University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 2, pp. 487-500 (Summer 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4769.2066

Original article

Effect of water deficit stress and separate, dual and triple combined inoculation of some growth promoting bacteria on agromorphological traits of Lemon balm

V. Torfi[1], A. Danesh-Shahraki [2], M. Ghobadinia[3*], K. Saeidi[4]

1. Ph.D. Student of Crop Physiology, Biotechnology Research Institute, Shahrekord University, Iran
2. Associate Professor,Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4. Associate Professor, Department of Horticulture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received 13 October 2021; Accepted 15 January 2021

Extended abstract

Introduction

Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) is one of the most important plants in family Lamiaceae that is involved in the treatment of diseases such as insomnia, anxiety, depression, neurological diseases, migraine, nervous disorders of the stomach. The most antioxidant activity of the plant was related to leaves, stems and flowers, respectively. The essential oil of lemongrass leaves had more antioxidant activity than stem and flower essential oils. Nowadays, drought stress is considered as the most important factor in reducing production, especially in arid and semi-arid regions. Given the importance and role of medicinal plants in various industries, a significant point in the production of these plants is to increase their biomass production without the use of chemical inputs, especially in drought stress. It seems that application of plant growth promoting bacteria has positive effect on the yield and quality of medicinal plants under biological and non-biological stress conditions. Therefore, the present study was designed and conducted to investigate the effect of some plant growth-promoting bacteria on agromorphological traits of Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) in water deficit conditions.

Materials and methods

The factorial pot experiment was performed in a randomized complete block design with three replications in the open area of the research greenhouse of Shahrekord University, Faculty of Agriculture during 2009-2010 growing season. The experimental factors were water deficit stress at three levels (full irrigation, 75% and 50% of full irrigation) and bacterial inoculation treatments at eight levels (non-bacterial inoculation as control treatment, separate inoculation of Bacillus licheniformis, Bacillus megaterium and Pseudomonas putida, bacterial inoculation of B. licheniformis * B. megaterium, P. putida * *B. megaterium* and B. licheniformis * P. putida as dual inoculation and bacterial inoculation of P. putida * B. licheniformis * *B. megaterium* as triple inoculation). After harvest, plant height, leaf dry weight, stem dry weight, biological yield, root dry weight and root volume were measured. Leaf area was also measured using Digimizer software. Analysis of variance using SAS software, comparison of means by LSD test at 5% probability level and drawing graphs with Excel software were performed.

* Corresponding author: Abdolrazagh Danesh-Shahraki; E-Mail: ar.danesh2000@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion
The results showed that the main effects of different levels of water deficit stress on all studied traits except plant height were significant at the level of 1% probability. So that water stress at the level of 100% full irrigation increased plant height, leaf dry weight, stem dry weight, root dry weight, biological yield, leaf area and water use efficiency compared to 50% of full irrigation by 17.6%, 124.5%, 79.1%, 65.6%, 102%, 384.4% and 43% respectively. The main effects of bacterial inoculation treatments on plant height, leaf dry weight, biological yield, leaf area, root dry weight, proline content and water use efficiency were significant at 1% probability level and on root volume at 5% probability level, while on dry stem weight trait no significant effect. Interaction effects of bacterial inoculation treatments and different levels of water deficit stress on leaf area, root dry weight, root volume and proline content at 1% probability level, on leaf dry weight, biological yield and water use efficiency at 5% probability level were significant and on plant height and stem dry weight had no significant effect.

Conclusion
According to the results, all bacterial inoculation treatments in non-stress conditions were able to improve the studied traits, effectively while in stress conditions, bacterial inoculation treatments at 75% stress and 50% irrigation levels, except in plant height and water use efficiency and proline content at 50% irrigation level had no significant effect on other traits.

***Keywords*:** Biofertilizer, Drought stress, Pseudomonas, Sustainable agriculture, Water use efficiency

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4769.2066

مقاله پژوهشی

اثر تنش کمبود آب و تلقیح جداگانه، ترکیب‌های دوگانه و سه‌گانه برخی باکتری‌های محرک رشد بر صفات اگرومورفولوژیک بادرنجبویه

وفا طرفی[۱]، عبدالرزاق دانش شهرکی[۲*]، مهدی قبادی‌نیا[۳]، کرامت الله سعیدی[۴]

۱. دانشجوی دکتری زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، پژوهشکده زیست‌فناوری، دانشگاه شهرکرد
۲. دانشیار، گروه مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۴. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تنش خشکی
راندمان مصرف آب
سودوموناس
کشاورزی پایدار
کود زیستی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۰/۲۵

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۲

۱۶(۲): ۴۸۷-۵۰۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کمبود آب و تلقیح باکتریایی بر صفات اگرومورفولوژیک بادرنجبویه، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در محوطه فضای آزاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای مورد آزمایش آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد آبیاری) و تیمارهای تلقیح باکتریایی در هشت سطح (عدم تلقیح باکتریایی به‌عنوان تیمار شاهد، تلقیح جداگانه *Bacillus licheniformis*، *Bacillus megaterium* و *Pseudomonas putida*، تلقیح باکتریایی *B. megaterium* × *B. licheniformis*، *P. putida* × *B. megaterium* و *P.* × *B. licheniformis* *putida* به‌صورت تلقیح دوگانه و تلقیح باکتریایی *P. putida* × *B. licheniformis* × *B. megaterium* به‌عنوان ترکیب سه‌گانه) در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر تلقیح باکتریایی بر ارتفاع بوته، سطح برگ، عملکرد بیولوژیک، وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱٪ و بر حجم ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. اثر سطوح آبیاری بر تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثرات متقابل تیمارهای تلقیح باکتریایی و سطوح مختلف تنش کمبود آب بر سطح برگ، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و پرولین در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن خشک برگ، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و بر ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه اثر معنی‌دار نداشتند. آبیاری کامل نسبت به سطح تنش ۵۰ درصد آبیاری کامل عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب را به ترتیب ۱۰۲٪ و ۴۳٪ افزایش داد. تیمار تلقیح باکتریایی *B. megaterium* بیشترین تأثیر را بر رشد بادرنجبویه در شرایط کشت گلدانی داشت. به‌طوری‌که در تیمار آبیاری کامل، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶۲/۵ و ۲۷/۵ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج این پژوهش به‌منظور بهبود عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب در بادرنجبویه، در شرایط بدون تنش و شرایط تنش متوسط، به ترتیب تلقیح گیاه با باکتری‌های *B. megaterium* و *B. licheniformis* پیشنهاد می‌شود.

