

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Agromorphological Improvement of Lemon Balm (*Melissa officinalis*) Under Drought Stress Through Inoculation Using Plant Growth Promoting *Rhizobacteria*

Omidi-Aarjenaki¹, H., Danesh-Shahraki^{2*}, A. and Koochi-Dehkordi³, M.

1 and 2. MSc Graduated and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3. Associate Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran-Isfahan Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), P.O. Box 85135-48, Isfahan, Iran

✉: Corresponding author Email: ar.danesh2000@gmail.com

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the supervision of Abdolrazagh Danesh-Shahraki.

Received: 2023/04/20 Accepted: 2023/09/19

Abstract

To assess the effectiveness of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on the agromorphological characteristics of Lemon balm under drought stress in the second year of cultivation, an experiment was performed in the form of split plots in randomized complete block design with three replications. The first factor includes three levels of drought stress (full irrigation, 75% and 50% of full irrigation) and the sub-factor was inoculation with PGPB in 5 levels including control (no bacterial inoculation) and inoculation with four bacterial species (*Azospirillum*, *Bacillus* strain A, *Bacillus amyloliquefaciens* and *Streptomyces rimosus*). Based on the obtained results, the effect of different levels of drought stress on all investigated traits was significant. Bacterial treatment showed a significant effect on the number of sub-branches, leaf area index, stem dry weight, percentage and yield of essential oil and biological yield in the first cut and leaf dry weight in the second cut. The interaction effect of stress and bacteria was significant only on the number of branches in the second cut. With the increase in the intensity of drought stress, a decreasing trend was seen in all the analyzed traits including in plant height, number of sub-branches, leaf surface, stem and leaf dry weight, percentage and yield of essential oil and biological yield while inoculation of the plant with *Azospirillum*, *Streptomyces rimosus* and *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria caused a 10-20% increase in the studied traits compared to the control. Overall, bacterial treatments reduced the adverse effects of drought stress on the studied traits. According to this research, in order to improve the quantitative and qualitative yield and some agromorphological characteristics of Lemon balm under drought stress, inoculation of the plant with *Azospirillum*, *Streptomyces rimosus* and *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria is recommended.

Keywords: *Azospirillum*, *Streptomyces*, *Bacillus*, Water deficit stress, Essential oil percentage

Introduction

Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) is one of the herbaceous perennial medicinal plants that has a variety of uses. Nowadays, due to the increasing popularity of medicinal plants, the area under these plants' cultivation continue to increase. However, problems such as drought stress limit the development of these plants' cultivation. Plants respond to water deficit stress at morphological, biochemical and physiological levels and use different adaptation mechanisms to withstand drought stress. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) are soil bacteria that can increase crop plant growth and protect them against biotic and abiotic stresses through different mechanisms. In this regard, this study was designed and conducted to investigate the effectiveness of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on the agromorphological characteristics of Lemon balm under drought stress in the second year of Lemon Balm cultivation under water deficit stress.

Materials and Methods

This experiment was performed during 2019-2020 growing season at the research field of the faculty of agricultural, Shahrekord University in the form of split plots in randomized complete block design with three replications. The first factor includes three levels of drought stress (full irrigation, 75% and 50% of full irrigation) and the sub-factor was inoculation with PGPB in 5 levels including control (no bacterial inoculation) and inoculation with four bacterial species (*Azospirillum*, *Bacillus* strain A, *Bacillus amyloliquefaciens* and *Streptomyces rimosus*). The amount of irrigation water was calculated using plant water requirement. In order to apply water stress, a moisture meter (Delta-T, SM-150T) was used to measure soil moisture content and the plants were irrigated when the respective MAD threshold was reached. Leaf area was measured with Digimizer software. After harvesting, first the plant height was measured and then the number of main and sub-branches was counted and the leaf dry weight, stem dry weight and biological yield were determined. The essential oils were extracted by hydro-distillation method using a Clevenger equipment. SAS software implemented for statistical analysis and the means were compared using LSD test.

