزایش تعداد برگ ها در عملکرد گیاه می شود، که در آزمایش نیز تاثیر مثبت این باکتری ها بر جذب فسفر (نمودار ۵) همراه بود.

سطح برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد تاثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر اندازه سطح

برگ داشت اما اثر متقابل بین تیمارها معنی دار نبود. مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد روش مصرف برگپاشی به همراه اضافه کردن در بستر و همچنین استفاده به صورت برگپاشی نتیجه بهتری نسبت به روش اضافه کردن در بستر داشت (شکل ۱-الف). در بررسی اثر نوع باکتری محرک رشد مشاهده شد همه باکتری ها باعث افزایش سطح برگ نسبت به شاهد شدند (شکل ۱-ب). به نظر می رسد افزایش سطح برگ بوته را بتوان به دلیل تاثیر گذاری این باکتری ها در همکنش کربن با نیتروژن و عوامل بیوشیمیایی دیگر و همچنین به میزان ذخیره فسفات نسبت داد، چنانچه لارسن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که میکروارگانیسم های حل کننده ی فسفات موجب تحریک رشد و افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه می شوند، البته با توجه به تولید هورمون جیبرلین در اندام های اصلی مانند برگ ها و تاثیر مستقیم آن در رشد طولی سلولی و همچنین افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه از طریق سازکارهای مختلف مانند تولید آنزیم ACC دآمیناز، به نظر می رسد افزایش سطح برگ ها با به کارگیری باکتری های محرک رشد رابطه ی مستقیم داشته باشند. آنزیم ACC دآمیناز توسط تعداد زیادی از باکتری های محرک رشد در گیاه تولید می شود، این آنزیم مانع تولید اتیلن می شود. محتوای ACC گیاهی از طریق ریشه های گیاه به PGPR ها منتقل می شود و ACC دآمیناز ACC را به آمونیاک و آلفا کتوبوتیرات تجزیه می کند و این امکان را به این باکتری ها می دهد که از ACC به عنوان تنها منبع نیتروژن استفاده کنند. برخی شواهد به دست آمده از مطالعات لوسی و همکاران (۲۰۰۴) نشان می دهد که تلقیح گیاه با باکتری های محرک رشد در افزایش شاخص های متعددی از جمله افزایش سطح برگ با نتایج به دست آمده از این تحقیق هم خوانی دارد.



شکل ۱- الف) اثرات ساده روش مصرف باکتری‌های محرک رشد، ب) اثرات ساده نوع باکتری محرک رشد بر سطح برگ کاهوی فرانسوی.

وزن تر ریشه

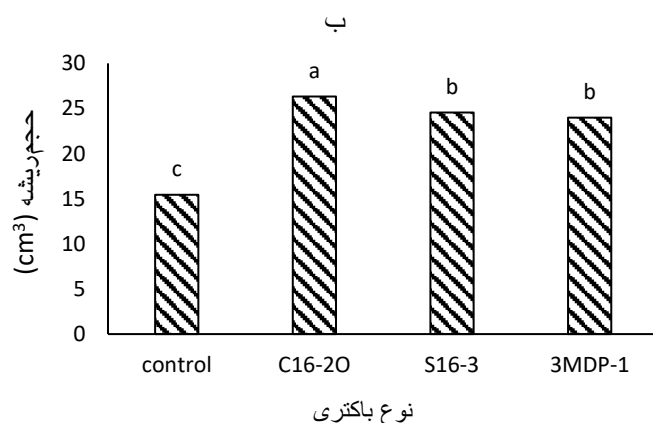
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد و اثر متقابل بین تیمارها بر وزن تر ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اضافه کردن باکتری C16-20 در بستر به همراه برگ‌پاشی باکتری C16-20، دارای بیشترین (۲۵/۹۶ گرم) وزن تر ریشه و کمترین آن در تیمار شاهد (۱۷/۰۶ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). تحریک ریشه‌زایی یکی از اصلی‌ترین نقش‌های هورمون اکسن است که سبب تقسیم سلولی مریستم انتهایی ریشه می‌شود، به گزارش ژائو (۲۰۱۰) باکتری‌هایی نظیر *Pseudomonas* آنزیم تریپتوفان ۲-مونواکسیژناز و آنزیم هیدرولاز که یکی از شناخته شده‌ترین مسیرهای سنتز IAA است، تریپتوفان را تبدیل به ایندول استیک اسید می‌کند، همچنین این گونه از قوی‌ترین حل‌کنندگان فسفات به شمار می‌رود و اصلی‌ترین سازکار آن با تولید اسیدهای آلی در انحلال فسفات معدنی انجام می‌گیرد. یکی دیگر از این باکتری‌هایی که نقش تولید اکسین را دارد، باکتری از جنس *Enterobacter* است (ساریخانی و همکاران ۲۰۲۰). تلقیح گیاهان با این باکتری‌ها اغلب

