نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۴ / سال ۱۴۰۱/ صفحات ۲۰۰-۱۷۹

Improvement of Basil (*Ocimum basilicum* L.) Vegetative Traits and Essential Oil Yield Using *Enterobacter* sp. and Silica Foliar Application under Water Deficit Irrigation

Narges Khormani[1], Hemmatollah Pirdashti[2*], Arastoo Abbasian[3], Mehranoosh Emamian Tabarestani[4], Zahra Noori Akandi[5]

Received: 15 September 2021 Accepted: 27 January 2023
1-MSc. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari. Iran.
2-Prof., Dept. of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Ph.D. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
5- Ph.D. of Crop Ecology, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
*Corresponding Author Email: pirdasht@yahoo.com & h.pirdashti@sanru.ac.ir

Abstract

Background & Objective: Water deficit is one of the most important factors limiting the crops performance like basil. Using growth-promoting bacteria along with silica could improve them. Accordingly, the present research was conducted to investigate the effect of *Enterobacter* sp. and foliar application of silica on vegetative and physiological characteristics of basil under water deficit irrigation.

Methods & Materials: This research was conducted in a split factorial arrangement based on randomized complete block design. The main plot was irrigation levels (two, three and four days) and sub-plots were *Enterobacter* (inoculation and control) and silica concentrations (0, 6C, 6X and 12X).

Results: Results showed that irrigation with three- and four-days intervals reduced vegetative and some physiological traits alone. However, SPAD in irrigation with three and four days intervals and essential oil percentage (EOP) and yield in four days intervals showed an increase at the range of 11 and 29%. 12X silica was very useful in some of these traits with increasing irrigation intervals. Although using bacteria inoculation with 12X silica was able to produce the highest amount of chlorophyll *a* and *a+b* in complete irrigation and dry matter yield in water deficit irrigation. However, when plants grown under water deficit irrigation, using 12X silica was maximally improved the EOP and yield.

Conclusion: In conclusion, the positive effect of silica was more pronounced than *Enterobacter* on improving the vegetative and physiological traits of basil. In addition, silica with high concentration (X) showed better results than low (C) concentration.

Keywords: Basil, Drought, *Entrobacter* Bacteria, Essential Oil, Silica

بهبود صفات رشدی و عملکرد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با کاربرد *اینتروباکتر* و محلول‌پاشی سیلیس در شرایط کم‌آبیاری

نرگس خرمانی[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲*]، ارسطو عباسیان[۳]، مهرانوش امامیان طبرستانی[۴]، زهرا نوری آکندی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۷

۱- کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲-استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
۳- استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
۴- دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
۵- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: pirdasht@yahoo.com & h.pirdashti@sanru.ac.ir

چکیده

اهداف: کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاهانی مانند ریحان است که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد و سیلیس موجب بهبود آن‌ها می‌شوند. در همین راستا پژوهشی با هدف بررسی اثر باکتری *اینتروباکتر* و محلول‌پاشی سیلیس بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک ریحان در شرایط کم‌آبیاری اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه دور آبیاری دو، سه و چهار روز و عامل سیلیس (شاهد، غلظت یک به ده (6X و 12X) و یک به صد (6C)) و باکتری *اینتروباکتر* (*Enterobacter* sp.) در دو سطح شاهد و پیش‌تیمار با باکتری به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد آبیاری سه و چهار روز به‌تنهایی موجب کاهش صفات رشدی و برخی صفات فیزیولوژیک گردید. اما شاخص کلروفیل برگ در دور آبیاری سه و چهار روز و درصد و عملکرد اسانس در آبیاری چهار روز افزایش ۱۱ تا ۲۹ درصدی را نشان دادند. در شرایط کم‌آبیاری، افزودن سیلیس ۱۲X در برخی از صفات بسیار مفید واقع شد. بکارگیری باکتری همراه با سیلیس ۱۲X توانست کلروفیل a و $a+b$ را در شرایط آبیاری کامل و عملکرد ماده خشک را در شرایط کم‌آبیاری بهبود ببخشد. اما در شرایط کم‌آبیاری، کاربرد سیلیس ۱۲X درصد و عملکرد اسانس را به بالاترین میزان بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری: در مجموع تأثیر مثبت سیلیس بر بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیک ریحان بیشتر از باکتری بود. به‌علاوه سیلیس با غلظت بالا (X) نتایج بهتری نسبت به غلظت پایین (C) نشان داد.

واژه های کلیدی: اسانس، باکتری *اینتروباکتر*، خشکی، ریحان، سیلیس

مقدمه

گیاهان دارویی در طول تاریخ همیشه مورد مصرف انسان‌ها قرار داشته و آثار دارویی و موارد استفاده آن‌ها بر هیچ‌کس پوشیده نیست (دهقانپور و دهقانی‌زاده ۲۰۱۴). به‌گونه‌ای که سازمان بهداشت جهانی استفاده از آن‌ها و ترکیباتشان را به‌عنوان گیاه درمانی مطرح کرده است (کلاسن لانگلویز و همکاران ۲۰۰۷). ایران از نظر تنوع گیاهان دارویی از جمله کشورهای مهم جهان به‌شمار می‌رود و زراعت گیاهان دارویی در کشور می‌تواند نقش مهمی در تأمین سلامت جامعه، اشتغال‌زایی، جلوگیری از فرسایش ژنتیکی گونه‌های دارویی ارزشمند به‌دلیل برداشت غیراصولی آن‌ها از رویشگاه‌های طبیعی و صادرات غیرنفتی داشته باشد. در این میان، ریحان (*Ocimum basilicum* L.) یکی از گیاهان دارویی، ادویه‌ای و سبزی تازه می‌باشد که از گیاهان مهم تیره نعناع (Lamiaceae) است. در بین گونه‌های این جنس، گونه *basilicum* اقتصادی‌ترین گونه محسوب و تقریباً در تمام مناطق گرم و معتدل کشت می‌شود (ماریوتی و همکاران ۱۹۹۶). ریحان مانند سایر گیاهان خانواده نعناعیان دارای منبع ترکیبات حلقوی و اسانس است که دافع حشرات بوده و عملکرد ضدباکتری، ضدقارچ، ضدویروس و ضداکسایشی دارد (جوانمردی و همکاران ۲۰۰۲، جولیانی و سیمون ۲۰۰۲). به‌دلیل اهمیت متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس یا ترکیبات معطر در گیاهان، عواملی که بر کمیت و کیفیت آن‌ها مؤثرند مورد توجه قرار دارد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۴). اگرچه تولید مواد مؤثره در گیاهان دارویی با هدایت فرآیندهای ژنتیکی همراه است ولی به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله ارتفاع از سطح دریا، شیب و عرض جغرافیایی، دما، نور و رطوبت نسبی قرار می‌گیرد و سبب تغییرات در رشد گیاهان دارویی و نیز کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن‌ها نظیر آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها، اسانس‌ها و امثال آن‌ها می‌گردد (عالی‌پور و همکاران ۲۰۱۵).

گیاهان غالباً در رویشگاه‌های طبیعی و در شرایط زراعی در معرض عوامل محیطی زنده و یا غیرزنده‌ای قرار می‌گیرند که به‌خاطر ایجاد اختلال یا توقف در فعالیت‌های زیستی و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد آن‌ها به‌عنوان عوامل تنش‌زا شناخته می‌شوند (کریمی و همکاران ۲۰۱۵). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده رشد و نمو گیاهان زراعی، باغی و دارویی در سراسر دنیا است، به‌طوری‌که کاهش رشد در اثر این تنش بسیار بیشتر از سایر تنش‌های محیطی می‌باشد (ویسی‌پور و همکاران ۲۰۱۵) که با اختلال در فعالیت‌های فیزیولوژیک مانند کاهش محتویات آب، پتانسیل آب برگ و فشار تورگر، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش میزان فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب کاهش رشد و عملکرد می‌گردد. این کاهش در رشد، عملکرد و میزان کلروفیل‌ها در گیاه سویا مشاهده شده است (کامروا و همکاران ۲۰۱۷).

در این میان مصرف کودهای زیستی در گیاهان دارویی می‌تواند اثر منفی تنش خشکی بر کیفیت دارویی آن‌ها را کاهش دهد (شارما ۲۰۰۲). کودهای زیستی حاوی ریزجاندارانی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها می‌باشند که با تأثیر بر ریزجانداران محیط اطراف ریشه و کمک به روند تثبیت نیتروژن، حل شدن پتاسیم و فسفات، تولید آنتی‌بیوتیک و کمک به تجزیه مواد آلی نقش برجسته‌ای در غنی‌سازی خاک و رشد گیاه ایفا می‌کنند (بهاردواج و همکاران ۲۰۱۴). به‌علاوه کودهای زیستی توانایی بالایی در افزایش تولید و کیفیت مواد مؤثر گیاهان دارویی مثل آلکالوئیدها، استروئیدها، گلیکوزیدها و اسانس‌ها دارند. در میان آن‌ها، باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) ریزجاندارانی هستند که از طریق فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی و تولید مواد افزاینده رشد گیاه (هورمون‌ها) سبب بهبود رشد و عملکرد شده (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴، حسن و بانو ۲۰۱۵) و به گیاه توانایی تأمین قسمتی از فسفر مورد نیاز خود را از طریق منابعی مثل فسفات خاک می‌دهد که در حالت معمول غیرقابل استفاده است. این باکتری‌ها با ترشح بیشتر هورمون اکسین و رشد بیشتر ریشه و یا افزایش تشکیل ریشه‌های فرعی موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه زراعی تحت تنش خشکی

می‌شوند (پاتن و گلیک ۲۰۰۲). در چند دهه گذشته گروهی از باکتری‌ها، از جمله *Pseudomonas, Azospirillum, Azotobacter, Klebsiella, Enterobacter, Alcaligens, Arthobacter, Burkholderia, Bacillus* و *Serratia* جهت بهبود رشد گیاهان معرفی شده‌اند (احمد و همکاران ۲۰۰۸، ورما و همکاران ۲۰۱۳). در این میان باکتری *Enterobacter* sp. از جمله حل‌کننده‌های قوی فسفات معرفی شده است (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). در همین زمینه هان و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم باعث افزایش جذب عناصری همچون فسفر، نیتروژن و پتاسیم و در نتیجه افزایش رشد دو گیاه خیار و فلفل شده‌اند. همچنین در دو گیاه ذرت (نوماوو و همکاران ۲۰۱۳) و لوبیا چشم بلبلی (یاداو و همکاران ۲۰۱۰) مشاهده شد که تلقیح بذرها با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه موجب افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها می‌گردد. در شرایط تنش خشکی نیز اثر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر بهبود صفات رشدی توسط محققین بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است (رجب و همکاران ۲۰۱۴، کاظم و همکاران ۲۰۱۳، دیمپکا و همکاران ۲۰۰۹).