Results and discussion

The results showed that the effect of different levels of drought stress on plant height, number of sub-branches, leaf area, stem dry weight, leaf dry weight, essential oil percentage, biological and essential oil yield was significant. Bacterial treatment showed a significant effect on the number of sub-branches, leaf area index, stem dry weight, percentage and yield of essential oil and biological yield in the first cut and leaf dry weight in the second cut. The interaction effect of stress and bacteria only on the number of branches in the second cut was significant. With the increase in the intensity of drought stress, a decreasing trend was seen in all the analyzed traits including in plant height, number of sub-branches, leaf surface, stem and leaf dry weight, percentage and yield of essential oil and biological yield while inoculation of the plant with *Azospirillum*, *Streptomyces rimosus* and *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria caused a 10-20% increase in the studied traits compared to the control. The highest essential oil yield, in both cuts was observed in inoculated treatment of *Bacillus amyloliquefaciens*.

Conclusion

The results of this study showed that increasing drought stress causing significant reduction of all studied traits. However, bacterial treatments reduced the adverse effects of drought stress on the studied traits compared to non-inoculated at all drought stress levels. Among these bacterial treatments, *Bacillus amyloliquefaciens* had the most effect in improving the adverse effects of stress in all investigated traits and both cuts. According to this research, in order to improve the quantitative and qualitative yield and some agromorphological characteristics of Lemon balm under drought stress, inoculation of the plant with *Azospirillum*, *Streptomyces rimosus* and *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria is recommended.

Citations: Omidi-Aarjenaki, H., Danesh-Shahraki, A. & Koohi-Dehkordi, M. (2023). Agromorphological Improvement of Lemon Balm (*Melissa officinalis*) Under Drought Stress Through Inoculation Using Plant Growth Promoting *Rhizobacteria*. *Plant Production Technology*, 23(1), 91-104. <https://doi.org/10.22084/ppt.2023.26302.2078>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

بهبود خصوصیات آگرومورفولوژیک بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) تحت تنش خشکی از طریق تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری ارتقاءدهنده رشد

Agromorphological Improvement of Lemon Balm (*Melissa officinalis*) Under Drought Stress Through Inoculation Using Plant Growth Promoting Rhizobacteria

حکیمه امیدی ارجنکی^۱، عبدالرزاق دانش شهرکی^{۲*} و مهرآنا کوهی دهکردی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

(مقاله پژوهشی)

چکیده

به منظور بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های آگرومورفولوژیک بادرنجبویه تحت تنش خشکی در سال دوم کشت، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل سه سطح تنش خشکی (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و فاکتور فرعی تلقیح با باکتری‌های محرک رشد در ۵ سطح شامل شاهد (عدم تلقیح باکتریایی) و تلقیح با چهار گونه باکتریایی (*Bacillus strain A*، *Azospirillum*، *Bacillus amyloliquefaciens* و *Streptomyces rimosus*) بود. بر اساس نتایج به دست آمده، اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. تیمار با باکتری بر تعداد شاخه‌های فرعی، شاخص سطح برگ، وزن خشک ساقه، درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک در چین اول و وزن خشک برگ در چین دوم تأثیر معنی‌داری نشان داد. اثر متقابل تنش و باکتری فقط بر تعداد شاخه فرعی در چین دوم معنی‌دار بود. با افزایش شدت تنش خشکی روند کاهش در ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، وزن خشک ساقه و برگ، درصد و عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک دیده شد، اما تلقیح گیاه با باکتری‌های *Azospirillum*، *Streptomyces rimosus* و *Bacillus amyloliquefaciens* باعث افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی صفات مورد بررسی نسبت به شاهد شدند. تیمارهای باکتریایی در مجموع باعث کاهش اثرات سوء تنش خشکی بر صفات مورد بررسی شدند. باتوجه به نتایج این پژوهش، به منظور بهبود عملکرد کمی و کیفی و برخی خصوصیات آگرومورفولوژیک گیاه دارویی بادرنجبویه تحت شرایط تنش خشکی، تلقیح گیاه با باکتری‌های *Azospirillum*، *Streptomyces rimosus* و *Bacillus amyloliquefaciens* توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آروسپیریوم، استرپتومایسس، باسیلوس، تنش کمبود آب، درصد اسانس

ارجاع به مقاله: حکیمه امیدی ارجنکی، ح.، دانش شهرکی، ع. و مهرآنا کوهی دهکردی، م. (۱۴۰۲). بهبود خصوصیات آگرومورفولوژیک بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) تحت تنش خشکی از طریق تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری ارتقاءدهنده رشد. *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۲۳(۱)، ۹۱-۱۰۴. <https://doi.org/10.22084/ppt.2023.26302.2078>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به

اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۲۴۷۶-۶۳۲۱

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱

۱ و ۲. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳. دانشیار، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه گیاهان زراعی و باغی، اصفهان، ایران

* نویسنده مسئول Email: ar.danesh2000@gmail.com

مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی آقای عبدالرزاق دانش شهرکی می‌باشد.