مقدمه

ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[۱])، باکتری‌های خاکزی هستند که می‌توانند رشد گیاهان را افزایش داده و از طریق مکانیسم‌های متعددی آن‌ها را در برابر فشارهای زیستی و غیرزیستی محافظت کنند (Khademian et al., 2019; Akhtar et al.,2020). ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه به جنس‌های مختلف مانند باسیلوس، سودوموناس، انتروباکتر، آزوسپریلوم و ازتوباکتر تعلق دارند و اعتقاد بر این است که رشد گیاهان را هم در شرایط عادی و هم در شرایط

[۱] Plant Growth Promoting Rhizobacteria

* نگارنده پاسخگو: عبدالرزاق دانش شهرکی. پست الکترونیک: ar.danesh2000@gmail.com

تنش تقویت می‌کند (Vimal et al., 2017; Goswami and Suresh, 2020). یکی از مکانیسم‌های بهبود رشد گیاهان و تحمل تنش توسط ریزجانداران مفید، قابلیت آن‌ها در سنتز هورمون‌ها در ریزوسفر یا بافت ریشه است (Kumar et al., 2019). ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه فیتوهورمون‌های زیادی (اکسین، سیتوکینین و جیبرلین) تولید می‌کنند که از طریق تحریک فرآیندهای متابولیکی مختلف، رشد و عملکرد گیاه را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بهبود می‌بخشند (Aslam et al., 2020). هورمون‌های گیاهی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد هستند. آن‌ها به دلیل تأثیر قابل‌توجهی که در متابولیسم ثانویه گیاه دارند شناخته‌شده‌اند و علاوه بر این، آن‌ها نقش مهمی در تحریک مکانیسم‌های پاسخ دفاعی گیاه در برابر تنش‌ها دارند (Kumar et al., 2019).

در بین تنش‌ها، خشکی به‌عنوان ویران‌کننده‌ترین تنش محیطی در نظر گرفته شده است که باعث کاهش بهره‌وری محصولات زراعی بیش از سایر تنش‌های محیطی می‌شود (Akhtar et al., 2020). خشکی، روابط آب را مختل می‌کند، مصرف آب در گیاهان را کاهش داده و متعاقباً رشد طبیعی را مختل می‌کند (Akhtar et al., 2020). ریزجانداران بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل مزیت تحمل به خشکی، می‌توانند به گیاهان میزبان کمک کنند تا تنش خشکی را کنار بگذارند (Shirinbayan et al., 2019). لیدیکوت و همکاران (Liddycoat et al., 2009) گزارش کردند ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند تأثیرات مثبتی بر بنیه، رشد و باروری بذر مارچوبه (*Asparagus officinalis* L.) به‌ویژه در شرایط تنش خشکی داشته باشد. نتایج شیرین‌بیان و همکاران (Shirinbayan et al., 2019) نشان داد که تلقیح بذر ذرت با ازتوباکتر در شرایط کمبود آب منجر به افزایش رشد گیاه و غلظت عناصر غذایی می‌شود. اختر و همکاران (Akhtar et al., 2020) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد گیاه متعلق به جنس باسیلوس مزایای بیش‌تری نسبت به سایر جنس‌های ریزوباکتریایی در شرایط محدودیت آب داشته است. سویه‌های باسیلوس و سودوموناس آنزیم ACC دِآمیناز تولید می‌کنند که ACC را به NH_4 و α-ketobutyrate تجزیه می‌کند و موجب کاهش سطح سنتز اتیلن تنشی و آسیب ناشی از اتیلن به گیاه می‌شود (Getahun et al., 2020). ACC در پاسخ به تنش‌هایی مانند خشکی، سرما، سیل، پاتوژن و فلزات سنگین در گیاه سنتز می‌شود (Glick, 2012). ریشه گیاهانی که توسط باکتری‌های محرک رشد با قابلیت ACC دِآمیناز تلقیح شده‌اند، نسبت به تنش‌های محیطی تحمل بیشتری نشان دادند. استفاده از ریزوباکتری‌های محرک رشد که برای رشد گیاه در شرایط کم آب سودمند است، می‌تواند راه‌حل ممکن کاهش اثرات تنش باشد (Thakur et al., 2021). یکی از جنبه‌های مهم در تولید گیاهان دارویی، عدم استفاده یا حداقل استفاده از نهاده‌های شیمیایی در کشت و بهره‌وری از گیاهان دارویی است.

بادرنجبویه با نام علمی *Melissa officinalis* L. و نام انگلیسی Lemon balm گیاهی علفی چندساله از تیره نعناعیان است (Davazdah Emami, and Majnoun Hosseini, 2013). بادرنجبویه تنوع زیادی در ترکیبات ثانویه و به‌ویژه اسانس دارد. از گیاه بادرنجبویه در درمان اختلالات خواب، بیماری‌های عصبی، میگرن، افسردگی، حالت تهوع، ناراحتی عصبی معده، کم‌اشتهایی، سرفه، دندان‌درد و لرزش‌های عصبی استفاده می‌شود (Mahmodi et al., 2016). با توجه به ارزش گیاهان دارویی به‌طور عام و گیاه بادرنجبویه به‌طور خاص و همچنین اهمیت استفاده بهینه از منابع آبی با توجه به محدودیت این منابع و همین‌طور اهمیت حفظ سلامت محیط‌زیست با استفاده از تیمارهای بیولوژیک و بهبود خصوصیات آگرومورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی بادرنجبویه تحت شرایط کم‌آبی، این پژوهش اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک¬های کامل تصادفی در محوطه آزاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد (عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۱۱۶ متر و با اقلیم نیمه مرطوب و معتدل) با ۸ تیمار باکتریایی و ۳ سطح تنش کمبود آب در ۳ تکرار به‌صورت گلدانی در فضای آزاد در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ طراحی و اجرا شد. تیمارهای باکتریایی مورد آزمایش در این مطالعه شامل عدم تلقیح باکتریایی به‌عنوان تیمار شاهد، تلقیح باکتریایی *Bacillus licheniformis*، *Bacillus megaterium* و *Pseudomonas putida* به‌صورت جداگانه، تلقیح باکتریایی به‌صورت ترکیب دوگانه (*B. megaterium* × *B. licheniformis*، *P.putida* × *B. megaterium* و *B. licheniformis* × *P. putida*) و تلقیح

باکتریایی به‌صورت ترکیب سه‌گانه (*P. putida* × *B. licheniformis* × *B. megaterium*) و همچنین سطوح مختلف آبیاری به‌صورت آبیاری کامل، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد آبیاری کامل در نظر گرفته شدند. باکتری‌های مورداستفاده از پژوهشکده زیست‌فناوری دانشگاه شهرکرد تهیه شدند. مایه تلقیح باکتریایی با استفاده از محیط کشت TSB و روش کدورت سنجی که میزان جذب آن در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر روی ۰/۵ تنظیم شده بود، تهیه شد. جهت کشت از گلدان-هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد که از هشت کیلوگرم خاک مزرعه پر شدند. قبل از پر کردن گلدان‌ها، با نمونه‌برداری از خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده تعیین شد (جدول ۱ و ۲). نیاز غذایی گیاه بادرنجبویه (۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم فسفر و ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) با توجه به نتایج آزمون خاک محاسبه و اعمال گردید (Omidbaigi, 2015).