اکسید سیلیسیم (SiO_2) یا سیلیس دومین عنصر فراوان در پوسته زمین است. با این‌حال، در دسترس بودن آن برای گیاهان در خاک ضعیف است چون مقدار زیادی از سیلیس موجود در خاک در مواد معدنی محدود شده و هوازدگی سیلیس بسیار آهسته صورت می‌گیرد (کلر و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین افزودن سیلیس برای رشد، ثبات و حفاظت گیاهان ضروری است و به‌عنوان یک عنصر مفید در ترویج رشد و ثبات ساختار گیاهان در نظرگرفته شده است (اپستین ۲۰۰۹). سیلیس با افزایش فسفوریلاسیون قندها و سنتز کربوهیدرات‌ها باعث افزایش فتوسنتز می‌شود (ما و همکاران ۲۰۰۴) و علاوه بر ارتقاء رشد در گیاهان موجب کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی در آن‌ها می‌گردد (ایمتیاز و همکاران ۲۰۱۶). به‌طوری‌که در آزمایش‌هایی در همین رابطه بهبود رشد گیاهان شنبلیله (*Trigonella foenum graecum* L) (آرویی و همکاران ۲۰۱۴) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (مقصودی و امام ۲۰۱۶) تحت تنش‌های محیطی مشاهده گردید. بنابراین هدف از اجرای پژوهش حاضر ارزیابی اثربخشی باکتری افزاینده‌ی رشد *اینتروباکتر* همراه با محلول‌پاشی سیلیس در کاهش خسارات ناشی از شرایط کم‌آبیاری و بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیک گیاه ریحان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کم‌آبیاری یک ماه پس از کاشت در مرحله ۶ تا ۸ برگی در سه سطح دور آبیاری (دو، سه و چهار روز) به‌عنوان عامل اصلی و سیلیس در چهار سطح (شاهد، غلظت یک به ده (6X و 12X) و یک به صد (6C)) و باکتری *اینتروباکتر* (*Enterobacter* sp.) در دو سطح (شاهد و پیش‌تیمار با باکتری) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اندازه هر کرت ۲/۵ × ۱ متر با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. بذر ریحان سبز از شرکت توسعه بذر ترنج تهیه و به‌صورت ردیفی با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و پنج سانتی‌متر روی ردیف‌ها کشت شد. باکتری *اینتروباکتر* از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان تهیه و با جمعیت 10^7 واحد کلونی‌ساز با بذر ریحان پیش‌تیمار و سپس در زمینی با ویژگی‌های خاک (جدول ۱) کشت شد. پس از سبز شدن، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک و مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام گرفت. تا یک ماه پس از کاشت بذور (مرحله شش تا هشت برگی شدن بوته‌ها)، کرت‌ها به‌صورت مساوی به‌وسیله لوله‌ها آبیاری و در مراحل بعد تیمارهای آبیاری مطابق برنامه اعمال شد. سپس برای رقیق کردن سیلیس (SiO_2) از روش هومئوپاتی استفاده شد. به‌طوری‌که برای آماده‌سازی غلظت X یک واحد سیلیس در نه واحد آب ریخته شده و با تکان‌های شدید مخلوط و به تعداد دفعات رقیق کردن شماره‌گذاری شد که برای سیلیس 6X و 12X به‌ترتیب این کار ۶ و ۱۲ بار تکرار شد. برای تهیه غلظت C نیز یک واحد سیلیس با ۹۹ واحد آب با تکان‌های

شدید مخلوط و ۶ مرتبه رقیق و ۶C شماره‌گذاری شد (لاکی ۲۰۰۶). در نهایت تیمار سیلیس در سه مرحله، رویشی، قبل از گلدهی و ۵۰ درصد گلدهی محلول‌پاشی گردید. سپس، صفات رشدی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک مورد آزمایش

عناصر غذایی خاک					
عمق نمونه‌برداری (cm)	اسیدیته (pH)	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۳	٪۲۲	۱۴	۲۸۰	سیلتی رسی

اندازه‌گیری صفات رشدی و عملکرد ماده خشک اندام هوایی ریحان

در این آزمایش اندازه‌گیری صفات رشدی در مرحله گلدهی انجام شد. صفات مورفولوژیک شامل طول ساقه و ریشه با خط‌کش مدرج اندازه‌گیری شدند. سپس اندام‌های مختلف جدا و پس از خشک‌کردن بخش‌های مختلف گیاه در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه با ترازوی دقیق تعیین و براساس آن عملکرد ماده خشک اندام هوایی ریحان محاسبه شد.

سنجش شاخص کلروفیل برگ و میزان کلروفیل و کاروتنوئید

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ نیز ۳۰ روز پس از اعمال تنش کم‌آبیاری و در درجه حرارت پایین با دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502 Minolta, Japan) و از سه نقطه برگ اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان عدد نهایی در محاسبه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین میزان کلروفیل برگ نیز از هر کرت مقدار ده گرم از برگ گیاه را در متانول به مدت ۲۴ ساعت قرار داده، سپس میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) قرائت و ثبت گردید. در نهایت میزان کلروفیل a (Chl_a)، b (Chl_b)، کلروفیل کل (Chl_{a+b}) و کاروتنوئید به‌ترتیب با استفاده از روابط یک تا چهار محاسبه و بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر گزارش گردید (لیچتنتالر و بوشمن ۲۰۰۱).

[رابطه ۱] $Chl_a\ (\mu g/ml) = 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4}$

[رابطه ۲] $Chl_b (\mu g/ml) = 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2}$

[رابطه ۳] $Chl_{a+b}\ (\mu g/ml) = 1.44\ AA_{665.2} + 24.93\ A_{652.4}$

[رابطه ۴] $\text{Carotenoid}\ (\mu g/ml) = (1000\ A_{470} - 1.63\ Chl_a - 104.96\ Chl_b)/221$

اندازه‌گیری درصد و عملکرد اسانس

در آخر بعد از برداشت، نمونه‌ها هواخشک شده و مقدار ۳۰ گرم از آن خرد شده و با ۶۰۰ میلی‌لیتر (به ازای هر ۱۰ گرم ۲۰۰ میلی‌لیتر) آب مقطر مخلوط شدند. در ادامه، عمل اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با آب مقطر به‌مدت سه الی چهار ساعت در دستگاه شیشه‌ای طرح کلونجر انجام و اسانس نمونه‌ها با استفاده از سولفات سدیم بدون آب خشک گردید (آدامز ۲۰۰۷). در نهایت براساس آن درصد و عملکرد اسانس به‌ترتیب با استفاده از روابط پنج و شش محاسبه گردید.

[رابطه ۵] درصد اسانس = (وزن اسانس / وزن خشک گیاه) × ۱۰۰

[رابطه ۶] عملکرد اسانس = درصد اسانس × عملکرد بخش مورد اسانس‌گیری در هکتار

تجزیه و تحلیل آماری

پس از پایان آزمایش و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک، با نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ۹/۲ تجزیه و تحلیل انجام شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

صفات رشدی

براساس یافته‌ها، برهمکنش دور آبیاری، باکتری و سیلیس بر طول ساقه اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) داشت. در بررسی اثر ساده دور آبیاری سه و چهار روز به‌ترتیب کاهش ۱۴ و ۱۹ درصدی در طول ساقه مشاهده گردید. در همین راستا، بابایی و همکاران (۲۰۱۰) اذعان داشتند که تنش خشکی کاهش ارتفاع بوته و تعداد ساقه جانبی آویشن را به‌همراه داشت. به‌نظر می‌رسد تنش خشکی موجب کاهش مقدار آب، آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها و رشد رویشی می‌گردد. کمیت و کیفیت رشد رویشی گیاه نیز بستگی به تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول‌ها و تمایز دارد و تمام این فرآیندها تحت تأثیر تنش خشکی می‌باشد. در این بین با محلول‌پاشی سیلیس ۶X طول ساقه گیاهان شاهد (بدون باکتری) در دور آبیاری دو روز با میانگین ۵۱/۳۳ سانتی‌متر به بیشترین مقدار رسید که با شاهد خود ۱۵ درصد اختلاف داشت. همچنین در دور آبیاری سه روز و شرایط تلقیح باکتری، کاربرد سیلیس ۱۲X افزایش حدود ۲۶ درصدی طول ساقه را نسبت به عدم تلقیح در همان شرایط در پی داشت. همچنین در شرایط تلقیح و آبیاری سه و چهار روز افزایش معنی‌دار طول ساقه به‌ترتیب با کاربرد سیلیس ۱۲X و ۶C نسبت به عدم کاربرد سیلیس مشاهده شد. به‌علاوه بیشترین تغییرات مثبت طول ساقه با تأثیر همزمان باکتری و سیلیس در غلظت ۱۲X نسبت به عدم کاربرد آن‌ها، حدود ۲۳ درصد بود (جدول ۲).

در همین زمینه تحقیقات بسیاری اثرات مثبت باکتری‌های افزاینده رشد را بر طول ساقه گیاهان نشان دادند. به‌طوری‌که مشاهده گردید کاربرد مایه تلقیح *اینتروباکتر* در گندم (محمدی کشکا و همکاران ۲۰۱۷)، *پانتوا آناناتیس*، *اینتروباکتر* و *راهنللا آکواتیلیس* در برنج (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷) و باکتری‌های *سودوموناس*، *باسیلوس* و *ازتوباکتر* در نعناع فلفلی (محمودزاده و همکاران ۲۰۱۶) موجب افزایش طول ساقه و ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شدند. در تنش خشکی نیز باکتری‌های افزاینده‌ی رشد به‌ترتیب افزایش طول ساقه آویشن را نشان دادند (محمدپور وشوایی و همکاران ۲۰۱۵). محققان دلیل افزایش رشد توسط این ریزجانداران را سنتز هورمون اکسین (IAA) و انحلال فسفر نامحلول و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی توسط آن‌ها نسبت دادند (لاواکوش و همکاران ۲۰۱۴). همچنین مشابه با این آزمایش، افزودن سیلیس بهبود ارتفاع گیاه، طول میانگره و مقاومت به شکستگی و ورس در گیاه برنج (فلاح و همکاران ۲۰۱۶) و افزایش ارتفاع اندام هوایی در دو رقم خیار (محقق و همکاران ۲۰۱۰) را به همراه داشت.