مقدمه

گیاهان به تنش کمبود آب در سطوح مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پاسخ می‌دهند و مکانیسم‌های سازگاری متفاوتی را برای تحمل تنش خشکی به کار می‌گیرند. ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهی (PGPRs) باکتری‌های خاکزی در سطح ریشه گیاهان هستند که می‌توانند رشد آن‌ها را افزایش داده و از طریق مکانیسم‌های مختلف از آن‌ها در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده محافظت کنند (خادمیان^۱ و همکاران، 2019). این باکتری‌ها متعلق به جنس‌های مختلفی از باکتری‌های ریزوسفر از جمله آرتروباکتر، ایزوتوباکتر، آزوسپیریلوم، باسیل، کلبسیلا، میکروباکتریوم، پانی باسیلوس، سودوموناس و استریپتومایسس هستند (گودا^۲ و همکاران، 2018). این باکتری‌ها با افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی، نقش مهمی در رشد و نمو محصول دارند. گزارش‌های زیادی در مورد اثرات مفید آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش غیرزیستی مانند خشکی و شوری وجود دارد (وروکوندا^۳ و همکاران، 2016؛ پائول و لید^۴، 2014). کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند خواص خاک را بهبود بخشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش دهد (ناکاهاشی^۵ و همکاران، 2020)؛ باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند به طور قابل توجهی رشد گیاهان مختلف و سایر محصولات کشاورزی ضروری را تسهیل کنند (وروکوندا و همکاران، 2016). باکتری محرک رشد گیاه باعث القای ژن‌های مسئول در تنش خشکی و به دنبال آن افزایش تحمل گیاهان نسبت به تنش می‌شوند. کاظمی^۶ و همکاران (2018) اظهار داشتند که باکتری محرک رشد از جنبش اینتروباکتر از طریق ایجاد تغییرات در پروتئین‌های مربوط به متابولیسم انرژی موجب افزایش تحمل به تنش اسمزی در ارقام مقاوم و حساس کلزا می‌گردد. کاربرد این باکتری‌ها کم‌هزینه بوده و به راحتی برای کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیرزیستی در دسترس هستند. خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و تکوین گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سطح یاخته‌ای، پاسخ گیاه به کمبود آب می‌تواند به صورت آسیب‌های یاخته‌ای (کوچک شدن یاخته) ظاهر شود، به طوری که اندازه سلول در جریان کمبود آب از آوند چوب به سلول‌های اطراف محدود گردد و