باعث تغییراتی در ساختار ریشه از جمله افزایش تعداد تارهای کشنده و ریشه‌های جانبی می‌شود (اسپاین، ۲۰۰۸).

وزن خشک ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد و اثر متقابل بین تیمارها بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار روش اضافه کردن در بستر به همراه برگ‌پاشی باکتری C16-20، دارای بیشترین بر وزن خشک ریشه کاهو (۳/۴۶ گرم) و کمترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد (۲/۱۹ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). یکی از توانایی باکتری‌های همزیست محرک رشد تبدیل عناصر مهم مغذی غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس است که این امر منجر به افزایش ریشه‌دهی، گسترش ریشه و افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شود (ابرهیمی و همکاران ۲۰۱۰)، افزایش حلالیت برخی از عناصر غذایی از قبیل پتاسیم و فسفر و همچنین تولید فتوسیدروفورهای آهن و سنتز آنزیم‌های دخیل در رشد و نمو گیاهان به عنوان اثرات مستقیم این ریزموکودات

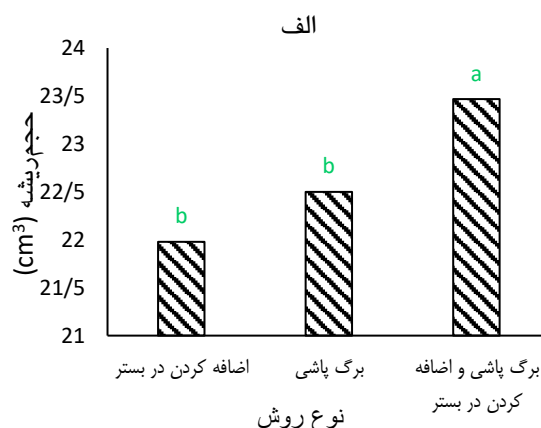
معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر حجم ریشه کاهوی فرانسوی داشت، اما اثر متقابل بین تیمارها معنی دار نبود. مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد روش مصرف برگپاشی به همراه اضافه کردن در بستر نتیجه بهتری نسبت به دیگر روش ها داشت (شکل ۲- الف) و در بررسی اثر نوع باکتری محرک رشد مشاهده شد باکتری C16-20 باعث افزایش حجم ریشه (۲۳/۴۶ سانتی مترمکعب) نسبت به دیگر باکتری ها شد این درحالی بود که کمترین حجم ریشه (۱۵/۳۳ سانتی مترمکعب) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲- ب).



شناخته شده است (لوسی و همکاران ۲۰۰۴). همچنین سوگوماران و همکاران (۲۰۰۷) اعلام کردند که گیاه در اثر تلقیح با باکتری های آزادکننده عناصر نسبت به شاهد بدون باکتری وزن خشک ریشه، اندام هوایی و مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه تاثیرگذار بود. ساجید و همکاران (۲۰۰۸) نیز اعلام کردند که افزایش وزن خشک ریشه گیاهان تلقیح شده با PGPR به علت افزایش تولید هورمون و جذب عناصر می باشد.

حجم ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد تاثیر



شکل ۲- الف) روش مصرف باکتری های محرک رشد، ب) نوع باکتری محرک رشد بر حجم ریشه کاهوی فرانسوی.

تامین و جذب فسفر و پتاسیم توسط ریشه برای رشد گیاه اهمیت حیاتی دارد، به گزارش ساریخانی و همکاران (۲۰۲۰) گیاهان تیمار شده با PGPR عملکرد بهتری در طول و حجم ریشه دارند، همچنین این روند مطالعاتی روی گیاه ذرت نیز مشاهده شده است. بنابراین باکتری های محرک رشد با استقرار در سیستم ریشه و تاثیر خود در گیاه با افزایش فراهمی عناصر و محافظت گیاه از پاتوژن ها باعث رشد بهتر ریشه و اندام هوایی می شود.