جدول ۲- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر طول ساقه (سانتی‌متر) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۴۴/۵۰^{cd}	۳۷/۴۹$^{f-h}$	۴۰/۱۶$^{e-g}$
	۶C	۴۶/۳۰^{bc}	۳۸/۶۶$^{e-h}$	۴۰/۳۳^{ef}
	۶X	۵۱/۳۳^{a}	۳۸/۱۶$^{f-h}$	۳۸/۸۳$^{e-h}$
	۱۲X	۴۸/۸۳^{ab}	۳۶/۶۶$^{g-i}$	۳۹/۴۹$^{e-h}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۴۶/۱۶^{bc}	۴۲/۱۶^{de}	۳۶/۱۶^{hi}
	۶C	۴۴/۱۶^{cd}	۳۴/۳۳^{ij}	۴۲/۰۰^{de}
	۶X	۴۵/۳۳$^{b-d}$	۳۹/۸۳$^{e-g}$	۳۱/۶۶^{j}
	۱۲X	۳۹/۹۱$^{e-g}$	۴۶/۱۶^{bc}	۲۷/۰۰^{k}

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

در بررسی برهمکنش آبیاری، باکتری و سیلیس بر طول ریشه، اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) مشاهده گردید. اثر ساده تنش کم‌آبیاری سه و چهار روز به‌ترتیب کاهش ۲۸ و ۳۴ درصدی طول ریشه را در پی داشت. همچنین در آزمایشی در همین رابطه خشکی در ارقام مختلف گندم سبب کاهش رشد سیستم ریشه‌ای از جمله طول ریشه‌های اصلی، طول دو ریشه بلندتر، تعداد ریشه اصلی و فاصله اولین انشعاب تا نوک ریشه، به‌ترتیب به میزان ۱۹، ۲۱، ۳۷ و ۴۶ درصد در مقایسه با شاهد گردید (حسینعلی‌پور و همکاران ۲۰۲۰). اما بیشترین طول ریشه با میانگین ۱۹/۲۴ سانتی‌متر در گیاهان بدون باکتری در دور آبیاری دو روز با محلول‌پاشی سیلیس ۶X نسبت به عدم کاربرد سیلیس به‌دست آمد. همچنین در گیاهان تلقیح شده با باکتری در دور آبیاری سه روز و با محلول‌پاشی سیلیس ۶X حدود ۵۲ درصد و سیلیس ۶C حدود ۳۹ درصد افزایش نسبت به عدم کاربرد سیلیس مشاهده شد. در دور آبیاری سه روز کاربرد همزمان باکتری و غلظت ۶X سیلیس نسبت به شاهد (عدم کاربرد باکتری و سیلیس) طول ریشه با حدود ۲۴ درصد افزایش اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). در همین رابطه محقق و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند کاربرد سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه دو رقم خیار دامینوس جی‌ارسی و سوپر دامینوس در مقایسه با شاهد شد و طول ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر از تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم بود. سان و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان دادند که تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌گردد که در نهایت، سطح کل جذب کننده عناصر افزایش می‌یابد. همچنین تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر کودهای زیستی در شرایط تنش بر گیاهان مختلف وجود دارد. در آزمایشی خندان میرکوهی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر قارچ ریشه آربسکولار و باکتری‌های افزاینده رشد در شرایط تنش کم‌آبی بر گیاه زینتی استئوسپرموم *Osteospermum hybrida* 'Passion (Mix') مشاهده کردند هم‌افزایی دو تیمار توانست بیشتر صفات از جمله شمار برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه، حجم ریشه، استقرار و جذب فسفر را بیش از دیگر تیمارها افزایش دهد. به‌علاوه گیاه در مواجه با تنش خشکی برای افزایش توانایی جذب ریشه‌ها، ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد (مایکل و همکاران ۲۰۰۹). در تحقیق دیگری نیز بهبود رشد اندام هوایی و ریشه نخود در اثر استفاده از میکوریز و باکتری ریزوبیوم مشهود بود (مرادی و همکاران ۲۰۱۳). همچنین بست‌میا و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد، سبب افزایش جوانه‌زنی، قدرت گیاه‌چه، طول ریشه، سطح و تراکم ریشه در برنج شد. سازوکارهای متنوعی برای کاهش تنش در گیاهان توسط باکتری‌ها پیشنهاد شده است. به‌طوری‌که باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد با تولید ایندول استیک اسید، جیبرلین و برخی مواد دیگر، موجب افزایش طول ریشه، سطح جذب ریشه و تعداد ریشه‌های مویین، افزایش نفوذ و جذب مواد غذایی و در نهایت سبب بهبود سلامتی گیاه تحت شرایط تنش می‌شوند (اگامبردیوا و کاکاروا ۲۰۰۹).

جدول ۳- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر طول ریشه (سانتی‌متر) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد	۰	$۱۷/۴۹^{ab}$	$۱۱/۰۸^{g-k}$	$۱۰/۷۴^{g-k}$
	۶C	$۱۳/۰۸^{e-g}$	$۱۱/۸۳^{f-j}$	$۱۱/۹۹^{f-i}$
	۶X	$۱۹/۲۴^{a}$	$۷/۸۳^{l}$	$۱۰/۵۸^{h-k}$
	۱۲X	$۱۶/۹۹^{a-c}$	$۱۲/۵۸^{e-h}$	$۹/۶۶^{i-l}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	$۱۸/۰۰^{ab}$	$۹/۰۸^{kl}$	$۱۰/۴۹^{h-k}$
	۶C	$۱۴/۶۶^{c-e}$	$۱۲/۶۶^{e-h}$	$۱۰/۵۸^{h-k}$
	۶X	$۱۵/۶۶^{b-d}$	$۱۳/۸۳^{d-f}$	$۹/۰۸^{kl}$
	۱۲X	$۱۰/۳۳^{h-k}$	$۱۰/۹۹^{g-k}$	$۹/۴۹^{kl}$

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

کاربرد باکتری و سیلیس در دورهای آبیاری مختلف بر وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در دورهای آبیاری مختلف تنها آبیاری سه و چهار روز موجب کاهش ۳۷ و ۴۱ درصدی وزن خشک برگ ریحان گردید. اما در برهمکنش این تیمارها، بیش‌ترین وزن خشک برگ با میانگین ۸/۷۵ گرم در بوته در شرایط عدم تلقیح و با محلول‌پاشی سیلیس ۶X در دور آبیاری کامل (دو روز) با افزایش حدود ۸۰ درصد نسبت به شاهد به‌دست آمد. در مقایسه، گیاهان تلقیح شده با باکتری در همان دور آبیاری با محلول‌پاشی سیلیس ۶C وزن خشک برگ برابر ۵/۵۴ گرم در بوته بود که حدود ۷۱ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیلیس) نشان داد. با افزایش تنش کم‌آبی وزن خشک برگ ریحان کاهش یافت و تنها در دور آبیاری سه روز و کاربرد سیلیس ۶X و ۱۲X در گیاهان تلقیح شده با باکتری افزایش معنی‌دار نسبت به عدم کاربرد سیلیس و همچنین نسبت به همان سطح سیلیس در شرایط عدم تلقیح نشان داد (جدول ۴). در تحقیقی در همین رابطه کاربرد دو نوع سیلیکات سدیم و کلسیم بر گل داودی وزن تر و خشک برگ در حضور هر دو تیمار سیلیس روند افزایشی داشت که در حضور سیلیکات سدیم بیش‌تر بود که می‌توان به حلالیت بیش‌تر سیلیکات سدیم نسبت به کلسیم در بافت‌های گیاهی نسبت داد (جبارزاده و حاجی‌پور ۲۰۱۸). سیلیکون با افزایش میزان کارایی فتوسنتز، دی‌اکسید کربن قابل تبادل، کلروفیل و میزان کربوهیدرات، باعث افزایش تولیدات و ذخایر برگی می‌شود (وازانتی و همکاران ۲۰۱۲) و احتمالا از این طریق باعث افزایش وزن خشک برگ‌ها می‌گردد. سیلیکون با افزایش سطح برگ تأثیر مستقیمی بر افزایش وزن تر و خشک برگ دارد. سیلیس با کاهش تعرق گیاه و یا رسوب در زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه موجب کاهش اتلاف آب از کوتیکول و در نتیجه حفظ و نگهداری آب در سلول و افزایش فشار تورژسانس و افزایش سطح سبز گیاه می‌شود (لیانگ و همکاران ۲۰۰۷). براساس نتایج آرویی و همکاران (۲۰۱۴)، وجود سیلیس در بستر کشت گیاه شنبلیله در شرایط تنش شوری و عدم آن باعث افزایش معنی‌داری در وزن تر و خشک اندام هوایی، میوه و ریشه گیاهان شد. برگ‌پاشی سیلیس از طریق افزایش سرعت تعرق، موجب کاهش دمای سایه‌انداز گیاه شده است. تعرق سازوکار خنک‌کننده در گیاه است. در شرایط آبیاری معمولی روزنه‌های گیاه باز است و گیاه هم‌زمان با انجام فتوسنتز، تعرق نیز انجام می‌دهد که نتیجه آن خنک شدن تعرقی گیاه و تولید ماده خشک است. در مقایسه در شرایط تنش خشکی برای جلوگیری از هدرروی آب روزنه‌های گیاه بسته می‌شوند، تعرق انجام نمی‌گیرد و به تدریج دمای درونی گیاه بالاتر می‌رود. در چنین شرایطی قابلیت تولید گیاه افت قابل ملاحظه‌ایی پیدا می‌کند (امام و نیک‌نژاد ۲۰۱۱).

جدول ۴- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر وزن خشک برگ (گرم در بوته) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۴/۷۷^{bc}	۳/۶۱$^{d-f}$	۳/۳۳$^{d-h}$
	۶C	۳/۹۱^{cd}	۲/۷۳$^{f-j}$	۲/۸۰$^{e-j}$
	۶X	۸/۷۵^{a}	۲/۳۹$^{h-k}$	۲/۰۳^{jk}
	۱۲X	۲/۹۴$^{d-j}$	۲/۳۸$^{h-k}$	۳/۸۲$^{c-e}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۳/۲۴$^{d-i}$	۱/۹۹^{jk}	۳/۵۳$^{d-g}$
	۶C	۵/۵۴^{b}	۲/۵۲$^{g-k}$	۱/۶۷^{k}
	۶X	۳/۸۸^{cd}	۳/۸۸^{cd}	۲/۲۳$^{i-k}$
	۱۲X	۳/۷۵$^{d-f}$	۳/۵۱$^{d-g}$	۲/۳۲$^{h-k}$

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

اگرچه در این صفت تأثیر مثبت باکتری کم بود. اما در آزمایش دیگری، تأثیر مثبت باکتری حل‌کننده فسفات *اینتروباکتر* و قارچ‌های افزاینده‌ی رشد بر صفات رشدی فلفل مشاهده گردید (محمدی کشکا و همکاران ۲۰۱۶). محققان دلیل بهبود رشد گیاهان توسط این ریزجانداران را افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز توسط آن‌ها دانستند (یاداو و همکاران ۲۰۱۵). چون افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز و فیتاز فرآیند معدنی شدن فسفر از ترکیبات فسفر آلی را افزایش می‌دهد و در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مهم می‌باشد (جواهری و همکاران ۲۰۱۴). در نتیجه به‌دلیل افزایش فتوسنتز، تعداد، سطح و وزن برگ افزایش می‌یابد (کایا و همکاران ۲۰۰۶).