1. Plant growth promoting *Rhizobacteria*
2. Khademian
3. Gouda
4. Vurukonda
5. Paul and Lade
6. Takahashi
7. Kazemi

تقسیم سلولی کاهش یابد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعات اخیر نقش این باکتری‌ها در القای تحمل به تنش از طریق تأمین مواد مغذی متعدد، افزایش تجمع اسمولیت‌ها و افزایش فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مشخص شده است (کوشوها^۸ و همکاران، 2020؛ بیس و دانگ^۹، 2019). باتوجه به خواص گیاهان دارویی و اثرات جانبی کم‌تر گیاه‌درمانی نسبت به داروهای شیمیایی، امروزه تمایل به بهره‌گیری از گیاهان دارویی رو به فزونی است. گیاه بادرنجبویه (*Lemon balm*)، با نام علمی *Melissa officinalis L.* یکی از گیاهان دارویی چندساله، علفی و از تیره نعناعیان است. سرزمین اصلی این گیاه نواحی دریای مدیترانه، جنوب و مرکز اروپا، آسیای صغیر و ایران است. در ایران بیش‌تر در نواحی شمال، اطراف تهران، آذربایجان و نواحی شرقی یافت می‌شود. از گیاه بادرنجبویه در درمان بیماری‌های عصبی، اختلالات خواب، لرزش‌های عصبی، میگرن، افسردگی، ناراحتی عصبی معده، حالت تهوع، کم‌اشتهایی، سرفه و دندان‌درد استفاده می‌شود (محمودی و فرهودی، ۱۳۹۵). با توجه به جایگاه با ارزش گیاه دارویی بادرنجبویه و محدودیت ناشی از کمبود آب در توسعه و کشت گیاهان دارویی، این پژوهش به منظور بررسی اثر تلقیح گیاه بادرنجبویه با باکتری‌های ریزوسفری ارتقاءدهنده‌ی رشد بر شاخص‌های آگرومورفولوژیک گیاه تحت تنش خشکی در سال دوم کشت در دو چین طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش خشکی و باکتری‌های ریزوسفری ارتقاءدهنده رشد گیاه بر شاخص‌های بادرنجبویه تحت تنش کمبود آب در سال دوم کشت در دو چین، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری در ۵ کیلومتری جاده سامان- شهرکرد و در ارتفاع ۲۰۷۴ متری از سطح دریا و ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ، انجام شد و برای سال دوم کشت یعنی سال زراعی ۱۳۹۹ ادامه یافت. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که در آن فاکتور اصلی شامل سطوح مختلف تنش کمبود آب در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و فاکتور فرعی تلقیح با باکتری‌های محرک رشد در ۵ سطح شامل شاهد (عدم تلقیح باکتریایی) و تلقیح با چهار

8. Kushwaha
9. Bhise and Dandge

برای محاسبه عملکرد اسانس درصد اسانس محاسبه شده در عملکرد نمونه ضرب شد.

$$100 / (\text{درصد اسانس} \times \text{عملکرد زیست‌توده (گرم در مترمربع)}) = \text{عملکرد اسانس (گرم در مترمربع)}$$

عملکرد زیست‌توده یا همان وزن خشک برداشت نهایی بر اساس گرم در مترمربع محاسبه شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز نرم‌افزار Excel مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ارتفاع بوته به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل مشاهده شد. در چین اول اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته در سه سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان داد. در حالی که در چین دوم آبیاری کامل و ۷۵ درصد آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). نتایج این پژوهش با نتایج گرگینی‌شبانکاره و همکاران (۱۳۹۴) بر بادرنجبویه مطابقت داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد تنش خشکی از طریق کاهش فشار آماس و کاهش تقسیم سلولی سبب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود.

بیش‌ترین ارتفاع مربوط به چین اول بود که اختلاف معنی‌داری با چین دوم داشت (جدول ۲). در چین اول بین تیمارهای تلقیح باکتریایی و شاهد از لحاظ ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در چین دوم، تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۱). بررسی اثر متقابل تنش و تلقیح باکتریایی نشان داد که باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* در چین دوم تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری ارتفاع را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). در مجموع بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تلقیح باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* بود که با سایر تیمارهای باکتریایی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داد که تنش کمبود آب و کاربرد کود زیستی که شامل مواد نگهدارنده‌ای با انبوه یک یا چند موجود زنده مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیک آن‌ها است، توانست بر ارتفاع گیاه و عملکرد گل همیشه‌بهار تأثیر معنی‌داری داشته باشد. باکتری‌های ارتقاءدهنده رشد از راه‌های مختلف، همچون تثبیت نیتروژن، ساخت سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، مواد

گونه باکتریایی (*Bacillus strain A. Azospirillum* و *Streptomyces rimosus*) بودند. نظر به برداشت دو چین، تجزیه مرکب چین به‌صورت خرد شده در زمان انجام شد. تیمارهای تلقیح باکتریایی در آزمایشگاه و با قرار دادن نشاءها به مدت ۲ ساعت در سرم فیزیولوژیک (برای تیمار شاهد) و سوسپانسیون باکتریایی (برای تیمارهای تلقیحی) اعمال شدند. جهت تعیین عمق آبیاری و اعمال تنش‌های رطوبتی، رطوبت خاک در تیمارهای شاهد با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج SM-150T ساخت شرکت دلتاتی به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. زمانی که رطوبت خاک به حد پایین رطوبت سهل‌الوصول رسید، عمق آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک محاسبه و اعمال شد (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲).