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی خاک مورداستفاده

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of the research farm

Cu مس	Fe آهن	Mn منگنز	Zn روی	P فسفر	K پتاسیم	O.C کربن آلی	T.N.V آهک	N ازت کل	pH	E.C.
		mg.kg^{-1}				%	%	%		(dS.m^{-1})
0.83	2.61	8.37	0.56	12.3	319	0.332	25.5	0.037	8.02	0.401

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی خاک مورداستفاده

Table 1. Soil physical characteristics of the research farm

Texture بافت	Clay رس	Silt سیلت	Sand شن
Clay loam	37.5%	39.0%	23.5%

جهت کشت از نشاءهای هم سن و هم‌اندازه از توده شیراز به طول ۱۵-۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. قبل از کشت ریشه نشاها به مدت ۲ ساعت با سوسپانسیون باکتری تلقیح شدند و پس از گذشت زمان تلقیح، ۳ عدد نشا در گلدان‌ها کشت و بلافاصله آبیاری انجام شد. آبیاری‌ها تا مرحله اعمال تنش‌ها مطابق با نیاز آبی گیاه انجام شد. اعمال تنش‌ها از مرحله استقرار کامل نشاها (۲۴ روز پس از انتقال نشاها) صورت گرفت. رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج لوترون مدل PMS-714 به‌صورت روزانه سنجش شد. پس از محاسبه میزان آب آبیاری لازم برای تیمار آبیاری کامل، ۷۵٪ و ۵۰٪ آن به ترتیب برای تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل در نظر گرفته شد. تیمار آبیاری کامل بر اساس ظرفیت زراعی و با روش درصد حجمی محاسبه شد. به‌منظور تعیین زمان آبیاری و با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج میزان رطوبت خاک به‌صورت منظم تعقیب و زمان رسیدن به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول (θMAD) از رابطه ۱ محاسبه شد (Farshi and Mir Latifi, 2003).

$$\theta MAD = \theta FC - (\theta FC - \theta PWP) * MAD \qquad [۱]$$

در این رابطه θFC رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی مزرعه، θPWP رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم، MAD ضریب تخلیه مجاز است. جهت اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد. حدود پنجاه روز پس از اعمال تنش و بلافاصله پس از نمونه-گیری، نمونه‌های برگی به آزمایشگاه انتقال و ارزیابی میزان پرولین انجام شد. حدود شصت روز پس از اعمال سطوح تنش کمبود آب، بوته‌ها برداشت و ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و ساقه، عملکرد بیولوژیک، سطح برگ، حجم و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از نرم‌افزار Digimizer انجام شد. پس از انجام ریشه شویی، حجم ریشه‌ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری و سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در آون در دمای ۷۵ درجه توزین شدند. برای محاسبه کارایی مصرف آب، طبق رابطه زیر، میزان آب مصرفی در کل دوره رشد گیاه اندازه‌گیری و سپس با استفاده از مقدار ماده خشک تولیدی مربوط به هر تیمار محاسبه شد.

$$WUE = TDM / TWU \qquad [۲]$$

در این رابطه WUE کارایی مصرف آب (g.lit^{-1})، TDM کل ماده خشک تولیدی گیاه (g.plant^{-1}) و TWU مقدار آب مورداستفاده در طول رشد گیاه است. تجزیه واریانس نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون

LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی سطوح مختلف تنش کمبود آب بر تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثرات اصلی تیمارهای تلقیح باکتریایی نیز بر ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، عملکرد بیولوژیک، سطح برگ و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱٪ و بر حجم ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود، درحالی‌که بر صفت وزن خشک ساقه اثر معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل تیمارهای تلقیح باکتریایی و سطوح مختلف تنش کمبود آب بر سطح برگ، وزن خشک ریشه و حجم ریشه در سطح احتمال ۱٪، بر وزن خشک برگ و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و بر ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۳ و ۴). در بین تیمارهای باکتریایی، تیمار *B. megaterium* در شرایط آبیاری کامل بیشترین تأثیر را بر ارتفاع بوته داشت و این تیمار باکتریایی ارتفاع بوته را ۳۹/۸٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۱).

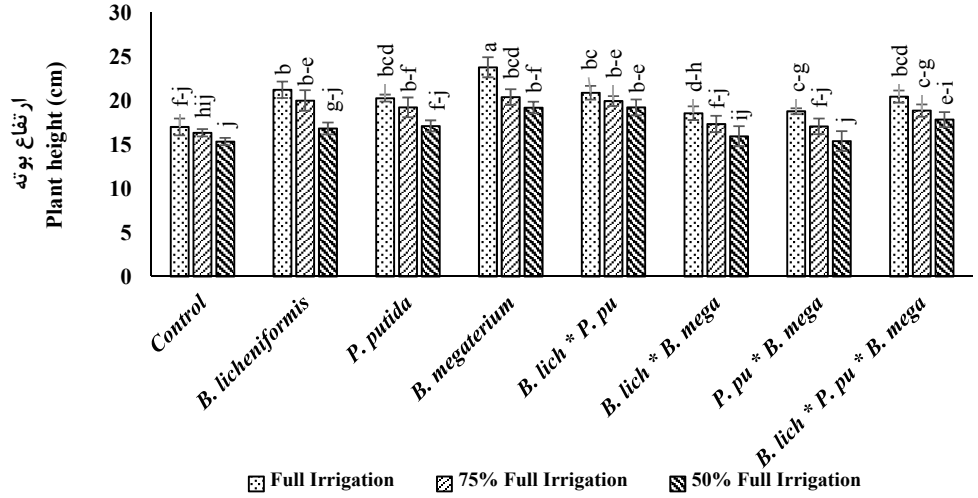
جدول ۳. میانگین مربعات اثر تنش کمبود آب و تیمارهای تلقیح باکتریایی بر ارتفاع بوته (Plant height)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، عملکرد بیولوژیک (BY) و سطح برگ (LA)

Table 3. Mean square of water deficit stress and bacterial inoculation treatments effects on plant height, leaf dry weight (LDW), stem dry weight (SDW), biological yield (BY) and leaf atea (LA).

منابع تغییر S.O.V	df درجه آزادی	Plant height ارتفاع بوته	LDW وزن خشک برگ	SDW وزن خشک ساقه	LA سطح برگ	BY عملکرد بیولوژیک
تکرار Replication	2	4.14 ns	0.003 ns	0.008 ns	1416.6 ns	0.014 ns
تنش Stress (S)	2	54.33 **	2.731 **	1.067 **	1648274 **	7.215 **
باکتری Bacteria (B)	7	24.34 **	0.058 **	0.022 ns	10754.3 **	0.139 **
باکتری*تنش B*S	14	1.26 ns	0.026 *	0.027 ns	5578.0 **	0.085 *
خطا Error	-	1.99	0.013	0.013	1910.0	0.039
ضریب تغییرات CV%		*7.57*	*13.77*	*16.18*	*10.76*	*12.77*