در پژوهشی که لی و همکاران (۲۰۱۳) انجام داده اند گزارش شد که حجم ریشه و قسمت هوایی، فسفر، پتاسیم و کارآیی مصرف آب با تیمار باکتری محرک رشد بطور معنی داری افزایش یافت. ساریخانی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعات خود نشان دادند که باکتری های (*Pseudomonas sp.*, C16_20) باعث افزایش محتوای فسفر و پتاسیم در ریشه و اندام هوایی می شوند، این باکتری ها می توانند پتاسیم و فسفر را حل کرده و شکل زیستی این مواد معدنی را تامین کنند، پتاسیم و فسفر دو عنصر پرمصرف مهم برای رشد گیاه هستند پس

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر باکتری‌های محرک رشد و روش استفاده آنها بر شاخص کلروفیل و خاصیت آنتی اکسیدانی و غلظت فسفر در کاهو فرانسوی

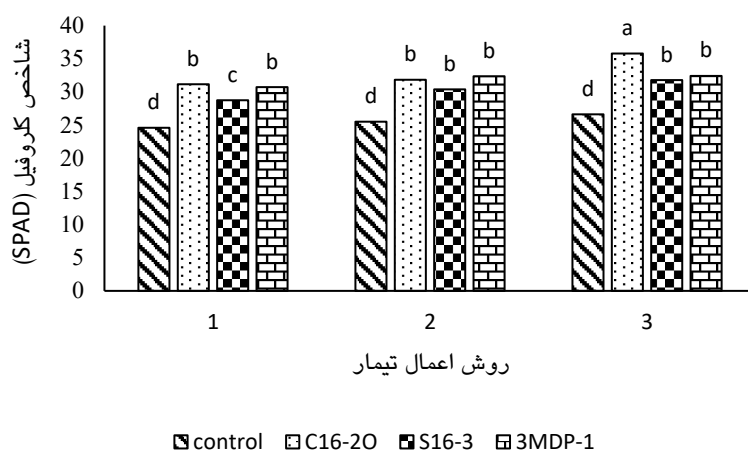
میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	DPPH	فسفر
نوع باکتری (T)	۳	۱۰۴/۹۹**	۰/۰۰۲۵**	۰/۰۱۴۸**
روش اعمال (M)	۲	۱۳/۲۴**	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۱۴۴**
T×M	۶	۵/۸۰**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۳۷**
خطای آزمایش	۲۴	۰/۵۰	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۷
ضریب تغییرات (%)	-	۲/۳۵	۰/۶۷	۸/۶۱

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد و اثر متقابل بین تیمارها بر کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار روش اضافه کردن در بستر به همراه برگ‌پاشی باکتری C16-20، بیشترین تاثیر را بر کلروفیل کل برگ کاهو (۳۵/۸) داشت و کمترین تاثیر آن در تیمار شاهد (۲۸/۷۶) مشاهده شد (شکل ۳).

با توجه به افزایش جذب منیزیم و آهن که نقش اساسی در ساختمان فتوسنتزی دارد به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش کلروفیل نیز همین امر باشد، بیان شده است که باکتری *سودوموناس* بر میزان کلروفیل تأثیر معنی‌داری داشته است، که این دلیل افزایش کلروفیل را به افزایش فعالیت‌های آنزیمی از جمله پراکسیداز و کاتالاز که نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارند نسبت داد، بنابراین می‌توان گفت که با افزایش میزان کلروفیل، فتوسنتز و در نهایت میزان اسیمیلاسیون و کربوهیدرات در گیاه افزایش یافته و بر تجمع مواد خشک تولیدی مؤثر واقع می‌شود (کاوینو و