در بررسی وزن خشک ساقه گیاه ریحان، برهمکنش باکتری و سیلیس تحت دورهای آبیاری مختلف معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) بود. اثر ساده تنش آبیاری سه و چهار روز به‌ترتیب کاهش حدود ۴۷ و ۵۳ درصدی وزن خشک ساقه را نشان داد. اما بیش‌ترین مقدار این صفت در دور آبیاری نرمال (دو روز) در شرایط عدم تلقیح و محلول‌پاشی سیلیس ۶X با میانگین ۸/۱۱ گرم در بوته و حدود ۷۰ درصد افزایش نسبت به شاهد ثبت شد. در مقایسه، در گیاهان تلقیح شده با باکتری، کاربرد سیلیس ۶C افزایش حدود دوبرابری نسبت به عدم کاربرد سیلیس و حدود ۳۰ درصدی نسبت به عدم تلقیح و کاربرد سیلیس نشان داد. همچنین در شرایط تلقیح و دور آبیاری سه روز و محلول‌پاشی ۱۲X، افزایش حدود ۴۹ درصدی نسبت به عدم کاربرد سیلیس و حدود ۴۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم تلقیح و محلول‌پاشی) مشاهده شد (جدول ۵). در همین زمینه سیلیسیم در گیاه شنبلیله تحت تنش شوری (آرویی و همکاران ۲۰۱۴) و برنج رقم فجر (فلاح و همکاران ۲۰۱۶) اثر افزایشی بر وزن خشک ساقه نشان داد. همچنین با کاربرد ریزجانداران افزاینده‌ی رشد گیاه ازجمله باکتری *اینتروباکتر* و قارچ‌های *تریکودرما* و *پریفورموسپورا* افزایش وزن خشک فلفل (محمدی کشکا و همکاران ۲۰۱۶) مشاهده شد.

جدول ۵- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر وزن خشک ساقه (گرم در بوته) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۴/۷۷^{c}	۲/۰۴^{gh}	۱/۸۱$^{g-i}$
	۶C	۲/۶۹^{ef}	۲/۰۹$^{f-h}$	۱/۹۶$^{g-i}$
	۶X	۸/۱۱^{a}	۲/۰۹$^{f-h}$	۱/۹۹^{gh}
	۱۲X	۱/۳۱^{i}	۲/۰۴$^{f-h}$	۱/۸۷$^{g-i}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۲/۹۲^{de}	۱/۹۷^{gh}	۱/۹۶$^{g-i}$
	۶C	۶/۲۰^{b}	۱/۵۹$^{g-i}$	۱/۹۶$^{g-i}$
	۶X	۳/۴۵^{d}	۲/۱۳^{fg}	۱/۸۵$^{g-i}$
	۱۲X	۲/۱۶^{fg}	۲/۹۴^{de}	۱/۴۴^{hi}

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

نتایج اثر متقابل باکتری، سیلیس و دورهای مختلف آبیاری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده تنش کم‌آبیاری سه و چهار روز موجب کاهش به‌ترتیب ۲۹ و ۴۴ درصدی این صفت نسبت به دور آبیاری نرمال (دو روز) شد. در آزمایشی در همین رابطه مشاهده شد که تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک ریشه ارقام مختلف گندم شد اما بیشترین کاهش در رقم حساس به خشکی اتفاق افتاد و بیان شد که کاهش ماده خشک ریشه می‌تواند مربوط به کاهش رشد ریشه یا کاهش فتوسنتز باشد (حسینعلی‌پور و همکاران ۲۰۲۰). اما در آزمایش حاضر بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به گیاهان بدون باکتری و کاربرد

سیلیس ۶X و گیاهان تلقیح شده با باکتری و کاربرد سیلیس ۶C به‌ترتیب با میانگین وزن ۱/۱۳ و ۱/۱۰ گرم در بوته بود. در دور آبیاری دو روز گیاهان تلقیح شده با باکتری، کاربرد سیلیس ۶X و ۱۲X افزایش وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد نشان داد. همچنین در دور آبیاری سه روز و کاربرد باکتری و سیلیس ۶X و دور آبیاری چهار روز و عدم تلقیح و کاربرد سیلیس ۱۲X به‌ترتیب حدود دو برابر و ۴۰ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیلیس) مشاهده گردید (جدول ۶).

در پژوهشی مشابه، با بررسی اثر باکتری‌های افزاینده رشد در گیاه رزماری تحت تنش خشکی مشاهده شد، بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار آبیاری کامل و کاربرد باکتری افزاینده رشد بود که افزایش ۳۰ درصدی نسبت به گیاهان شاهد داشت و در شرایط کم‌آبیاری باعث بهبود معنی‌دار وزن خشک ریشه شد (دهقانی بیدگلی و همکاران ۲۰۱۸). در این رابطه بیان شد ترشح مواد تنظیم‌کننده و تولید هورمون‌های افزاینده‌ی رشد گیاه توسط قارچ‌ها و باکتری‌های مورد استفاده می‌تواند باعث تحریک و گسترش ریشه و در نتیجه اثر مثبت بر وزن خشک این اندام گردد.

در آزمایش‌های مختلف تأثیر سیلیس نیز بر عملکرد ریشه گیاهان مثبت گزارش شده است. به‌طوری‌که آرتیزاک و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند تحت شرایط کفایت آبی محلول‌پاشی سیلیس روی چغندرقند موجب افزایش عملکرد ریشه شد. همچنین فرازی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد ریشه چغندرقند گردید و محلول‌پاشی کودهای سیلیس و پتاسیم در این شرایط باعث کاهش اثرات تنش خشکی شد که در این بین تأثیر سیلیس نسبت به پتاسیم مشهودتر بود.

جدول ۶- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر وزن خشک ریشه (گرم در بوته) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهارروز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۰/۸۳^{b}	۰/۶۹^{cd}	۰/۵۲$^{e-g}$
	۶C	۰/۷۶^{bc}	۰/۳۷^{jk}	۰/۳۵^{jk}
	۶X	۱/۱۳^{a}	۰/۵۰$^{e-h}$	۰/۴۴$^{g-j}$
	۱۲X	۰/۴۸$^{f-i}$	۰/۴۹$^{g-j}$	۰/۷۳^{bc}
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۰/۳۹$^{i-k}$	۰/۳۱^{kl}	۰/۴۰$^{h-k}$
	۶C	۱/۱۰^{a}	۰/۳۹$^{i-k}$	۰/۳۵^{jk}
	۶X	۰/۵۹^{de}	۰/۷۷^{bc}	۰/۲۱^{l}
	۱۲X	۰/۴۹$^{f-i}$	۰/۵۶^{ef}	۰/۲۲^{l}

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

عملکرد ماده خشک اندام هوایی ریحان

در بررسی نتایج برهمکنش سه تیمار مذکور بر عملکرد ماده‌ی خشک اندام هوایی ریحان اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) مشاهده شد. در این آزمایش تنها تنش آبیاری سه و چهار روز باعث کاهش به‌ترتیب حدود ۴۲ و ۴۶ درصدی عملکرد ماده خشک اندام هوایی گردید. مشابه این نتیجه در گیاه بابونه آلمانی و ریحان تحت تنش خشکی و افزایش فاصله آبیاری مشاهده گردید (آرزمجو و همکاران ۲۰۱۰، محمدنیا و همکاران ۲۰۱۸). اما در این آزمایش بیش‌ترین عملکرد با میانگین ۱۳۴۸/۸۰ گرم در مترمربع در دور آبیاری کامل و با محلول‌پاشی سیلیس ۶X در گیاهان بدون باکتری با اختلاف حدود ۷۷ درصد نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیلیس) به‌دست آمد. در مقابل عملکرد گیاهان تلقیح شده با باکتری در همان تیمار آبیاری با کاربرد سیلیس ۶C افزایش معنی‌داری حدود ۹۱ درصد نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیلیس) داشت. به‌علاوه در دور آبیاری سه روز و گیاهان تلقیح شده، افزایش عملکرد ماده خشک ریحان با کاربرد سیلیس ۶X

و ۱۲X نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیلیس) مشاهده شد (جدول ۷).

در پژوهشی مشابه حاجی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که در گل داوودی، افزودن سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک قسمت‌های مختلف گیاه داشت. تعرق متناسب با تثبیت دی‌اکسیدکربن، با افزایش میزان سیلیس کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (گائو ۲۰۰۰). خسروفرد و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی سیلیسیم روی گیاه توت‌فرنگی در کشت بدون خاک نشان دادند که میانگین عملکرد بوته با افزایش مقدار شوری کاهش معنی‌داری یافت و نتیجه‌ها نشانگر اثرهای سودمند کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی گیاه توت‌فرنگی در شرایط شوری در هر دو روش محلول‌پاشی برگی و کاربرد ریشه‌ای بود. شوری سبب کاهش جذب آب و عناصر غذایی و کاهش تعداد میوه و عملکرد می‌شود که با کاربرد عنصر سیلیسیم، دیواره‌های یاخته‌های روپوست با لایه‌های محکم سیلیسیم آغشته و در برابر از دست‌رفتن آب به‌وسیله تعرق کوتیکولی محافظت می‌شوند. افزون بر دیواره‌های یاخته‌های روپوست برگ‌ها، سیلیسیم در دیواره‌های یاخته آوند چوبی نیز قرار می‌گیرد و از تخریب آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند (موتومورا و همکاران ۲۰۰۲).