به‌منظور بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد گیاه، تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی، از ابتدای مرحله گل‌دهی حداقل دو مرتبه در خرداد و شهریور ماه نمونه‌برداری به‌عمل آمد. بوته‌ها پس از برداشت بلافاصله درون کیسه‌های پلاستیکی اتیکت‌دار ریخته شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه برگ‌های هر بوته با دقت جدا و شمارش گردید. سطح برگ پس از عکس‌برداری از برگ‌ها با نرم‌افزار Digimizer و شاخص سطح برگ از تقسیم سطح برگ به‌دست‌آمده به سطح زمین اشغال شده محاسبه شد. به‌منظور بررسی چگونگی تغییرات وزن خشک در گیاه، برگ و ساقه‌های گیاه به‌طور جداگانه در پاکت مقوایی اتیکت‌دار ریخته شد و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا نمونه‌ها خشک شدند (رایت^۱ و همکاران، ۱۹۹۶). پس از آن وزن خشک برگ و سایر اجزای گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شدند. در پایان دوره رشد پس از برداشت، ابتدا ارتفاع گیاه اندازه‌گیری و سپس تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی شمارش شدند. استخراج اسانس در هر دو چین به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر و به‌صورت وزنی انجام شد. به این منظور ۱۵۰ گرم برگ خشک توسط آسیاب به قطعات کوچک تبدیل و به همراه یک لیتر آب مقطر درون بالن قرار گرفتند و به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شدند. اسانس استخراجی محاسبه وزنی و در یخچال نگهداری شد. اسانس جمع‌آوری شده به‌وسیله سولفات سدیم بدون آب، آبیگری و بازده استخراج محاسبه شد. برای محاسبه درصد و عملکرد اسانس از رابطه زیر استفاده شد (کیانی و همکاران، ۱۳۹۳).

وزن خشک ماده اولیه (گرم) / وزن اسانس (گرم) = درصد اسانس

می‌شود و نهایتاً تعداد شاخه فرعی کاهش می‌یابد (کافی و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص سطح برگ

در هر دو چین، با افزایش شدت تنش از شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاسته شد. به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص سطح برگ به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین حاصل از تجزیه مرکب دو چین نشان داد تیمارهای تلقیح باکتریایی، شاخص سطح برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۲). تحت تنش کمبود آب، کاهش تعرق باعث کاهش اندازه برگ شده و رطوبت بیش‌تری درون ریزوسفر خاک ذخیره شده تا گیاه در دوره‌های حیاتی خود و هنگام دانه‌بندی از آب ذخیره شده بهره‌برداری نماید (ماهپارا^۲ و همکاران، ۲۰۱۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری و تنش خشکی بر شاخص سطح برگ، در چین دوم تیمارهای آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل باکتری *Stereptomyces rimosus* شاخص سطح برگ را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. اگرچه با سایر تیمارهای باکتریایی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج مطالعه خرمدل و همکاران (۱۳۸۷) در سیاهدانه نشان داد کاربرد *آزوسپیریوم*، *ازتوباکتر* و *قارچ میکوریزا* توانسته است شاخص سطح برگ گیاه را نسبت به شاهد افزایش دهد؛ در این میان تلفیق *مایکوریزا* و *آزوسپیریوم* نیز بیش‌ترین تأثیر را در افزایش شاخص سطح برگ داشت. تلقیح قارچ *مایکوریزا* و *ازتوباکتر* با گندم نیز تحت تنش خشکی موجب افزایش شاخص سطح برگ، عملکرد و پروتئین این گیاه شد، که دلیل آن تأثیر دو نوع تلقیح تنظیم‌کننده رشد گیاهی بر رشد و جذب عناصر غذایی در گندم در شرایط تنش خشکی گزارش شد (حسن‌پور^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). لطیف^۴ و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند تلقیح باکتری‌های محرک رشد *Azotobacter chroococum* و *Azospirillum lipoferum* در گیاه ذرت افزایش سطح برگ را به دنبال داشت. علت افزایش سطح برگ در اثر استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به توانایی این میکروارگانیسم‌ها برای تولید هورمون‌های محرک رشد باشد که منجر به افزایش تقسیمات و رشد سلول‌های برگ می‌گردند.