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

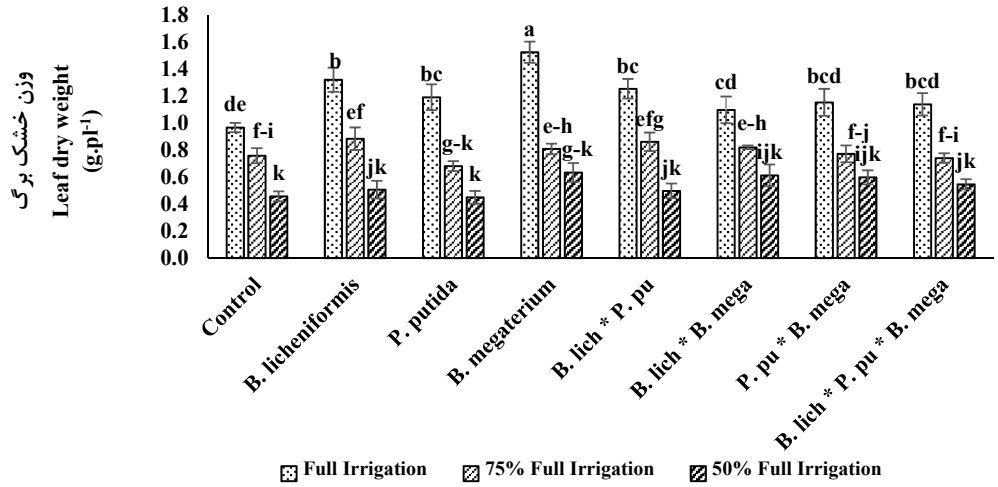


شکل ۱. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ارتفاع بوته تحت تنش کمبود آب

Fig. 1. Effect of plant growth-promoting bacteria on plant height under water deficit stress.

در تیمار ۷۵ درصد آبیاری کامل تیمارهای باکتریایی *B. licheniformis*، *P. putida* و *B. megaterium* و تیمار تلقیحی دوگانه *B. licheniformis * P. putida* نسبت به تیمار شاهد در همین سطح کمبود آب به ترتیب ۲۲، ۱۸، ۲۵ و ۲۲ درصد ارتفاع بوته را افزایش دادند. تیمارهای باکتریایی *B. megaterium* و تیمار تلقیحی دوگانه *B. licheniformis * P. putida* در تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل) نیز قادر بودند ارتفاع بوته را به میزان ۲۵/۲ و ۲۵/۳ درصد به ترتیب نسبت به شاهد افزایش دهند. سایر تیمارهای باکتریایی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان ندادند. رجبی خمسه و همکاران (Rajabi-Khamseh et al., 2019a) نیز گزارش کردند که تیمارهای تلقیحی جنس باسیلوس به‌صورت جداگانه و تلقیح دوگانه در شرایط تنش کمبود آب ارتفاع گیاه کتان روغنی را افزایش دادند. بش و همکاران (Bosh et al., 2018) نیز نشان دادند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد جنس باسیلوس از طریق افزایش دسترسی به مواد غذایی و درنتیجه افزایش طول میانگره‌ها باعث افزایش ارتفاع بوته در گیاه سیاه‌دانه شد.

تیمارهای باکتریایی *B. megaterium*، *B. licheniformis*، *P. putida* و تیمار تلقیحی دوگانه *B. licheniformis* * P. putida* نسبت به تیمار شاهد توانستند به ترتیب وزن خشک برگ را ۵۸، ۳۷، ۲۳ و ۳۰ درصد افزایش دهند که از بین آن‌ها تیمار باکتریایی *B. megaterium* در تیمار سطح آبیاری کامل دارای بیشترین تأثیر بر وزن خشک برگ بود (شکل ۲).



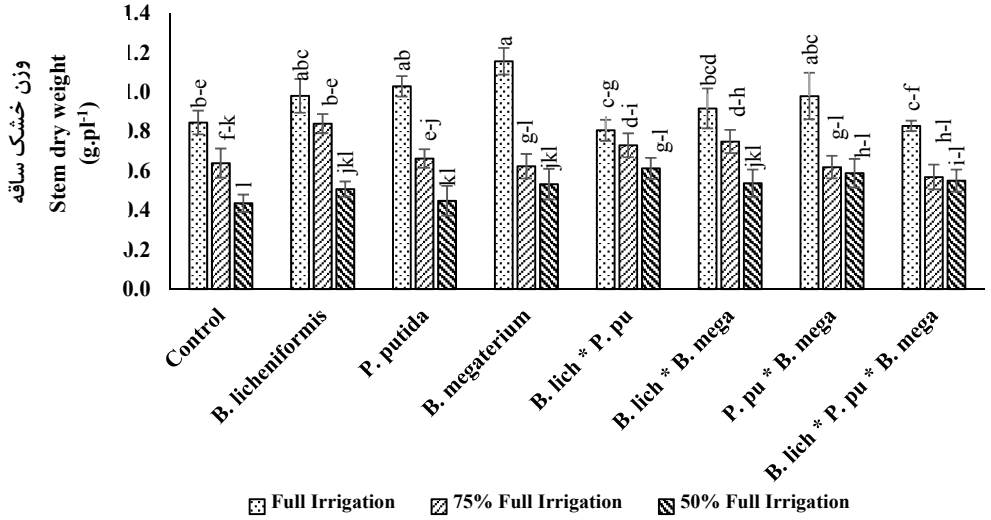
شکل ۲. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر وزن خشک برگ تحت تنش کمبود آب

Fig. 2. Effect of plant growth-promoting bacteria on leaf dry weight under water deficit stress

تیمارهای تلقیحی در سطوح تیمار آبیاری ۷۵٪ و ۵۰٪ نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. بوش (Bosh, 2019) گزارش کرد که تیمارهای تلقیح باکتریایی ترکیبی دوگانه و سه‌گانه جنس‌های مختلف باسیلوس بیشتر از تیمارهای تلقیحی جداگانه وزن خشک برگ گیاه سیاه‌دانه را در شرایط تنش خشکی افزایش دادند. تیمارهای ترکیبی تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد با تحریک رشد ریشه گیاه توانستند در فراهمی میزان رطوبت موردنیاز برای رشد گیاه نقش داشته باشند و میزان وزن خشک گیاه را افزایش دهند.

با افزایش تنش کمبود آب وزن خشک ساقه کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین مقدار وزن خشک ساقه با میانگین ۰/۵۳ گرم در گیاه مربوط به تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل و بیشترین مقدار وزن خشک ساقه با میانگین ۰/۹۴ گرم در گیاه متعلق به درصد آبیاری کامل بود (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای تلقیح باکتریایی و سطوح مختلف آبیاری بر روی وزن خشک ساقه اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. در تیمار آبیاری کامل، همه تیمارهای باکتریایی به‌جز تیمار تلقیح سه‌گانه با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بودند به‌طوری‌که تیمار باکتریایی *B.megaterium* با میانگین ۱/۱۶ گرم در گیاه دارای بیشترین وزن خشک ساقه

بود که نسبت به تیمار شاهد در این سطح تنش مقدار وزن خشک ساقه را به میزان ۳۸/۷ درصد افزایش داد. در تیمار ۷۵ درصد آبیاری کامل نیز به‌جز تیمار باکتریایی *Bacillus licheniformis* هیچ‌کدام از تیمارهای باکتریایی قادر به بهبود وزن خشک ساقه نسبت به شاهد نشدند. گارسیا و همکاران (Garcia et al., 2004) نیز نشان دادند که تلقیح بذور فلفل با باکتری *Bacillus licheniformis* باعث افزایش وزن ساقه شد.