از طرفی تلقیح بذر ریحان با باکتری *اینتروباکتر* در مقایسه با عدم تلقیح تا حدودی منجر به افزایش عملکرد ماده خشک اندام هوایی گردید. در همین رابطه، محمدی کشکا و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند تلقیح بذر گندم با باکتری *اینتروباکتر* و قارچ *تریکودرما* افزایش رشد رویشی، عملکرد دانه و زیست‌توده گندم را در پی داشت. همچنین در آزمایش دیگری افزایش رشد رویشی و عملکرد برنج در تلقیح با این باکتری مشاهده شد (شهسوارپور لنده و همکاران ۲۰۱۸). به‌طور کلی باکتری‌ها با استقرار در ریشه گیاه و تولید هورمون‌های گیاهی، ویتامین‌ها، سیدروفور، مواد افزاینده رشد و توانایی انحلال مواد معدنی فسفاته و دیگر مواد مغذی موجب بهبود عملکرد گیاه میزبان خواهند شد (ورما و همکاران ۲۰۱۳).

جدول ۷- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر عملکرد ماده‌ی خشک اندام هوایی ریحان (گرم در مترمربع) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۷۶۳/۶۰^{c}	۴۵۲/۰۰$^{e-i}$	۴۱۱/۶۰$^{f-k}$
	۶C	۵۲۸/۸۰^{de}	۳۸۶/۰۰$^{g-l}$	۳۸۱/۲۰$^{g-l}$
	۶X	۱۳۴۸/۸۰^{a}	۳۵۸/۸۰$^{h-l}$	۳۲۱/۶۰^{kl}
	۱۲X	۳۴۰/۴۰$^{j-l}$	۳۵۴/۴۰$^{i-l}$	۴۵۵/۲۰$^{e-h}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۴۹۲/۸۰$^{d-f}$	۳۱۷/۲۰^{kl}	۴۳۹/۲۰$^{e-j}$
	۶C	۹۳۹/۶۰^{b}	۳۲۹/۶۰^{kl}	۲۹۰/۴۰^{l}
	۶X	۵۸۷/۲۰^{d}	۴۸۱/۲۰$^{e-g}$	۳۲۷/۲۰^{kl}
	۱۲X	۴۷۳/۶۰$^{e-g}$	۵۱۶/۰۰^{de}	۳۰۱/۲۰^{l}

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

صفات فیزیولوژیک ریحان

نتایج برهمکنش باکتری، سیلیس و دورهای مختلف آبیاری بر کلروفیل *a* اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) داشت. اثر ساده تنش کم‌آبیاری سه و چهار روز موجب کاهش به‌ترتیب حدود ۱۹ و ۱۰ درصدی کلروفیل *a* گردید. در همین زمینه بیان شده است که عوامل محدودکننده فتوسنتز در تنش خشکی به دو گروه عوامل روزنه‌ایی و غیرروزنه‌ایی تقسیم می‌شوند. از عوامل محدودکننده غیرروزنه‌ایی می‌توان به کاهش یا توقف سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌ها و

کاروتنووئید اشاره کرد (اولیویرا–نتو و همکاران ۲۰۰۹). کاهش محتوای کلروفیل a و $a+b$ با افزایش تنش خشکی در نیشکر نیز گزارش شد (سیلوا و همکاران ۲۰۰۷). محققان در این زمینه بیان کردند در تنش‌های خشکی و شوری، به‌دلیل حساسیت بیشتر کلروفیل a به تنش خشکی و شوری، کاهش محتوای کلروفیل a بیشتر از b است (جلیل و همکاران ۲۰۰۹) و در این آزمایش احتمالاً به‌همین دلیل شرایط کم‌آبیاری بر کلروفیل b اثر معنی‌داری نداشت.

دور آبیاری دو روز و کاربرد سیلیس ۶x بدون تلقیح باکتری سبب افزایش کمی در میزان کلروفیل a شد. در مقایسه، در دور آبیاری دو روز و به‌کارگیری باکتری میزان کلروفیل a از ۶/۶۴ میکروگرم در لیتر در عدم کاربرد سیلیس به ۱۲/۵۳ میکروگرم در لیتر با کاربرد غلظت ۱۲x سیلیس رسید و حدود ۸۹ درصد افزایش یافت. همچنین، بکارگیری باکتری و غلظت ۱۲x سیلیس نسبت به عدم کاربرد آن‌ها در دور آبیاری دو روز حدود ۳۷ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۸). در آزمایشی مشابه مشاهده شد که تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل a در گیاه کلزا گردید و کاربرد سطح ۳۰ میلی‌مولار سیلیس از منبع سیلیکات پتاسیم افزایش آن را در پی داشت (فانی و همکاران ۲۰۱۹). مطالعات در رابطه با تأثیر سیلیسیم بر میزان کلروفیل نشان داد سیلیسیم از طریق حفظ انسجام کلروپلاست‌ها، به‌خصوص گرانا موجب حفظ کلروفیل در این اندامک‌ها می‌گردد (ساواس و نتاتسی ۲۰۱۵). چون این عنصر در افزایش تأمین مواد غذایی و تعادل عناصر ماکرو و میکرو در سلول دخیل می‌باشد (عبدالله ۲۰۱۰). در همین زمینه گزارش شده است که میزان کلروفیل a، b و نسبت کلروفیل a به b در تیمارهای شوری با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیس در گیاه شنبلیله افزایش را نشان داد (آرویی و همکاران ۲۰۱۴). همچنین در بررسی اثر باکتری‌های افزاینده‌ی رشد بر کلروفیل‌ها در پژوهشی مشابه مشاهده شد تحت تنش شوری، میزان کلروفیل a در گیاه ذرت همزیست با باکتری بیشتر بود (ساجد و همکاران ۲۰۰۶).

جدول ۸- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر کلروفیل a (میکروگرم در میلی‌لیتر) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۹/۱۱$^{b-f}$	۹/۲۰$^{b-f}$	۱۰/۸۷^{ab}
	۶C	۹/۸۹$^{b-d}$	۷/۴۲$^{e-g}$	۸/۵۴$^{c-g}$
	۶X	۱۰/۸۱^{ab}	۶/۸۰^{gh}	۷/۸۳$^{d-g}$
	۱۲X	۱۰/۳۶$^{a-c}$	۶/۷۲^{gh}	۱۰/۵۵$^{a-c}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۶/۶۴^{gh}	۶/۵۶^{gh}	۹/۶۰$^{b-e}$
	۶C	۶/۸۸^{gh}	۸/۴۴$^{c-g}$	۷/۰۴$^{f-h}$
	۶X	۹/۷۰$^{b-d}$	۸/۱۴$^{d-g}$	۵/۰۱^{h}
	۱۲X	۱۲/۵۳^{a}	۸/۴۶$^{c-g}$	۸/۵۴$^{c-g}$

میانگین های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند

اثر متقابل باکتری، سیلیس و دورهای مختلف آبیاری بر کلروفیل $a+b$ معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بود. نتایج این تیمارها در جدول ۹ آورده شد. اثر ساده دور آبیاری سه و چهار روز به‌ترتیب کاهش حدود ۱۸ و ۱۱ درصدی میزان کلروفیل $a+b$ را در پی داشت. این کاهش در میزان کلروفیل کل در گیاه شوید نیز تحت تنش خشکی مشاهده گردید (ستایش‌مهر و گنجعلی ۲۰۱۳). اما میزان کلروفیل کل در دور آبیاری دو روز با تلقیح باکتری و محلول‌پاشی سیلیس ۱۲X در بیشترین مقدار قرار داشت که افزایشی معنی‌داری حدود ۹۳ و ۴۰ درصد در مقدار آن به‌ترتیب نسبت به عدم محلول‌پاشی در شرایط تلقیح و کاربرد سیلیس و عدم تلقیح مشاهده شد. در مقایسه، در آبیاری چهار روز با وجود تلقیح باکتری و محلول‌پاشی سیلیس (تمامی غلظت‌ها) کلروفیل $a+b$

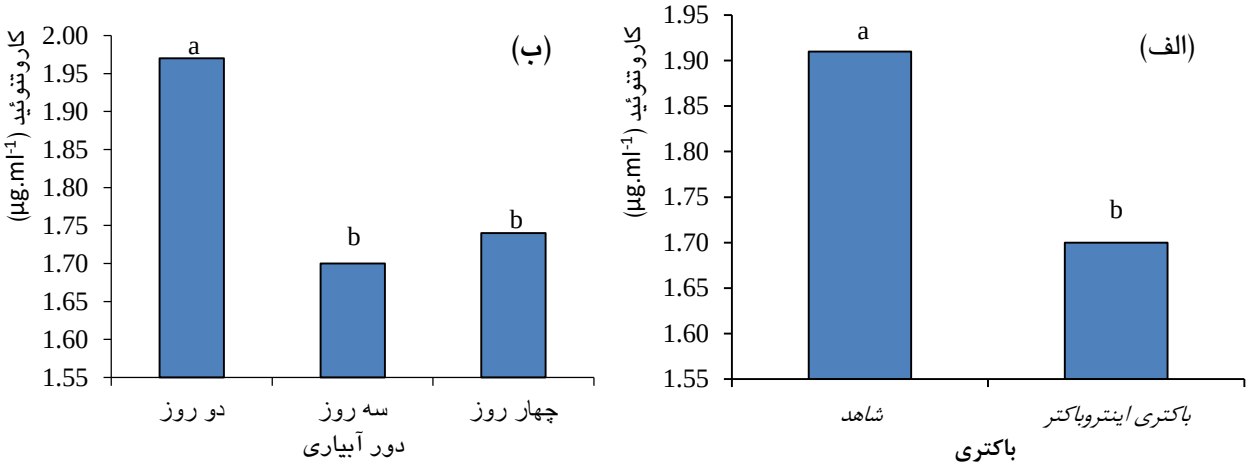
به‌طور معنی‌داری کمتر شد (جدول ۹). در همین زمینه مطالعات نشان داده است که سیلیس در گیاهان با بهبود ساختارهای گیاهی، برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی موجب افزایش میزان کلروفیل و استحکام ساختار گیاه شده و در نهایت سبب بهبود رشد و نمو گیاهان می‌گردد (لی و همکاران ۲۰۱۵). در همین رابطه فانی و حاجی هاشمی (۲۰۲۰) افزایش میزان کلروفیل کل گیاه کلمو (*Physorrhynchus chamaerapistrum*) را در اثر محلول‌پاشی سیلیس مشاهده کردند. به‌علاوه در آزمایش‌های مختلف اثر مثبت باکتری‌های افزاینده‌ی رشد بر میزان کلروفیل کل ریحان (محمدی بابازیدی و همکاران ۲۰۱۸) و گندم نان (مظفری و همکاران ۲۰۱۵) در شرایط تنش شوری و خشکی مشاهده گردید.