محرک‌رشد، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش به رشد گیاهان کمک کرده و موجب افزایش ارتفاع بوته می‌گردند. در تحقیق چمانی^۱ و همکاران (۲۰۱۰) باکتری *آزوسپیریوم* از طریق افزایش جذب رطوبت و عناصر غذایی که نتیجه‌ی گسترش بیش‌تر ریشه‌ها در اثر تولید مواد محرک رشد و همچنین انجام فرآیند تثبیت بیولوژیک نیتروژن است، منجر به افزایش ارتفاع گیاه شد. استفاده از تیمارهای ترکیبی کود آلی و زیستی بر ارتفاع بوته گیاه دارویی گشنیز نیز تأثیر معنی‌دار بر ارتفاع بوته داشته است. به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع بوته ۵۵ (سانتی‌متر) در ترکیب کود دامی با باکتری *آزوسپیریوم* به‌دست آمد (جوکار و همکاران، ۱۳۹۲).

تعداد شاخه فرعی

بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد و با افزایش شدت تنش کمبود آب، به‌طور معنی‌داری از تعداد شاخه فرعی کاسته شد (جدول ۱). تیمار با باکتری، تعداد شاخه فرعی را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۱). در چین اول، باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* در سه سطح تنش کمبود آب بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی را نشان داد (جدول ۳). در چین دوم *Bacillus amyloliquefaciens* در تیمار آبیاری کامل و باکتری *Stereptomyces rimosus* در ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در تجزیه مرکب دو چین نیز بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در تیمار تلقیح باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* به‌دست آمد که با سایر تیمارهای تلقیح باکتریایی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه با ترشح هورمون‌های تحریک‌کننده رشد از قبیل اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها و تأثیر مثبت آن‌ها در افزایش تقسیم سلولی و افزایش طول سلول‌ها، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم نقش مهمی در افزایش رشد و عملکرد گیاهان دارند (گودا و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کمبود آب و باکتری در چین دوم، نشان داد که تعداد شاخه فرعی در تیمارهای تلقیحی باکتریایی تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۳). دلیل کاهش تعداد شاخه فرعی، ارتفاع و قطر ساقه در اثر تنش کمبود آب کاهش پتانسیل فشاری درون سلول عنوان شده که باعث کاهش حجم و سنتز دیواره سلول

2. Mahpara
3. Hasanpour
4. Latef

1. Chamani

می‌باشد، از این رو می‌تواند در افزایش عملکرد و بهبود سایر صفات نقش داشته باشند.

وزن خشک برگ

افزایش شدت تنش خشکی، کاهش وزن خشک برگ را به دنبال داشت، به طوری که در چین اول در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۱۸ و ۳۴/۵ درصد کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در چین دوم نیز در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۲۱/۵ و ۴۵ درصد کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱). تلقیح تیمارها با باکتری در هر دو چین باعث افزایش وزن خشک برگ نسبت به تیمار بدون تلقیح شد. در چین اول باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azospirillum* و در چین دوم باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Stereptomyces rimosus* به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد وزن خشک برگ را افزایش دادند (جدول ۱). در مجموع، بیش‌ترین وزن خشک برگ در تیمار با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده شد که با سایر تیمارهای باکتریایی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد میکروارگانیسم‌های مفید مرتبط با ریشه گیاه نقش برجسته‌ای در تقویت مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارند. باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه، در واقع در ریزوسفر یا سطح ریشه گیاه، می‌توانند باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شوند (اعتصامی و ماهیشواری، ۲۰۱۸). باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش با تولید هورمون جیبرلین و افزایش تارهای کشنده، سطح جذب ریشه را بالا برده، آب و عناصر غذایی راحت‌تر و سریع‌تر در اختیار گیاه قرار گرفته و رشد گیاه بهبود خواهد یافت (زهیر^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). عباسی و همکاران (۱۳۹۵) هم بر گیاه ماش نتایج مشابهی را گزارش نمودند. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد، گسترش دوره تولید برگ در گیاه را به دنبال داشته و تعداد برگ و وزن برگ در بوته افزایش می‌یابد. علت این موضوع، تأثیر باکتری‌ها در تأمین مواد غذایی برای گیاه و افزایش تولید اکسین، سیتوکینین و جیبرلین بیان شده که این مواد محرک رشد منجر به بالا رفتن میزان تقسیمات سلولی و رشد سلول‌ها و هم‌چنین تداوم رشد برگ و افزایش وزن برگ می‌گردند.