شکل ۳. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر وزن خشک ساقه تحت تنش کمبود آب

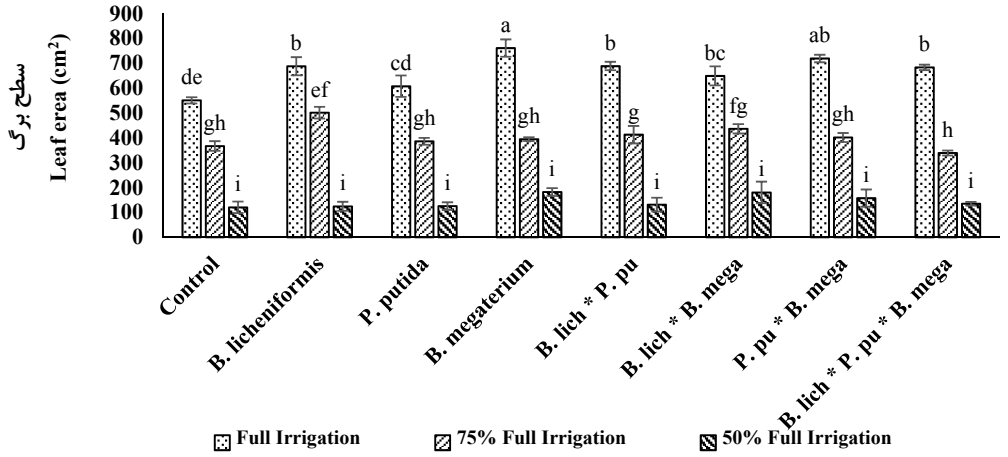
Fig. 3. Effect of plant growth-promoting bacteria on leaf stem weight under water deficit stress

مقایسه میانگین اثرات متقابل نتایج نشان داد همه تیمارهای باکتریایی نسبت به تیمار شاهد سطح برگ را افزایش دادند (شکل ۴). بیشترین سطح برگ با میانگین ۷۶۱/۲ سانتی‌متر مربع در بوته مربوط به تیمار باکتریایی *B. megaterium* در تیمار آبیاری کامل بود. به‌طوری‌که این تیمار باکتریایی سطح برگ را به میزان ۳۸/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد در همین سطح آبیاری افزایش داد. نتایج حاکی از این است که تیمارهای باکتریایی در تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری سطح برگ را افزایش دادند ولی در سطوح ۷۵ درصد و ۵۰ درصد آبیاری کامل نسبت به تیمار شاهد سطح برگ را افزایش ندادند. این مقایسه نشان می‌دهد که اگرچه تیمارهای باکتریایی به سطح برگ در سطوح تنشی افزایش ندادند، اما در شرایط نرمال بدون تنش قادر بودند سطح برگ را نسبت به زمانی که از تیمارهای تلقیح باکتریایی استفاده‌نشده، افزایش دهند. نتایج تحقیقات گارسیا و همکاران (Garcia et al., 2004) نیز نشان داد تلقیح بذور گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه با باکتری *Bacillus licheniformis* باعث افزایش سطح برگ نسبت به تیمار شاهد شد.

بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار باکتریایی *B. megaterium* در تیمار آبیاری کامل با مقدار ۲/۶۸ گرم در بوته مشاهده شد (شکل ۵). به‌طوری‌که تیمار شاهد در سطح آبیاری متناظر، به میزان ۴۷/۹ درصد عملکرد بیولوژیک کمتری را نسبت به این تیمار باکتریایی نشان داد. تیمارهای باکتریایی *B. licheniformis* و *P. putida* نیز نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. کاهش ارتفاع، قطر یا تعداد کمتر شاخه‌های اصلی و به‌طورکلی کاهش تولید زیست‌توده از پدیده‌های معمول گیاهان تحت تنش است (Szabo et al., 2017). بررسی‌ها نشان می‌دهد که *Bacillus megaterium* قادر به تولید IAA است و بنابراین به رشد گیاه کمک می‌کند. علاوه بر این، گیرنده‌های سیتوکینین نقش مهمی در افزایش رشد گیاه توسط *Bacillus megaterium* دارند (Ortíz-Castro et al., 2008).

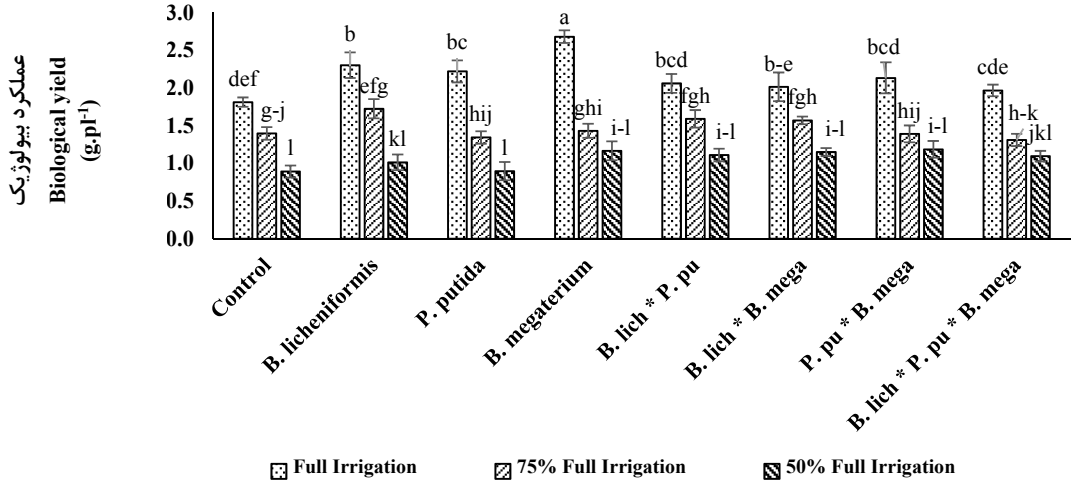
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار آبیاری کامل وزن خشک ریشه را نسبت به تیمار ۷۵ درصد و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۴۹/۴٪ و ۶۵/۶٪ افزایش داد (شکل ۶). تمامی تیمارهای تلقیح باکتریایی به‌جز تیمار تلقیحی سه‌گانه *P. putida* * *B. licheniformis* * *B. megaterium* در سطح

آبیاری کامل، توانستند با اختلاف معنی‌داری وزن خشک ریشه را افزایش دهند. در این راستا بین تیمارهای باکتریایی *B. megaterium*، *P. putida* و تیمارهای تلقیح دوگانه *B. megaterium* **P. putida* و *B. licheniformis* **P. putida* ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اگرچه تیمارهای باکتریایی در دو سطح تنش ۷۵ درصد و ۵۰ درصد آبیاری کامل نسبت به تیمار شاهد در سطوح آبیاری متناظر اختلاف معنی‌داری را ایجاد نکردند. کایماک و همکاران (Kaymak et al., 2008)، نیز نشان دادند که تلقیح نعناع فلفلی با باکتری *Bacillus megaterium* طول و وزن خشک ریشه را افزایش داد.