جدول ۹- اثر باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر میزان کلروفیل *a+b* (میکروگرم در میلی‌لیتر) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۱۱/۸۹$^{c-h}$	۱۲/۵۲$^{c-f}$	۱۴/۳۹^{a}
	۶C	۱۳/۵۸ $^{a-d}$	۹/۷۸$^{f-i}$	۱۰/۷۴$^{d-h}$
	۶X	۱۴/۳۲$^{a-c}$	۹/۲۶$^{h-j}$	۱۰/۴۱$^{e-h}$
	۱۲X	۱۳/۴۳$^{a-d}$	۸/۶۵^{ij}	۱۳/۳۹$^{b-d}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۸/۶۲^{ij}	۸/۵۱^{ij}	۱۲/۵۵$^{b-f}$
	۶C	۸/۴۶^{ij}	۱۱/۲۴$^{d-i}$	۹/۳۶$^{g-j}$
	۶X	۱۲/۴۱$^{b-g}$	۱۰/۷۳$^{e-i}$	۶/۶۹^{j}
	۱۲X	۱۶/۶۴^{a}	۱۰/۹۹$^{d-i}$	۱۱/۱۹$^{d-i}$

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند

نتایج نشان داد اثر ساده باکتری و تنش کم‌آبیاری بر مقدار کاروتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. به‌طوری‌که مقدار کاروتنوئید در تیمار تلقیح باکتری و دورهای آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که تلقیح باکتری کاهش ۱۱ درصدی (شکل ۱-الف) و تنش خشکی سه و چهار روز به‌ترتیب کاهش ۱۴ و ۱۲ درصدی (شکل ۱-ب) محتوی کاروتنوئید را نسبت به شاهد در پی داشت. تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید با کاهش پتانسیل آب و افزایش سطوح خشکی در گیاه شوید به‌میزان حدود ۷۴ درصد نسبت به شاهد داشت (ستایش‌مهر و گنجعلی ۲۰۱۳). اولیویرا-نتو و همکاران (۲۰۰۹)، تغییرات متابولیکی را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه سورگوم در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این محققان گزارش کردند که کاهش کارآیی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود. همچنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی را در پی داشت.



شکل ۱- اثر ساده باکتری *اینتروباکتر* (الف) **و دورهای مختلف آبیاری** (ب) **بر محتوی کاروتنوئید. میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند**

شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

برهمکنش باکتری، سیلیس و دورهای مختلف آبیاری بر شاخص کلروفیل برگ اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) نشان داد. اثر ساده دور آبیاری سه و چهار روز موجب افزایش به‌ترتیب حدود ۱۱ و ۱۲ درصدی شاخص کلروفیل برگ گردید. در همین رابطه، فانی و همکاران (۲۰۱۹) علت افزایش شاخص کلروفیل را در شرایط تنش خشکی کاهش سطح برگ دانستند. همچنین، دور آبیاری سه روز و سیلیس ۱۲x مقدار کمی افزایش را نشان داد. در مقایسه، تلقیح ریحان با باکتری در دور آبیاری سه و چهار روز شاخص کلروفیل برگ را به‌ترتیب حدود ۳۲ و ۱۳ درصد افزایش داد که کاربرد سیلیس در این تیمارها نتوانست تأثیر مثبتی بگذارد. به‌علاوه در آبیاری سه روز و کاربرد سیلیس ۶C و ۶X و آبیاری چهار روز و کاربرد سیلیس ۶X شاخص کلروفیل برگ ریحان در تلقیح با باکتری به‌ترتیب حدود ۲۰، ۱۰ و ۹ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش را نشان دادند (جدول ۱۰). سیلیسیم سبب افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود و با افزایش غلظت کلروفیل برگ، توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور زیاد شده و می‌تواند شدت‌های کم و زیاد نور را بهتر تحمل کند (خوش‌گفتارمنش ۲۰۱۰). در همین رابطه افزایش شاخص کلروفیل برگ در تحقیقات متعدد با کاربرد سیلیسیم در گل جعفری در دو رقم Boy Orange و Yellow Boy (سیوانسان و همکاران ۲۰۱۰) مشاهده گردید. همچنین حقیقی و مظفریان (۲۰۱۴) افزایش میزان فتوسنتز را با استفاده از نانوسیلیسیم دو میلی‌مولار نشان دادند اما در همین غلظت سیلیسیم کاهش میزان فتوسنتز را مشاهده کردند. علت این موضوع احتمالا نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر ذرات نانوسیلیسیم به بافت گیاه و اثرهای مورفولوژیک آن باشد (موسی و همکاران ۲۰۰۶). از طرفی در نتایج مشابه این آزمایش، قدمخانی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر ساده و توأم باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم *اینتروباکتر کلواسه* و *سودوموناس* بر شاخص کلروفیل برگ گندم مشاهده کردند بیش‌ترین مقدار کلروفیل گیاه در حضور باکتری *اینتروباکتر کلواسه* و مخلوط دو باکتری اتفاق افتاد.

درصد و عملکرد اسانس

نتایج نشان داد، برهمکنش باکتری، سیلیس و دورهای مختلف آبیاری بر درصد اسانس اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) داشت. اثر ساده تنش آبیاری سه و چهار روز به‌ترتیب موجب کاهش ۶ و افزایش ۲۱ درصدی درصد اسانس شد. در برهمکنش این تیمارها مشاهده شد، در شرایط عدم تلقیح ریحان، در دور آبیاری دو روز و کاربرد سیلیس ۶C و ۶X و در دور آبیاری چهار روز و کاربرد سیلیس ۱۲X نسبت به شاهد درصد اسانس افزایش معنی‌داری داشت. در گیاهان تلقیح شده با باکتری

در دور آبیاری سه روز با کاربرد سیلیس ۱۲Xو ۶C افزایش معنی‌داری مشاهده شد. اما در شرایط تلقیح و دور آبیاری چهار روز، کاربرد سیلیس کاهش درصد اسانس را در پی داشت (جدول ۱۱).

جدول ۱۰- برهمکنش سیلیس و باکتری *اینتروباکتر* بر شاخص کلروفیل برگ ریحان در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۳۸/۱۵$^{c-e}$	۳۵/۸۰$^{e-i}$	۳۷/۲۰$^{d-g}$
	۶C	۳۵/۶۵$^{e-i}$	۳۳/۴۵$^{g-k}$	۳۳/۸۵$^{f-j}$
	۶X	۳۲/۴۰$^{i-k}$	۳۳/۷۵$^{f-j}$	۳۷/۵۵$^{c-f}$
	۱۲X	۳۰/۷۰$^{k-m}$	۳۷/۲۵$^{d-g}$	۳۶/۳۵$^{d-h}$
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۳۶/۰۵$^{e-i}$	۴۷/۳۵^{a}	۴۲/۱۰^{b}
	۶C	۲۹/۷۵$^{k-m}$	۴۰/۰۵$^{b-d}$	۳۱/۴۰^{jk}
	۶X	۲۷/۱۵^{m}	۳۷/۱۵$^{d-g}$	۴۱/۱۰^{bc}
	۱۲X	۳۳/۳۰$^{h-k}$	۲۷/۸۰^{lm}	۳۴/۱۵$^{f-j}$

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

جدول ۱۱- اثر باکتری *اینتروباکتر* و سطوح مختلف سیلیس بر درصد اسانس گیاه ریحان در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۲/۱۸$^{e-i}$	۲/۷۴$^{c-f}$	۲/۶۸$^{c-g}$
	۶C	۳/۹۴^{ab}	۳/۵۴$^{a-c}$	۲/۴۳$^{d-h}$
	۶X	۳/۴۱$^{a-d}$	۲/۳۵$^{e-h}$	۲/۰۱$^{e-i}$
	۱۲X	۱/۱۶^{ij}	۱/۲۸^{ij}	۴/۲۵^{a}
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۱/۶۹$^{g-j}$	۰/۸۹^{j}	۳/۴۰$^{a-d}$
	۶C	۲/۱۶$^{e-h}$	۳/۰۰$^{b-e}$	۲/۹۷$^{b-e}$
	۶X	۱/۹۸$^{e-i}$	۱/۵۶^{ij}	۱/۸۰$^{f-j}$
	۱۲X	۱/۸۸$^{f-j}$	۱/۹۴$^{f-i}$	۲/۶۶$^{c-g}$

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

نتایج اثر متقابل سه تیمار مذکور بر عملکرد اسانس ریحان معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بود. اثر ساده تنش آبیاری چهار روز موجب افزایش حدود ۲۹ درصدی عملکرد اسانس گردید. اما تنش آبیاری سه روز اختلاف معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل (دو روز) نداشت. در برهمکنش این تیمارها، دور آبیاری دو روز ودر شرایط عدم تلقیح با باکتری و کاربرد سیلیس ۶C موجب افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس نسبت به شاهد به‌میزان حدود ۸۰ درصد شد. در تنش خشکی چهار روز با کاربرد سیلیس ۱۲X در عدم تلقیح بیش‌ترین عملکرد اسانس برابر با ۴۲/۴۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در مقابل با تلقیح باکتری در دور آبیاری دو و سه روز افزایش و در دور چهار روز کاهش در هر سه سطح سیلیس نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیلیس) مشاهده شد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲- برهمکنش باکتری *اینتروباکتر* و سیلیس بر عملکرد اسانس ریحان (کیلوگرم در هکتار) در شرایط کم‌آبیاری

باکتری	سیلیس	دور آبیاری		
		دو روز	سه روز	چهار روز
شاهد (بدون باکتری)	۰	۲۰/۸۱$^{d-i}$	۲۷/۴۵$^{b-e}$	۲۶/۸۵$^{b-e}$
	۶C	۳۹/۴۸^{a}	۳۵/۴۳^{ab}	۲۴/۳۴$^{d-g}$
	۶X	۲۹/۰۷$^{b-d}$	۲۳/۵۷$^{d-h}$	۲۰/۱۴$^{e-j}$
	۱۲X	۱۱/۶۴^{jk}	۱۲/۷۷^{jk}	۴۲/۴۹^{a}
تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر*	۰	۱۴/۴۵$^{i-k}$	۸/۹۷^{k}	۳۴/۰۴$^{a-c}$
	۶C	۲۱/۶۵$^{d-i}$	۲۹/۹۷$^{b-d}$	۲۹/۷۸$^{b-d}$
	۶X	۱۹/۸۵$^{e-j}$	۱۵/۵۹$^{h-k}$	۱۸/۰۴$^{f-j}$
	۱۲X	۱۵/۷۹$^{g-j}$	۱۹/۴۷$^{e-j}$	۲۶/۶۰$^{c-f}$