همکاران ۲۰۱۰). البته غلظت بالاتر کلروفیل را می‌توان به افزایش جذب فسفر نسبت داد چرا که بیرون آمدن تریوز فسفات‌ها و رها شدن فسفات‌ها از کلروپلاست به وسیله فسفر تنظیم می‌شود (خلدبرین و اسلامزاده ۲۰۰۱). در مطالعه که ساجید و همکاران (۲۰۰۸) در مورد بررسی قرار دادند مشاهده کردند که اثر ریزجانداران محرک رشد در ذرت موجب افزایش معنی‌داری در محتوای کلروفیل و کارتنوئید شده است. همچنین ریبادو و همکاران (۱۹۹۸) افزایش کلروفیل را به بالارفتن میزان نیتروژن، تولید اکسین و توانایی تولید نیترات ردوکتازی در گیاه نسبت دادند. نتایج اگامبردیوا (۲۰۰۷) در بررسی بر روی گیاه ذرت تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد از جمله *سودوموناس* بیان داشتند که افزایش سبزیگی برگ می‌تواند از مکانیسم‌های افزایش جذب نیتروژن در ذرت باشد، نتایج این تحقیق با نتایج ما مطابقت دارد، همچنین دورسان و همکاران (۲۰۱۰) طی محلولپاشی سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد روی گیاهانی مثل گوجه و خیار، شاهد افزایش میزان جذب نیتروژن، منگنز و منیزیم در گیاه بودند که در راستای آن میزان کلروفیل برگ هم افزایش یافت.



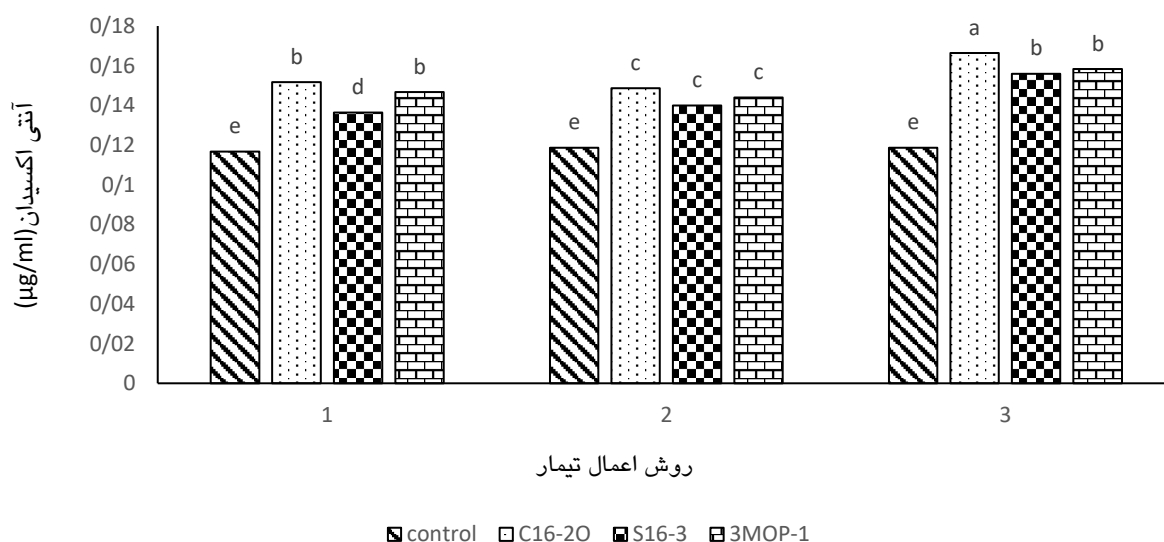
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر روش مصرف و نوع باکتری های محرک رشد بر شاخص کلرفیل کاهوی فرانسوی.

(روش های اعمال) 1- اضافه کردن در بستر 2- برگ پاشی 3- برگ پاشی و اضافه کردن در بستر

در بستر به همراه برگ پاشی باکتری C16-20، بیشترین تاثیر را بر خاصیت آنتی اکسیدانی برگ کاهو (۰/۱۶) میکروگرم بر میلی گرم) داشت و کمترین تاثیر آن در تیمار شاهد (۰/۱۱) میکروگرم بر میلی گرم) مشاهده شد (شکل ۴).