شکل ۴. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر سطح برگ تحت تنش کمبود آب

Fig. 4. Effect of plant growth-promoting bacteria on leaf erea under water deficit stress

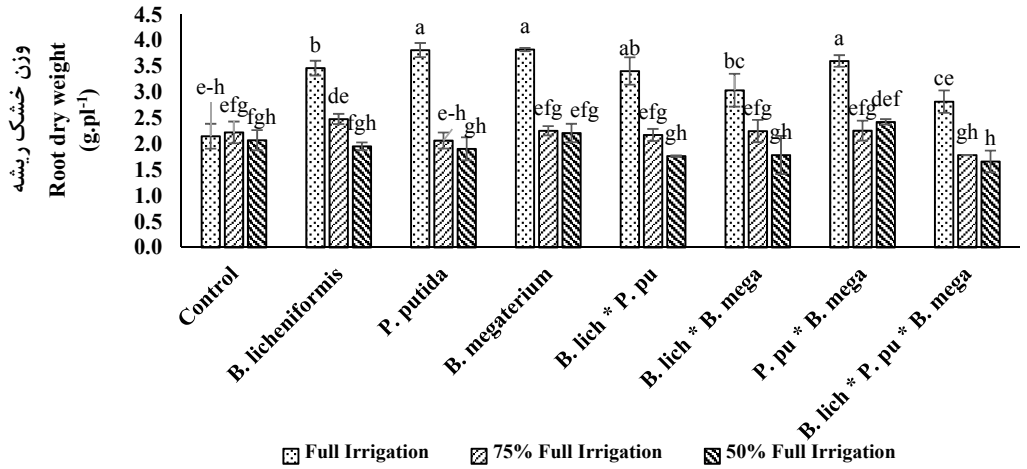


شکل ۵. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد بیولوژیک تحت تنش کمبود آب

Fig. 5. Effect of plant growth-promoting bacteria on biological yield under water deficit stress

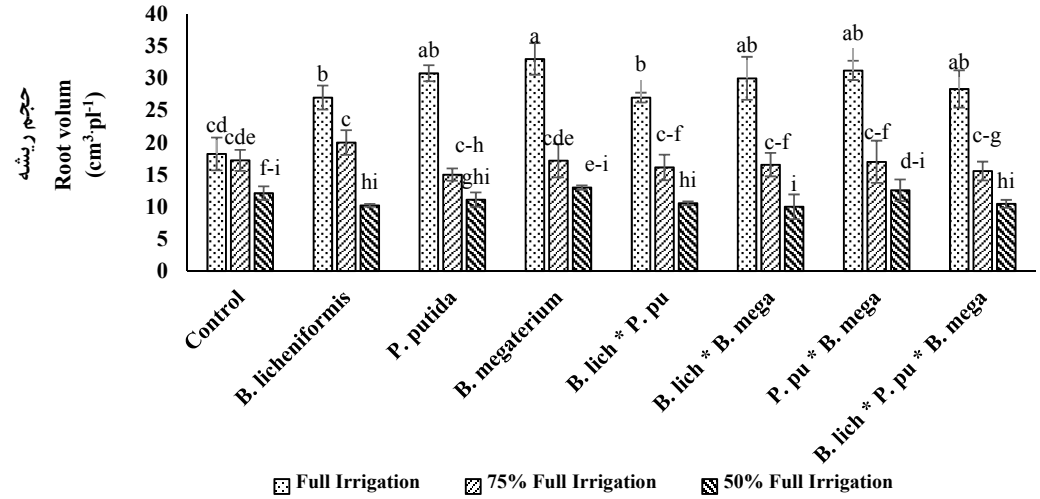
با افزایش سطح تنش حجم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌گونه‌ای که تیمار آبیاری کامل با میانگین ۲۸/۲ سانتی‌متر مکعب، بیشترین حجم ریشه و تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل با میانگین ۱۱/۲۵ سانتی‌متر مکعب کمترین حجم ریشه را داشتند (شکل ۷). این دو تیمار نسبت به همدیگر اختلاف ۱۵۰ درصدی را نشان دادند. در مقایسه میانگین اثرات متقابل تلقیح باکتریایی و سطوح مختلف تنش کمبود آب، همه تیمارهای تلقیح باکتریایی در سطح آبیاری کامل نسبت به تیمار شاهد از اختلاف معنی‌داری برخوردار بودند. در همین سطح تنش، تیمار تلقیح باکتریایی *B.*

megaterium با افزایش ۸۱/۱ درصدی حجم ریشه نسبت به شاهد، بیشترین حجم ریشه را داشت که با تیمارهای باکتریایی *P. putida* و تیمارهای تلقیحی دوگانه *B. licheniformis* * *B. megaterium* و *P. putida* * *B. licheniformis* و تیمار تلقیحی سه‌گانه *P. putida* * *B. licheniformis* * *B. megaterium* اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که باکتری‌های تحریک‌کننده رشد سودوموناس و باسیلوس قادرند با تولید فیتوهورمون‌ها یا تنظیم‌کننده‌های رشد سبب تحریک رشد ریشه و افزایش سطح جذب گیاه برای جذب آب و مواد غذایی شوند (Saharan, and Nehra 2011).



شکل ۶. تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر وزن خشک ریشه تحت تنش کمبود آب

Fig. 6. Effect of plant growth-promoting bacteria on root dry weight under water deficit stress



شکل ۷. تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر حجم ریشه تحت تنش کمبود آب

Fig. 7. Effect of plant growth-promoting bacteria on root volum under water deficit stress

نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تنش کمبود آب و تیمارهای باکتریایی نشان داد که میزان پرولین فقط در تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل به‌طور چشمگیری افزایش یافت. در این سطح تنش، تمام تیمارهای تلقیح باکتریایی میزان پرولین برگ را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند درحالی‌که افزایش میزان پرولین برگ فقط در تیمار تلقیح باکتریایی *B. licheniformis* نسبت به تیمار شاهد به نسبت ۲۶/۶ درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد

(شکل ۸). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد تیمارهای باکتریایی علاوه بر افزایش میزان پرولین، با استفاده از سازوکارهای دیگری قادر به تعدیل اثرات تنش کمبود آب در گیاه بادرنجبویه شده‌اند. از این مکانیسم‌ها می‌توان به توانایی تولید ACC دِآمیناز اشاره کرد. بااین‌حال در تنش شدید کمبود آب، علاوه بر تولید ACC دِآمیناز افزایش میزان پرولین نیز در مواجهه با تنش کمبود آب در گیاه دخیل بوده است.

در این رابطه گزارش‌های زیادی در تأیید تولید ACC دِآمیناز در کاهش خشکی وجود دارد (Vardharajula et al., 2011; Lim et al., 2013; Goswami et al., 2020)؛ به‌عبارت‌دیگر این تیمارهای باکتریایی با تعدیل تنش کمبود آب موجب کاهش هزینه‌های متابولیکی تولید پرولین شده‌اند. بوش و همکاران (Bosh et al., 2018) نیز گزارش کردند که در گیاه سیاه‌دانه بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و با اختلاف ۲۹/۷ درصدی نسبت به شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود.