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند

تحقیقات محمدنیا و همکاران (۲۰۱۸) در رابطه با میزان اسانس گیاه ریحان نشان داد، با افزایش فاصله‌ی آبیاری از چهار روز به هفت روز(از ۹۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) تغییری در میزان اسانس مشاهده نشد ولی در فاصله‌ی آبیاری نه روز (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان اسانس افزایش معنی‌داری نشان داد و کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت صفر و دو میلی‌مولار در آبیاری چهار تا هفت روز و غلظت دو میلی‌مولار در آبیاری نه روز باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس گیاه ریحان شد و بیش‌ترین آن در تیمار آبیاری نه روز و سیلیس دو میلی‌مولار نسبت به شاهد به‌دست آمد. از طرفی دمیر کایا و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقات خود مشاهده کردند که شوری عملکرد اسانس در خانواده‌ی نعناعیان را کاهش می‌دهد اما تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش درصد روغن‌های ضروری بیشتر گیاهان دارویی شود زیرا در این حالت متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول می‌گردند. دامبولنا و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی تأثیر تنش آبی بر ارتفاع و عملکرد اسانس چند گونه گیاه دارویی نشان دادند که هرچند بالاترین سطح تنش آبی، ارتفاع بوته و وزن تر و خشک گیاه را کاهش داد اما به‌طور معنی‌داری میزان اسانس را در مرحله‌ی گلدهی افزایش داد که مطابق با نتایج این پژوهش است. در گیاه آویشن نیز تنش خشکی تا میزان ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، موجب افزایش درصد اسانس شد و با افزایش تنش درصد اسانس کمتر شد. تأثیر تنش خشکی بر کاهش درصد اسانس گیاهان را می‌توان این‌گونه بیان داشت که به‌طور کلی، کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد که پیامد آن کم‌شدن ذخیره کربن و کاهش درصد اسانس است (محمدپور وشوایی و همکاران ۲۰۱۵). نتایج این پژوهش با نتایج ذکر شده در مورد تأثیر سیلیس مطابقت دارد به طوری که با کاربرد سیلیس با غلظت ۱۲X در تنش خشکی شدید درصد و عملکرد اسانس ریحان افزایش یافت.

تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر باکتری‌های افزاینده‌ی رشد بر اسانس گیاهان انجام شده است به‌طوری‌که محققین نقش مثبت تیمار باکتری‌های ریزوسفری را بر میزان ترکیبات اصلی اسانس گیاهان ریحان و نعناع گزارش کرده‌اند (بانچیو و همکاران ۲۰۰۹ و ماریسل و همکاران ۲۰۱۱). زعفرانی معطر و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده کردند که در همه سطوح تنش کم‌آبی، تلقیح بادرشبو با *اینتروباکتر*، *آگروباکتریوم* و قارچ شبه‌میکوریز باعث افزایش عملکرد پیکره رویشی و عملکرد اسانس گیاه در مقایسه با تیمار شاهد بدون تلقیح شد و میزان افزایش عملکرد اسانس بادرشبو در تیمارهای *آگروباکتریوم* و قارچ شبه‌میکوریز بیشتر از تیمار تلقیح با *اینتروباکتر* بود. این افزایش تولید اسانس در تلقیح با باکتری‌ها می‌تواند به‌دلیل فعال شدن سازوکار دفاعی گیاهان باشد (بانچیو و همکاران ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج بیانگر کاهش صفات رشدی و برخی صفات فیزیولوژیک ازجمله کلروفیل a و $a+b$ و کاروتنوئید در دور آبیاری سه و چهار روز (شرایط کم‌آبیاری) بود. اما شاخص کلروفیل برگ در دور آبیاری سه و چهار روز و درصد و عملکرد اسانس در دور آبیاری چهار روز بیشتر شد. همچنین در برهمکنش این تیمارها، بیشترین مقدار در صفات مورفولوژیک مربوط به آبیاری کامل با کاربرد سیلیس ۶X بود. علاوه بر این در شرایط کم‌آبیاری سیلیس ۱۲X نیز در برخی از صفات بسیار مفید واقع شد. در صفات فیزیولوژیک بیشترین میزان کلروفیل a و $a+b$ مربوط به آبیاری کامل با کاربرد سیلیس ۱۲X و تلقیح باکتری و درصد و عملکرد اسانس نیز مربوط به آبیاری چهار روز با کاربرد سیلیس ۱۲X بودند. با توجه به این نتایج به‌نظر می‌رسد تأثیر مثبت سیلیس بر بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیک ریحان بیشتر از باکتری *اینتروباکتر* می‌باشد. به‌علاوه کاربرد سیلیس با غلظت بالا (X) نتایج بهتری نسبت به غلظت پایین (C) در شرایط کم‌آبیاری نشان داد.

سپاسگزاری

به‌این‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان برای اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abdalla MM. 2010. Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(5): 1076-1089.

Adams RP. 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 4th Edition Allured Publishing Corporation, Carol Stream.

Ahmad F, Ahmad I and Khan M. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiological Research, 163: 173-181.

Alipour N, mahdavi K, Mahmoudi J and Ghelichnia H. 2015. Investigation into the effect of environmental conditions on the quality and quantity of essential oil of *Stachys laxa*. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 28(3): 561-572. (In Persian).

Arazmjo E, Heidari M and Ghanbari A. 2010. Effect of water stress and type of fertilizer on yield and quality of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 12(2): 100-111. (In Persian).

Arouiee H, Nasseri M, Neamati H and Kafi M. 2014. Effects of silicon on salinity tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi), 27(104): 165-172. (In Persian).

Artyszak A, Gozdowski D.and Kucińska K. 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcitein sugar beet. Plant Soil Environment, 60(9): 413–417.

Babaee K, Amini Dehaghi M, Modares Sanavi SAM and Jabbari R. 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(2): 239-251. (In Persian).

Bakhshandeh E, Pirdashti H and Shahsavarpour Lendeh K. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering, 103: 164-169.

Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti H and Nematzadeh GA. 2014. Phosphat solubilization potential and modeling of rhizobacteria from rice paddy soil in northen Iran. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 30: 2437-2447.

Banchio E, Bogino PC, Santoro M, Torres L, Zygadlo J and Giordano W. 2010. Systemic induction of monoterpene biosynthesis in *Origanum x majoricum* by soil bacteria. Journal of Agricultural Food Chemistry, 58(1): 650-654.

Banchio E, Xie X, Zhang H and Pare PW. 2009. Soil bacteria elevate essential oil accumulation and emissions in sweet basil. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 57(2): 653-657.

Baset Mia MA, Shamsuddin ZH and Mahmood M. 2012. Effects of rhizobia and plant growth promoting bacteria inoculation on germination and seedling vigor of lowland rice. African Journal of Biotechnology, 11(16): 3758-3765.

Bhardwaj D, Ansari MW, Sahoo RK and Tuteja N. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microbial Cell Factories, 13(66): 1-10.

Dambolena JS, Zunino MP, Lucini EI, Olmedo R, Banchio E, Bima PJ and Zygadlo JA. 2010. Total phenolic content, radic alscavenging properties and essential oil composition of *Origanum* species from different populations. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 1115-1120.

Dehghani Bidgoli R, Azrnejad N and Akhbari M. 2018. Reducing the effects of drought stress in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) plant by using PGPR. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 4(2): 67-80. (In Persian).

Dehghanpur H and Dehganizadeh H. 2014. Factors affecting the consumption of medicinal plants in the city of Yazd. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(1): 57-67. (In Persian).

Demir Kaya M, Gamze O and Yakup MC. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy, 24: 291-295.

Dimkpa C, Weinand T and Asch F. 2009. Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. Plant, Cell and Environment, 32: 1682-1694.

Egamberdieva D and Kucharova Z. 2009. Selection for root colonizing bacteria stimulating wheat growth in saline soils. Biology and Fertility of Soils, 45(6): 563-571.

Emam Y and Niknejad M. 2011. An introduction to the physiology of crop yield. Shiraz University Press, Shiraz. 591 pp. (In Persian).

Epstein E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology, 155:155-160.

Fallah A, Noori S and Niknejade Y. 2016. Investigation of effects of environment and silicon spray on vegetative growth of rice cultivars in autumn season. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 2(2): 47-58. (In Persian).

Fani E and Hajihashemi S. 2020. Effect of foliar application of silica on some physiological traits of (*Physorrhynchus Chamaerapistrumare* L.) medicinal plant. Bi-Quarterly Journal of Plant Production, 10(1): 92-101. (In Persian).

Fani E, Hassibi P, Meskarbashee M, Mehdi Khanlou K and Seyedahmadi S. 2019. Evaluation of the effect of drought stress and silica spraying on some physiological characteristics of canola cultivars. Crop Physiology Journal, 11(42): 5-15. (In Persian).

Farazi M, Goldani M, Nasiri Mahallati M, Nezami A and Rezaei J. 2018. Investigating the effect of silicon and potassium foliar spraying and additional soil application of potassium on quantitative and qualitative yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under moisture stress conditions. Applied Field Crops Research, 31(3): 1-19. (In Persian).

Ghadamkhani A, Enayatizamir N and Norouzi Masir M. 2017. Effects of potassium solubilizing bacteria on potassium uptake and some growth indicators of wheat under greenhouse conditions. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 7(3): 139-152. (In Persian).

Guo Z. 2000. Synthesis of the needle-like silica nanoparticles by biomineral method. Chemical Journal of Chinease Universities, 21(6): 847-848.

Haghighi M and Mozafariyan M. 2014. Effect of Si and nano-Si on growth, morphological, and photosynthetic attributes of tomato in hydroculture. Journal of Soil and Plant Interactions, 5(3): 37-48. (In Persian).

Hajipour H, Jabbarzadeh Z and Rasouli Sadaghiani MH. 2019. Effect of foliar application of silica on some growth, biochemical and reproductive characteristics and leaf elements of chrysanthemum (*Dendranthema×Grandiflorum* cv. Fellbacher Wein). Journal of Soil and Plant Interactions, 10(1): 29-46. (In Persian).

Han HS, Supanjani and Lee KD. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment, 52(3): 130-136.

Hassan TU and Bano A. 2015. Role of carrier-based biofertilizer in reclamation of saline soil and wheat growth. Archives of Agronomy and Soil Science, 61: 1719-1731.

Hosseinalipour B, Rahnama A and Farrokhian Firouzi A. 2020. Effect of drought stress on wheat root growth and architecture at vegetative growth stage. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(1): 63-75. (In Persian).