خاصیت آنتی اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) نشان داد که روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد و اثر متقابل بین تیمارها بر خاصیت آنتی اکسیدانی برگ های کاهوی فرانسوی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمار روش اضافه کردن



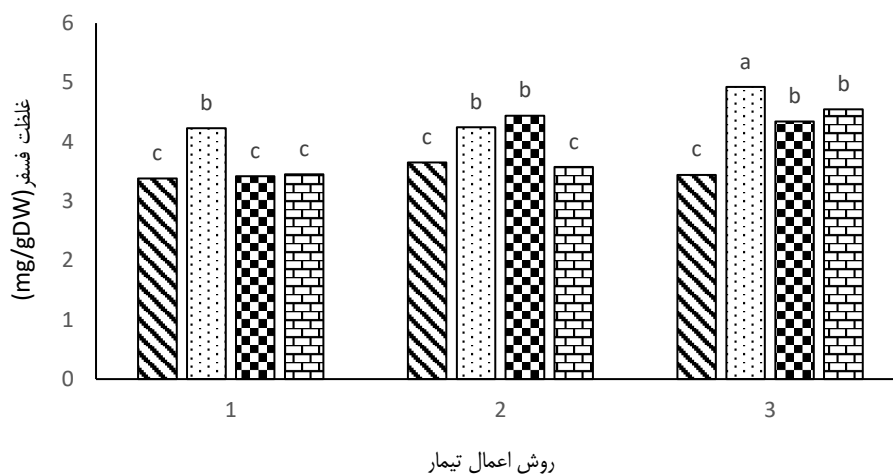
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر روش مصرف و نوع باکتری های محرک رشد بر شاخص آنتی اکسیدانی گیاه کاهوی فرانسوی.

(روش های اعمال) 1- اضافه کردن در بستر 2- برگ پاشی 3- برگ پاشی و اضافه کردن در بستر

آنزیمی آنتی اکسیدانی به طور قابل توجهی تحت تیمار با S16-3 و C16-20 افزایش یافته است (نشاط و همکاران ۲۰۲۰). در پژوهشی دیگر نیز تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه فرنگی تأیید شده است (شیخ علیپور و همکاران ۲۰۲۰).

فسفر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۳) روش مصرف و نوع باکتری محرک رشد و اثر متقابل بین تیمارها بر غلظت فسفر در ماده ی خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار روش اضافه کردن در بستر به همراه برگ‌پاشی باکتری C16-20، دارای بیشترین غلظت فسفر برگ کاهو (۴/۹۲mg/g) و کمترین آن در تیمار شاهد (۳/۳۸mg/g) مشاهده شد (شکل ۵).



■ control □ C16-20 ■ S16-3 ■ 3MDP-1

شکل ۵- مقایسه میانگین اثر روش مصرف و نوع باکتری‌های محرک رشد بر غلظت فسفر کاهوی فرانسوی. (روش‌های اعمال) 1- اضافه کردن در بستر 2- برگ پاشی 3- برگ پاشی و اضافه کردن در بستر

اشاره کرد که با تولید اسیدهای معدنی و آلی موجب افزایش اسیدیته ریزوسفر شده، که این عمل نیز باعث فراهمی و افزایش عناصر غذایی برای گیاه می‌شود. همانطور که در تحقیق کادوسو و کوپپر (۲۰۰۶) بیان داشتند در اکثر گیاهانی که با PGPR تیمار شده‌اند، افزایش جذب پتاسیم را نسبت به شاهد مشاهده شد که

فعالیت مهار DPPH نشان دهنده فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاهان و عصاره برگ است (لیو و همکاران ۲۰۰۷). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مطالعه حاضر نشان داد که تلقیح گیاه با باکتری‌های محرک رشد همچون *Pseudomonas* sp. C16-20 باعث عدم آسیب‌های ROS مانند تجمع H_2O_2 و پراکسیداسیون لیپیدی غشایی می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که گیاهان تیمار شده با PGPR دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی بهتری نسبت به شاهد هستند. همچنین، این افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ممکن است با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش سطح محتوای اسید آمینه‌های مختلف مانند پرولین مرتبط باشد. بتول و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که باکتری‌های محرک رشد دارای محتوای پارامترهای بیوشیمیایی مانند مالون دی آلدئید کمتری است، همچنین گزارش شده که سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به عنوان اولین دفاع