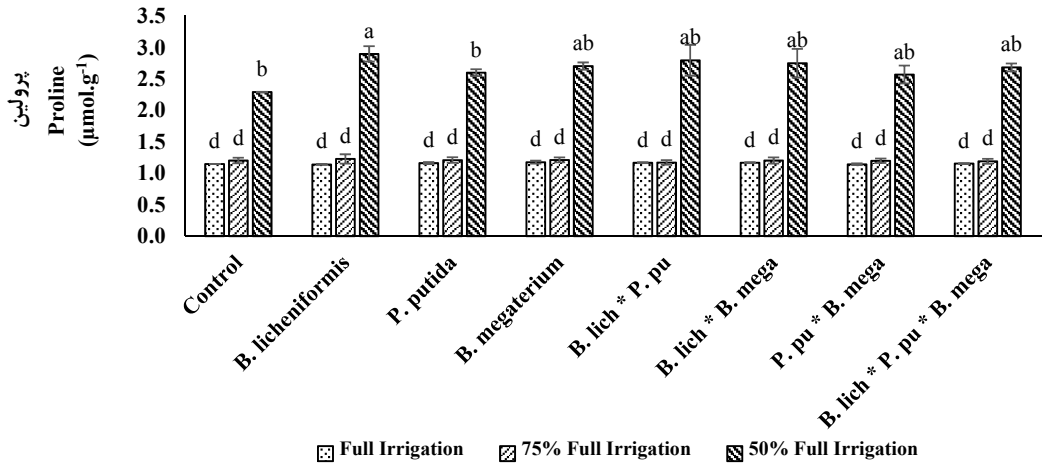
جدول ۴. میانگین مربعات اثر تنش کمبود آب و تیمارهای تلقیح باکتریایی بر وزن خشک ریشه (RDW)، حجم ریشه (RV)، پرولین (Proline) و کارایی مصرف آب (WUE) تحت تنش کمبود آب.

Table 4. Mean square of water deficit stress and bacterial inoculation treatments effects on Root dry weight (RDW), Root volum (RV), Prolin and Water use efficiency

منابع تغییر S.O.V	df درجه آزادی	RDW وزن خشک ریشه	RV حجم ریشه	Proline پرولین	WUE کارایی مصرف آب
تکرار Replication	2	0.375*	41.60**	0.0261ns	0.34ns
تنش Stress (S)	2	11.527**	1789.50**	17.5892**	44.46**
باکتری Bacteria (B)	7	0.608**	22.24*	0.0354ns	2.96**
باکتری* تنش B * S	14	0.340**	25.22**	0.0331ns	1.70*
خطا Error	-	0.090	9.11	0.0218	0.89
ضریب تغییرات CV%		*12.13*	*16.09*	*8.82*	*12.82*

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

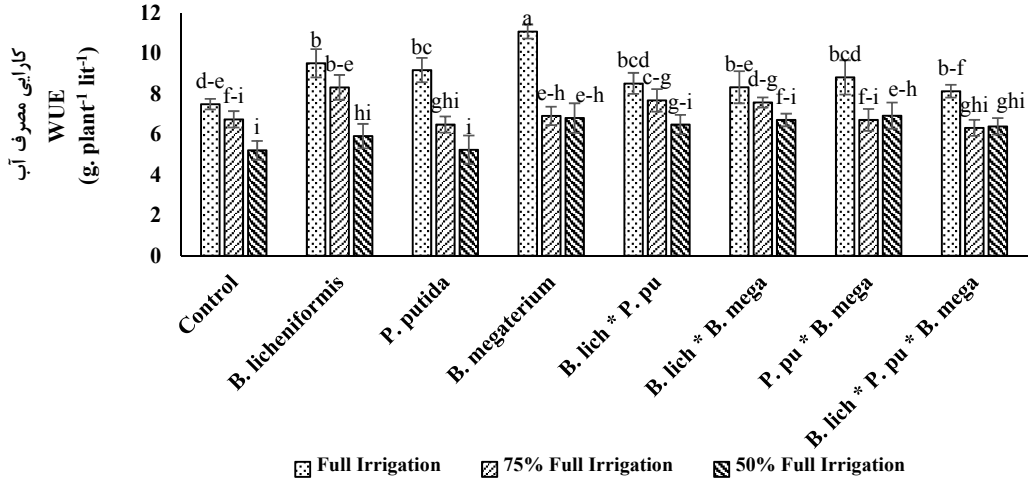
ns, * and ** are non-significant, significant at 5% and 1% probability level respectiveiy.



شکل ۸. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر میزان پرولین برگ تحت تنش کمبود آب

Fig. 8. Effect of plant growth-promoting bacteria on proline under water deficit stress

با توجه به شکل (۹) در سطح آبیاری کامل، تیمارهای *B. megaterium*، *B. licheniformis* و *P. putida* به ترتیب با میانگین ۱۱/۰۸، ۹/۵۱ و ۹/۱۷ گرم بر لیتر، کارایی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. این تیمارهای تلقیحی به ترتیب سبب افزایش ۴۸ درصدی، ۲۷ درصدی و ۲۲/۵ درصدی کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شدند. تیمار باکتریایی *B. licheniformis* با میانگین ۸/۳۱ گرم بر لیتر (افزایش ۲۳/۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد) بیش‌ترین کارایی مصرف آب را در تیمار تنش ۷۵ درصد آبیاری کامل داشت. در سطح تنش ۵۰ درصد آبیاری کامل نیز تیمار تلقیح باکتریایی *B. megaterium* تیمار تلقیح باکتریایی دوگانه *B. megaterium* * *P. putida* به ترتیب با افزایش ۳۰/۸ و ۳۳/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارهای باکتریایی به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف آب را افزایش دادند. به نظر می‌رسد تیمارهای تلقیح باکتریایی *B. megaterium*، *B. licheniformis*، *P. putida* و تیمار تلقیح دوگانه *B. megaterium* * *P. putida* با تأثیر بر عملکرد بیولوژیک در هر سطح تنشی موجب افزایش کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح در همان سطح تنشی شدند. احتمال می‌رود این تیمارهای تلقیح باکتریایی با بکار گرفتن مکانیسم‌های مختلف ازجمله تولید فیتوهورمون‌ها، تولید ACC دِآمیناز و در دسترس قرار دادن عناصر غذایی، موجب افزایش رشد ریشه و درنتیجه تولید بیوماس بالاتر و نهایتاً افزایش عملکرد بیولوژیک شدند؛ بنابراین یکی از دلایل بالا رفتن کارایی مصرف آب، افزایش عملکرد بیولوژیک است. رجبی خمسه (Rajabi-Khamseh, 2019b) بیان داشتند که گیاهان مقاوم به تنش خشکی و یا گیاهان رشد یافته در محیط‌هایی با کمبود آب نسبت به گیاهانی که در محیط‌های بدون تنش خشکی رشد یافته‌اند از کارایی مصرف آب بالاتری برخوردارند. رجبی خمسه و همکاران (Rajabi-Khamseh, 2019b) نیز گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی در گیاه کتان روغنی به دلیل هیدرولیز اتیلن تنشی توسط ACC دِآمیناز تولیدی باکتری‌های محرک رشد گیاه و درنتیجه افزایش بیوماس در واحد کمتر آب شد