Imtiaz M, Rizwan MS, Mushtaq MA, Ashraf M, Shahzad SM, Yousaf B, Saeed DA, Rizwan M, Nawaz MA, Mehmood S and Tu S. 2016. Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A reviews Journal of Environmental Management, 183: 521–529.

Jabbarzadeh Z and Hajipour H. 2018. Growth and photosynthetic responses of chrysanthemum to foliar application of sodium and calcium silicate. Journal of Plant Process and Function, 6(19): 129-138. (In Persian).

Jaleel CA, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Jasim H, Somasundaram R and Pannerselvam R. 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology, 11: 100-105.

Javaheri T, Lakzian A, Khorasani R and Taheri P. 2014. Acid and alkaline phosphatase enzyme activities of different strains of soil fungi in the presence of organic compounds of phosphorus (phytic acid and sodium glycerophosphate). Journal of Soil Biology, 2(1): 1-11. (In Persian).

Javanmardi J, Khalighi A, Khashi A, Badil HP and Vivanco JM. 2002. Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. Journal Agriculture Food Chemistry, 50(21): 5878-5883.

Juliani UR and Simon JE. 2002. Antioxidant activity of basil. Trends in new crops and new uscs, 575-579.

Kamrava S, Babaeian Jolodar N and Bagheri N. 2017. Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean genotypes. Journal of Crop Breeding, 9(23): 95-104. (In Persian).

Karimi F, Sepehri M, Afuni M and Hajabbasi MA. 2015. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on barley resistance to lead. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 19(71): 311-321. (In Persian).

Kasim WA, Osman ME, Omar MN, Abd EI-Daim IA, Bejai S and Meijer J. 2013. Control of drought stress in wheat using plant growth promoting bacteria. Journal of Plant Growth Regulation, 32(1): 122-130.

Kaya C, Tuna L and Higgs D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress condition. Journal of Plant Nutrition, 29: 1469-1480.

Keller C, Guntzer F, Barboni D, Labreuche J and Meunier JD. 2012. Impact of agriculture on the Si biogeochemical cycle: input from phytolith studies. Comptes Rendus Geoscience, 344:739-746.

Khandan-Mirkohi A, Taheri MR, Zafar-Farrokhi F and Rejali F. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) under drought stress on growth of ornamental osteospermum (*Osteospermum hybrida* 'Passion Mix'). Iranian Journal of Horticultural Science, 47(2): 177-191. (In Persian).

Khoshgoftarmanesh AH. 2010. Advanced concepts in plant nutrition. Isfahan University of Technology Publication Center. Isfahan, Iran. 376 pp. (In Persian).

Khosrofard ZS, Eshghi S, Rastgoo S and Hedayat M. 2017. Effect of root and foliar applications of silicon on growth of strawberry and mineral nutrient uptake under salinity stress in soilless culture. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 18(2): 195-208. (In Persian).

Klassen-Langlois D, Kipp W, Jhangri GS and Rubaale T. 2007. Use of traditional herbal medicine by AIDS patients in Kabarole District, Western Uganda. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 77(4): 757-763.

Lavakush Yadava J, Verma JP, Jaiswal DK and Kumar A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phophorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa* L.). Ecological Engineering, 62: 123-128.

Li H, Zhu Y, Hu Y, Han W and Gong H. 2015. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. Acta Physiologiae Plantarum, 37(71): 1-9.

Liang Y, Sun W, Zhu YG and Christie P. 2007. Mechanisms of silicon mediated alleviation of a biotie stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution, 147: 422-428.

Lichtenthaler HK and Buschmann C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UVVISspectroscopy. Pp. F4.3.1-F4.3.8. In: Wrolstad RE, Acree TE, An H, Decker EA, Penner MH, Reid DS, Schwartz SJ,Shoemaker CF and Sporns P (eds). Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley and Sons.

Lockie A. 2006. Encyclopedia of homeopathy. Dorling Kindersley Publishing, New York. 336 pp.

Ma CC, Li QF, Gao YB and Xin TR. 2004. Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. Soil Science and Plant Nutrition, 50:623-632.

Maghsoudi K and Emam Y. 2016. Response of bread wheat cultivars to foliar application of silicon under post anthesis drought stress conditions. Journal of Crop production and processing, 6(19): 1-13. (In Persian).

Mahmoudzadeh M, Rasouli Sadaghiani M and Asgari Lajayer H. 2016. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha pipperita* L.) under greenhouse conditions. Journal of Soil and Plant Interactions, 6(4): 155-168. (In Persian).

Maricel VS, Zygadlo J, Giordano W and Banchio E. 2011. Volatile organic compounds from rhizobacteria increase biosynthesis of essential oils and growth parameters in peppermint (*Mentha piperita*). Plant Physiology and Biochemistry, 49(10): 1177-1182.

Marrotti M, Piccaglio R and Giovanelli E. 1996. Differences in essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.*)* Italian cultivars related to morphological characteristics. Journal and Food Chemistry, 44: 3926-3929.

Michele A, Douglas T and Frank A. 2009. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. Plant Ecology, 200: 205-215.

Mohaghegh P, Shirvani M and Ghasemi S. 2010. Silicon application effects on yield and growth of two cucumber genotypes in hydroponics system. Journal of Soil and Plant Interactions, 1(1): 35-40. (In Persian).

Mohamadnia R, Rezaei Nejad A and Bahraminejad S. 2018. Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science, 49(1): 37-45. (In Persian).

Mohammadi Babazeidi H, Hatami A, Barari M, Zare MJ and Falaknaz M. 2018. Effect of Azospirillium on the morphological and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum*) under salt stress. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 8(29): 58-68. (In Persian).

Mohammadi Kashka F, Pirdashti H, Yaghoubian Y and Bahari Saravi SH. 2016. Effect of *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* coexistence with *Enterobacter* sp. on the growth and photosynthetic pigments of pepper (*Capsicum annuum* L.) plant. Journal of Plant Ecophysiology, 8(26): 121-133. (In Persian).

Mohammadi Kashka F, Pirdashti H, Yaghoubian Y and Bakhshandeh E. 2017. Evaluation of Growth and Yield Stability of Wheat by Application of *Trichoderma* and *Enterobacter* sp. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(4): 1-15. (In Persian).

mohammadpour vashvaei R, Galavi M, Ramroudi M and Fakheri BA. 2015. Effects of drought stress and bio-fertilizers inoculation on growth, essential oil yield and constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Agroecology, 7(2): 237-253. (In Persian).

Moradi S, Sheikhi J and Zarei M. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium on shoot and root growth of chickpea in a calcareous soil. Internationale Journal of Agriculture, 3: 381-385.

Motomura H, Mita N and Suzuki M. 2002. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae–Bambusoideae). Annual Botany, 90: 149-152.

Moussa HR. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). Internationale Journal of Agricultural Biology, 8(2): 293-297.

Mozaffari A, Daneshian J, Habibi D, shirani rad A and Asgharzadeh A. 2015. Investigation the effect of plant growth promoting rhizobactria on some morphophysiological traits of bread wheat under terminal drought stress conditions. Crop Physiology Journal, 7(26): 21-36. (In Persian).

Noumavo PA, Kochoni E, Didagbe YO, Adjanohoun A, Allagbe M, Sikirou R, Gachomo EW, Kotchoni SO and Baba-Moussa L. 2013. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. American Journal of Plant Science, 4: 1013-1021.

Oliviera-Neto CF, Silva-Lobato AK, Goncalves-Vidigal MC, Costa RCL, Santos Filho BG, Alves GAR, Silva-Maia WJM, Cruz FJR, Neres HKB and Santos Lopes MJ. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Science and Technology, 7: 588-593.

Patten CL and Glick BR. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in the development of the host plant root system. Applied and Environmental Microbiology, 68: 3795-3801.

Rejeb I, Pastor V and Mauch-Mani B. 2014. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. Plants, 3(4): 458-475.

Sajid M, Zahir N, Zahir A, Naveed M, Arshad M and Shahzad SM. 2006. 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.

Savvas D and Ntatsi G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. Scientia Horticulturae, 196: 66-81.

Savvas D, Manos G, Kotsiras A and Souvaliotis S. 2002. Effect of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. Journal Applied Botanic, 76: 153-158.

Setayesh-Mehr Z and Ganjeali A. 2013. Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Horticultural Science, 27(1): 27-35. (In Persian).

Shahsavarpour Lendeh K, Pirdashti H and Bakhshandeh E. 2018. Effect of different methods of inoculations with a native plant growth promoting bacteria on some vegetative characteristics and yield of rice (cv. 'Tarom Hashemi') under different levels of potassium fertilizer. Journal of Crops Improvement, 20(1): 235-247. (In Persian).

Sharma AK. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India. 300 pp.

Silva MA, Jifon JL, Silva JAG and Sharma V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19: 193-201.

Sivanesan I, Son MS, Lee JP and Jeong BR. 2010. Effect of silicon on growth of *Tagetes patula* L. Boy Orange' and 'Yellow Boy' seedlings cultured in an environment controlled chamber. Propagation of Ornamental Plants, 10(3): 136-140.

Sun CW, Liang YC and Romheld V. 2005. Effects of foliar- and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in (*Cucumis sativus.*). Journal Plant Pathology, 54: 678-685.

Vasanthi N, Saleena LM and Raj SA. 2012. Silicon in day today life. World Applied Sciences Journal, 17: 1425-1440.

Veisipour A, Majidi MM and Mirlohi AF. 2015. Evaluation of iranian sainfoin ecotypes (*Onobrychis viciifolia* Scop.) under non-stress and drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 46(2): 327-338. (In Persian).

Verma JP, Yadav J, Tiwari KN and Kumar A. 2013. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. And plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. Ecological Engineering, 51:282-286.

Yadav A, Yadav K and Aggarwal A. 2015. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi with *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* on growth, yield and oil content in *Helianthus annuus* L. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 18(2): 444-454.

Yadav J, Verma JP and Tiwari KN. 2010. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on seed germination and plant growth chickpea (*Cicer arietinum* L.) under in vitro conditions. Biology Forum International Journal, 2: 15-18.

Yousefi M, Enteshari S and Saadatmand M. 2014. Effects of silica treatment on some morphological, anatomical and physiological characteristics of Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & C.A. Mey). Journal of Soil and Plant Interactions, 5(2): 83-94. (In Persian).

Zafarani Moattar P, Amini R, Shakiba MR and Sarikhani MR. 2021. Effect of inoculation with PGPRs and mycorrhiza-like fungi on some growth traits and essential oil yield of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under water deficit stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(4): 111-126. (In Persian).