در گزارشی ساندهیا و همکاران (۲۰۱۰) اعلام داشتند که باکتری‌های محرک رشد با سازوکارهای مختلف سعی در انحلال ترکیبات معدنی از جمله ترکیبات کم محلول مانند فسفر و تبدیل فرم آلی آن به فرم معدنی توسط آنزیم فسفاتاز (ساریخانی و همکاران ۲۰۱۴) را دارند، از جمله این باکتری می‌توان به سودوموناس‌ها

دارد. بر اساس یافته های این تحقیق استفاده همزمان از باکتری های محرک رشد به صورت اضافه کردن به بستر گیاه و برگ پاشی برگی میتواند بهترین عملکرد را داشته باشد و در جذب عناصر و تحریک تولید هورمون ها و آنزیم ها در استفاده همزمان از PGPR باعث بهبود شاخص های کیفی و جذب فسفر در نهایت عملکرد برگی کاهو می شود.

سپاسگزاری

مقاله ی حاضر بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد بوده که در گلخانه و آزمایشگاه های گروه باغبانی و بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شده است که بدینوسیله نویسندگان مقاله از حمایت های دانشگاه تبریز قدردانی می نمایند.

به دنبال این افزایش، جذب فسفر نیز افزایش می یابد در واقع این گونه میتوان توجیه کرد که افزایش جذب فسفر باعث توسعه بهتر ریشه و استفاده بهینه از آب و عناصر (سایتشا و همکاران ۲۰۰۶) شده و در نتیجه منجر به افزایش عملکرد اندام هوایی و بیوماس گیاهی (ساریخانی و همکاران ۲۰۲۰) و همچنین باعث افزایش میزان کلروفیل برگ که دلیلی بر افزایش فتوسنتز است باعث عملکرد بهتر گیاه میشود (خلدبرین و اسلامزاده ۲۰۰۱).

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که تلقیح باکتری های محرک رشد از سه جنس سودوموناس، انتروباکتر و انسيفر تاثیر معنی داری روی عملکرد گیاه

منابع مورد استفاده

- Ahmad M, Nadeem SM, Naveed M and Zahir ZA. 2016. Potassium-solubilizing bacteria and their application in agriculture. *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*, 293(2): 313-325. http://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_21
- Ajit NS, Verma R and Shanmugam V. 2006. Extracellular chitinases of fluorescent *Pseudomonads* antifungal to *Fusarium oxysporum* f. sp. dianthi causing carnation wilt. *Current Microbiology*, 52(4): 310-316. <https://doi.org/10.1007/s00284-005-4589-3>
- Akiyoshi DE, Regier DA and Gordon MP. 1987. Cytokinin production by agrobacterium and pseudomonas spp. *Journal of Bacteriology*, 169(9): 4242-4248. <https://doi.org/10.1128/jb.169.9.4242-4248.1987>
- Batoolv T, Ali S, Seleiman MF, Naveed NH, Ali A, Ahmed K and Mubushar M. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports*, 10(1): <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73489-z>
- Bolandnazar S, Khorsandi S and Adlipor M. 2014. The effect of biological fertilizer (fertilizer phosphate 2) on the yield and some qualitative traits of edible onion (*Allium cepa* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(2): 19-30. (In Persian with English Abstract).
- Bolandnazar S, Karimi K and Sarikhani M. 2020. The effect of plant growth stimulating bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological traits of Iranian leek (*Allium ampeloprasum* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1): 121-136. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/ws.2021.44215.2402>
- Cardoso IM and Kuyper TW. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116(1-2): 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011>
- Chang CH and Yang SS. 2009. Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation. *Bioresource Technology*, 100(4): 1648-1658. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.009>
- Chen Y, Mei R, Lu S, Liu L and Kloepper JW. 1994. The use of yield increasing bacteria as PGPR in Chinese agriculture. *Management of soil borne diseases*, Narosa Publishing House, New Delhi, India.