شکل ۹. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر کارایی مصرف آب تحت تنش کمبود آب

Fig. 9. Effect of plant growth-promoting bacteria on water use efficiency under water deficit stress

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، با افزایش سطوح تنش، مقادیر صفات مورد آزمایش کاهش معنی‌داری پیدا کردند. درحالی‌که تمام تیمارهای تلقیح باکتریایی در سطح آبیاری کامل همه صفات موردمطالعه را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. در بین تیمارهای تلقیحی موردبررسی، تیمارهای باکتریایی *B. megaterium* بیشترین تأثیر را بر صفات موردبررسی داشت. به نظر می‌رسد تیمارهای تلقیحی ترکیب دوگانه و سه‌گانه، احتمالاً به دلیل داشتن خاصیت آنتاگونیستی بین باکتری‌ها و یا حتی کمتر بودن جمعیت هر باکتری در مقادیر یکسان مایه سوسپانسیون تیمارهای ترکیبی نسبت به تیمارهای جداگانه، عملکرد

کمتری از تیمارهای باکتریایی جداگانه از خود نشان دادند. با توجه به این نکته که اثرگذاری باکتری‌های محرک رشد گیاه بستگی به جنس و گونه باکتری، گیاه، بستر کشت و شرایط محیطی دارد، به نظر می‌رسد جهت پیشنهاد استفاده از این تیمارهای باکتریایی، دیگر شرایط کشت نظیر کشت در مزرعه، سطوح مختلف تنش کمبود آب و همچنین دیگر تنش‌های محیطی نیز بررسی شود. با توجه به نتایج این پژوهش به‌منظور بهبود عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب در بادرنجبویه، در شرایط بدون تنش و شرایط تنش متوسط به ترتیب تلقیح گیاه با باکتری‌های *B. megaterium* و *B. licheniformis* پیشنهاد می‌شود.

منابع

Akhtar, S.S., Amby, D.B., Hegelund, J.N., Fimognari, L., Großkinsky, D.K., Westergaard, J.C., Roitsch, T., 2020. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. Frontiers in Plant Science. 11, 1-12.

Aslam, M.U., Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Waqas, M., Iqbal, R., Ahmad, S., Haider, I., 2020. Improving strategic growth stage-based drought tolerance in quinoa by rhizobacterial inoculation. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 51, 853-868.

Bates, L.S., Waldern, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Bosh, Z., 2019. The effect of plant growth promoting on morphophysiological indices, growth, yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Faculty of Agriculture, University of Shahrekord. Iran. [In Persian with English Summery].

Bosh, Z., Danesh-Shahraki, A., Ghobadinia, M., Saeidi. K., 2018. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on agro-morphological traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 525-537. [In Persian with English summery].

Davazdah Emami, S., Majnoun Hosseini, N., 2013. Cultivation and production of some medicinal plants and spices. University of Tehran Publications. 320p. [In Persian].

Farshi, A.A., Mir Latifi, M., 2003. Irrigation Water Management in the Field. National Iranian Irrigation and Drainage Committee Publications. 200p. [In Persian].

Garcia, J.A.L., Probanza, A., Ramos, B., Palomino, M., Mañero, F.J.G., 2004. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. Agronomie. 24, 169-176.

Getahun, A., Muleta, D., Assefa, F., Kiros, S., 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria isolated from degraded habitat enhance drought tolerance of Acacia (*Acacia abyssinica* Hochst. ex Benth.) seedlings. International Journal of Microbiology. Article ID 8897998. https://doi.org/10.1155/2020/8897998

Glick, B.R., 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica. Article ID 963401. https://doi.org/10.6064/2012/963401

Goswami, M., Suresh, D.E.K.A., 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria—alleviators of abiotic stresses in soil: a review. Pedosphere. 30, 40-61.

Kaymak, H.C., Yarali, F., Guvence, I., Donmeze, M.F., 2008. The effect of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on root formation of mint (*Mentha piperita* L.) cuttings. African Journal of Biotchnology. 7, 479-4483.

Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B., Yaghoubian, Y., 2019. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (PBRMs) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. Industrial Crops and Products. 136, 129-139.

Kumar, A., Patel, J.S., Meena, V.S., Srivastava, R., 2019. Recent advances of PGPR based approaches for stress tolerance in plants for sustainable agriculture. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 20, 1-10.

Liddycoat, S. M., Greenberg, B. M., Wolyn, D. J., 2009. The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on asparagus seedlings and germinating seeds subjected to water stress under greenhouse conditions. Canadian Journal of Microbiology. 55, 388-394.

Lim, J. H., Kim, S.D., 2013. Induction of drought stress resistance by multi-functional PGPR Bacillus licheniformis K11 in pepper. The Plant Pathology Journal. 29, 201-208.

Mahmodi, R., Amini, K., Asadi Dashbolagh, J., Farhoodi, A., 2016. Antioxidant and antibacterial properties of the *Melissa officinalis* essential oil. The Journal of Qazvin University of Medical Sciences. 20, 49-57. [In Persian with English Summery].

Omidbaigi, R., 2015. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Razavi Publications. 397p. [In Persian].

Ortíz-Castro, R., Valencia-Cantero, E., López-Bucio, J., 2008. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling. Plant Signaling and Behavior. 3, 263-265.

Rajabi-Khamseh, S., Danesh-Shahraki, A., Rafieiolhossaini, M., Saeidi. K., Ghobadinia, M., 2019a. Changes in agro-morphological traits of flax (*Linum usitatissimum* L.) under plant growth promoting bacteria effect and drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 793-804. [In Persian with English Summery].

Rajabi-Khamseh, S., Danesh-Shahraki, A., Rafieiolhossaini, M., Saeidi. K., Ghobadinia, M., 2019b. Effects of Plant growth promoting bacteria and irrigation levels on physiological traits and yield of flax (*Linum usitatissimum* L.). Journal of Crop Ecophysiology. 13, 231-250. [In Persian with English Summery].

Saharan, B.S., Nehra, V., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. Life Sciences and Medicine Research. 21, 1-10.

Shirinbayan, S., Khosravi, H., Malakouti, M.J., 2019. Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with Azotobacter strains isolated from semi-arid regions. Applied Soil Ecology. 133, 138-145.

Szabo, K., Radácsi, P., Rajhárt, P., Ladányi, M., Németh, É., 2017. Stress-induced changes of growth, yield and bioactive compounds in lemon balm cultivars. Plant Physiology and Biochemistry. 119, 170-177.

Thakur, M., Mittal, D., Khosla, P.K., Saini, V., Saini, R.V., Saini, A.K., 2021. Rhizobacteria associated with *Spilanthes acmella* Murr. confer drought-tolerance and plant growth promotion. Biointerface Research in Applied Chemistry. 11, 13155-13170.

Vardharajula, S., Zulfikar Ali, S., Grover, M., Reddy, G., Bandi, V., 2011. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. Journal of Plant Interactions. 6, 1-14.

Vimal, S.R., Singh, J.S., Arora, N.K., Singh, S., 2017. Soil-plant-microbe interactions in stressed agriculture management: a review. Pedosphere. 27, 177-19