- Dehghani Bidgoli R and Ghiaci Yekta M. 2019. Investigating the effect of plant growth-promoting rhizobacteria (*Pseudomonas putida* R112) on essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. under irrigation of urban purified wastewater. *Journal of Medicinal Plants*, 18(72): 212-226.
<http://dx.doi.org/10.29252/jmp.4.72.S12.212>
- Dobbelaere S, Vanderleyden J and Okon Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2): 107-149. <https://doi.org/10.1080/713610853>
- Dursun A, Ekinici M and Dönmez MF. 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pakistan Journal Botany*, 42(5): 3349-3356.
- Ebrahimi A, Moaveni P and Farahani HA. 2010. Effects of planting dates and compost on mucilage variations in borage (*Borago officinalis* L.) under different chemical fertilization systems. *International Journal for Biotechnology and Molecular Biology Research*, 1(5): 58-61.
<https://doi.org/10.5897/IJBMBR.9000014>
- Egamberdiyeva D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*, 36(2-3): 184-189.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.02.005>
- El-Tantawy ME and Mohamed MAN. 2009. Effect of inoculation with phosphate solubilizing bacteria on the tomato rhizosphere colonization process, plant growth and yield under organic and inorganic fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, 23(2): 1117-1131.
<http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90225>
- Esitken A, Yildiz HE, Ercisli S, Donmez MF, Turan M and Gunes A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1): 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012>
- Fatemi H. 2020. Effect of bio-Priming with plant growth promoting bacteria on growth and biochemical characteristics, phenol, flavonoid, vitamin C and nitrate in lettuce (*Lactuca sativa* L.) Rabicon cultivar in different growth substrates. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(2): 41-59. (In Persian).
<http://dx.doi.org/10.47176/jspi.11.2.18741>
- Hasanzadeh Ghorttapeh A and Javadi, H. (2016). Study on the effects of inoculation with biofertilizers (*Azotobacter* and *Azospirillum*) and nitrogen application on oil, yield and yield components of spring canola in West Azerbaijan. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(18): 39-50. (In Persian with English Abstract). <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.18.39>
- Jones Jr JB. 2016. *Hydroponics: a practical guide for the soilless grower*. CRC press.
<https://doi.org/10.1201/9780849331671>
- Kavino M, Harish S, Kumar N, Saravanakumar D and Samiyappan, R. 2010. Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (*Musa* spp.) under field conditions. *Applied Soil Ecology*, 45(2): 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.02.003>
- Kloepper JW, Lifshitz R and Zablotowicz RM. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, 7(2): 39-44. [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(89\)90057-7](https://doi.org/10.1016/0167-7799(89)90057-7)
- Khaldbirin B and Eslamzade T. 2001. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Shiraz University press, 495. (In Persian with English Abstract).
- Koleva II, Van Beek TA, Linssen JP, Groot AD and Evstatieva LN. 2002. Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 13(1): 8-17.
<https://doi.org/10.1002/pca.611>
- Lebeda A, Ryder EJ, Grube R, Dolezalova I and Kristkova E. 2007. Lettuce (Asteraceae; *Lactuca* spp.). *Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement*, 3(1): 377-472.
<https://doi.org/10.1201/9781420009569.ch9>

- Lee KJ, Oh BT and Seralathan KK. 2013. Advances in plant growth promoting rhizobacteria for biological control of plant diseases. *Bacteria in Agrobiolology: Disease Management*, 111(2): 120-127. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-18357-7_1
- Lin JY and Tang CY .2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101(1): 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>
- Liu X, Ardo S, Bunning M, Parry J, Zhou K, Stushnoff C and Kendall P. 2007. Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. *LWT-Food Science and Technology*, 40(3): 552-557. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.007>
- Lucy M, Reed E and Glick BR 2004. Applications of free-living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 86(1): 1-25. <http://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>
- Mahajan A and Gupta RD.2009. Integrated nutrient management (INM) in a sustainable rice and wheat cropping system. *Food Chemistry*, 73(5): 578-584. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-9875-8>
- Maurhofer M, Reimmann C, Schmidli-Sacherer P, Heeb S, Haas D and Défago G.1998. Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseudomonas fluorescens* strain P₃ improve the induction of systemic resistance in tobacco against tobacco necrosis virus. *Phytopathology*, 88(7): 678-684. <http://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.7.678>
- Mhatre PH, Karthik C, Kadirvelu K, Divya KL, Venkatasalam EP, Srinivasan S and Shanmuganathan, R. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for nematodes bio-control. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17(4): 119-128. <http://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.009>
- Neshat M, Abbasi A, Hosseinzadeh A, Sarikhani MR, Dadashi Chavan D and Rasoulnia, A. 2022. Plant growth promoting bacteria (PGPR) induce antioxidant tolerance against salinity stress through biochemical and physiological mechanisms. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(2): 347-361. <http://doi.org/10.1007/s12298-022-01128-0>
- Ordookhani K, Khavazi K, Moezzi A and 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. <http://doi.org/10.5897/AJAR09.183>
- Patten CL and Glick, B. R. 2002. Regulation of indoleacetic acid production in *Pseudomonas putida* GR12-2 by tryptophan and the stationary-phase sigma factor respons. *Canadian Journal of Microbiology*, 48(7): 635-642. <http://doi.org/10.1139/w02-053>
- Penrose DM and Glick BR. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiologia Plantarum*, 118(1): 10-15. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00086.x>
- Rashid M, Khalil S, Ayub N, Alam S and Latif, F. (2004). Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. *Pakistan Journal Biological Sciences*, 7(2): 187-196. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2004.187.196>
- Sandhya V, Ali SZ, Grover M, Reddy G and Venkateswarlu, B. 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas spp.* on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62(1): 21-30. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9479-4>
- Sarikhani MR, Aliasgharzad N and 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. <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1700323>
- Sarikhani MR, Oustan S, Ebrahimi M, Aliasgharzad N. 2018. Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. *European Journal of Soil Science*, 69: 1078–1086. <https://doi.org/10.1111/ejss.12708>

Sarikhani MR, Malboobi MA and Ebrahimi M. 2014. Phosphate solubilizing bacteria: isolation of bacteria and phosphate solubilizing genes, mechanism and genetics of phosphate solubilization. *Agricultural Biotechnology Journal*, 6(1): 77-110. <https://doi.org/10.22103/JAB.2014.1294>

Sarikhani MR and Amini R. 2021. Biofertilizers in sustainable agriculture. A look at biofertilizers research in Iran. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1): 119-126. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.1.20.1>

Satisha, J and Prakash GS. 2006. The influence of water and gas exchange parameters on grafted grapevines under conditions of moisture stress. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 27(1): 40-45. <https://doi.org/10.21548/27-1-1476>

Savvas D and Adamidis, K. (1999). Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition*, 22(9): 1415-1432. <https://doi.org/10.1080/01904169909365723>

Schippers B, Bakker AW, Bakker PAHM and Van Peer R. 1990. Beneficial and deleterious effects of HCN-producing pseudomonads on rhizosphere interactions. *Plant and Soil*, 129(1): 75-83. <https://doi.org/10.1007/BF00011693>

Sheikh alipor P, Bolandnazar S, Sarikhani M and Panahande J. 2019. The effect of biofertilizer application on yield, quality and antioxidant capacity of tomato fruit. *Horticultural Sciences of Iran*. 50(3): 921-622. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.255420.1434>

Soundy P, Cantliffe DJ, Hochmuth GJ and Stoffella, P. J. 2001. Nutrient requirements for lettuce transplants using a floatation irrigation system. I. Phosphorus. *Horticultural Science*, 36(6): 1066-1070. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.6.1066>

Spaepen S, Dobbelaere S, Croonenborghs A and Vanderleyden, J. 2008. Effects of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants. *Plant and Soil*: 312(1), 15-23. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9560-1>

Sudhakar P, Chattopadhyay GN, Gangwar SK and Ghosh, JK. 2000. Effect of foliar application of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Beijerinckia* on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). *The Journal of Agricultural Science*, 134(2): 227-234. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859699007376>

Sugumaran P and Janarthanam, B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(3): 350-355. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2007.3.3.1607826>

Tabatabai SJ. 2009. Principles of Plant Mineral Nutrition. University of Tabriz Press. 296-298. (In Persian with English Abstract).

Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under stress. *Soil and Environment*, 25(2): 78-84.

Velazhahan R, Samiyappan R and Vidhyasekaran, P. 1999. Relationship between antagonistic activities of *Pseudomonas fluorescens* isolates against *Rhizoctonia solanii* and their production of lytic enzymes. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 11(1): 244-250.

Vernieri P, Borghesi E, Tognoni F, Serra G, Ferrante A and Piagessi A. 2006. Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. In III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, 718: 477-484. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.718.55>

Zhao Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual Review of Plant Biology*, 61: 49-64. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112308>