این افزایش به نقش باکتری‌ها در کاهش سرعت تعرق و افزایش فتوسنتز نیز مرتبط است.

وزن خشک ساقه

نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح تنش کمبود آب بر وزن خشک ساقه در هر دو چین نشان داد، با افزایش سطوح تنش خشکی میزان وزن خشک ساقه کاهش معنی‌داری داشت، به طوری که در چین اول در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۲۲/۹ و ۴۵ درصد کاهش وزن خشک ساقه نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱). تنش خشکی با کاهش سطح فتوسنتزکننده، بستن روزنه‌ها به دلیل تولید اسید آبسزیک در ریشه، کاهش فتوسنتز و به واسطه آن کاهش سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، در نهایت سبب کاهش رشد رویشی گیاه و کاهش وزن ساقه می‌گردد. در چین دوم نیز در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۳۰ و ۵۶/۸ درصد کاهش وزن خشک ساقه نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۱). تلقیح تیمارها با باکتری در هر دو چین نسبت به تیمار بدون تلقیح باعث افزایش وزن خشک ساقه شد. باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* در هر دو چین به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد وزن خشک ساقه را افزایش دادند (جدول ۱). در نهایت بیش‌ترین وزن خشک ساقه در مجموع در تیمار با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده شد (جدول ۲).

در تحقیق ادوای و باغبانی آرانی (۱۳۹۸) در گیاه ارزن، گزارش شد کودهای زیستی *ازتوباکترکروکوکوم* و *آزوسپیریوم برازیلینس* از طریق ساخت هورمون‌های محرک رشد، شاخص‌های رشدی گیاه را بالا برده و با توجه به این‌که اکسین منجر به افزایش تقسیمات سلولی و جیبرلین و مشتقات آن منجر به افزایش رشد طولی سلول به خصوص میان‌گره‌های ساقه می‌گردند، در نتیجه افزایش عملکرد در رژیم‌های مختلف آبیاری اتفاق می‌افتد. در تحقیق دیگری به منظور مطالعه اثر تلقیح گیاه ذرت با دو گونه باکتری *آزوسپیریوم* و *ازتوباکتر* بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه مشاهده شد وزن خشک ساقه، برگ و کل بوته، ارتفاع بوته و سطح برگ در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافته است. افزایش معنی‌داری در کاربرد توأم این دو باکتری نیز در صفات مورد بررسی مشاهده شد. نظر به اینکه *آزوسپیریوم* از توانایی تثبیت غیرهمزیست نیتروژن در گیاهان غیر لگومینوز برخوردار است و همانند *ازتوباکتر* قادر به تولید هورمون، ویتامین B، ترشح سیدروفور و اسیدهای آلی در ریزوسفر

جدول ۱: مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، شاخص سطح برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، درصد اسانس، عملکرد اسانس و

عملکرد بیولوژیک در هر چین

Table 1: Mean comparison of main effects of drought stress and bacterial inoculation on plant height, number of sub-branches, leaf area index, stem dry weight, leaf dry weight and biological yield in each cut

عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield (g.m ⁻²)		عملکرد اسانس (گرم در مترمربع) Essential oil yield (g.m ⁻²)		درصد اسانس (درصد) Essential oil percentage (%)		وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) Leaf dry weight (g.m ⁻²)		وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع) Stem dry weight (g.m ⁻²)		شاخص سطح برگ Leaf area index		تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub- branches		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)		تیمار Treatment
چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	
466.80 ^a	582.77 ^a	1.4935 ^a	0.8914 ^a	0.320 ^a	0.152 ^b	327.60 ^a	344.71 ^a	139.20 ^a	238.05 ^a	5.43 ^a	4.21 ^a	18.97 ^a	123.26 ^a	47.56 ^a	49.86 ^a	آبیاری کامل Full irrigation
354.50 ^b	465.85 ^b	1.3255 ^a	0.8381 ^a	0.374 ^a	0.178 ^a	257.33 ^b	282.24 ^{ab}	97.16 ^b	183.60 ^b	3.83 ^b	3.60 ^b	13.16 ^b	96.30 ^b	43.14 ^a	46.08 ^b	تنش خشکی Drought stress
240.17 ^c	356.22 ^c	0.9057 ^b	0.5441 ^b	0.376 ^a	0.152 ^b	180.17 ^c	225.51 ^b	60.00 ^c	130.71 ^c	3.12 ^c	3.09 ^c	7.38 ^c	77.08 ^c	31.50 ^b	41.02 ^c	۷۵ درصد آبیاری کامل 75% full irrigation
320.57 ^c	430.05 ^c	1.0423 ^c	0.5741 ^c	0.331 ^b	0.134 ^c	231.33 ^b	262.63 ^b	89.24 ^b	167.41 ^c	3.32 ^b	3.26 ^b	10.37 ^b	85.28 ^c	39.06 ^b	44.42 ^a	۵۰ درصد آبیاری کامل 50% full irrigation
378.81 ^a	498.52 ^a	1.3731 ^a	0.8729 ^a	0.365 ^{ab}	0.172 ^{ab}	273.16 ^a	298.61 ^a	105.64 ^a	199.90 ^a	4.45 ^a	4.06 ^a	14.84 ^a	115.73 ^a	42.93 ^a	47.06 ^a	میانگین Control
348.83 ^b	459.56 ^{bc}	1.2225 ^b	0.7075 ^b	0.359 ^{ab}	0.154 ^{bc}	251.25 ^{ab}	280.75 ^{ab}	97.57 ^{ab}	178.81 ^{bc}	3.83 ^{ab}	3.57 ^b	11.86 ^b	94.55 ^{bc}	40.22 ^{ab}	45.62 ^a	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
366.25 ^{ab}	470.03 ^{ab}	1.2897 ^{ab}	0.7909 ^{ab}	0.358 ^{ab}	0.168 ^{ab}	265.44 ^a	287.28 ^{ab}	100.81 ^{ab}	182.75 ^{abc}	4.60 ^a	3.68 ^{ab}	14.37 ^a	99.71 ^b	41.33 ^{ab}	45.13 ^a	<i>Bacillus strain A</i>
354.64 ^{ab}	483.23 ^{ab}	1.2801 ^{ab}	0.8439 ^a	0.371 ^a	0.174 ^a	253.98 ^{ab}	291.49 ^a	100.66 ^{ab}	191.73 ^{ab}	4.33 ^a	3.61 ^b	14.40 ^a	99.13 ^b	40.13 ^{ab}	46.04 ^a	<i>Streptomyces rimosus</i>
																<i>Azospirillum</i>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

In each column, means followed with at least one similar letter(s) don't have significant differences at the 5% probability level based on LSD test

جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش خشکی، تلقیح باکتریایی و چین بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، شاخص سطح برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، درصد اسانس، عملکرد اسانس و

عملکرد بیولوژیک

Table 2: Mean comparison of main effects of drought stress, bacterial inoculation and cut on plant height, number of sub-branches, leaf area index, stem dry weight, leaf dry weight and biological yield

عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield (g.m ⁻²)	عملکرد اسانس (گرم در مترمربع) Essential oil yield (g.m ⁻²)	درصد اسانس (درصد) Essential oil percentage (%)	وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) Leaf dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع) Stem dry weight (g.m ⁻²)	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub- branches	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تیمار Treatment
468.28 ^a	0.7579 ^b	0.161 ^b	284.15 ^a	184.12 ^a	3.64 ^b	98.88 ^a	45.65 ^a	چین ۱ Cut 1
353.82 ^b	1.2416 ^a	0.357 ^a	255.03 ^b	98.78 ^b	4.13 ^a	13.17 ^b	40.73 ^b	چین ۲ Cut 2
524.78 ^a	1.1925 ^a	0.236 ^b	336.15 ^a	188.63 ^a	4.82 ^a	71.12 ^a	48.71 ^a	آبیاری کامل Full irrigation
410.17 ^b	1.0818 ^a	0.276 ^a	269.79 ^b	140.38 ^b	3.71 ^b	54.73 ^b	44.61 ^b	تنش خشکی Drought stress
298.20 ^c	0.7249 ^b	0.264 ^{ab}	202.84 ^c	95.35 ^c	3.11 ^b	42.23 ^c	36.26 ^c	۷۵ درصد آبیاری کامل 75% full irrigation
375.31 ^c	0.8082 ^c	0.232 ^b	246.98 ^b	128.32 ^c	3.29 ^b	47.83 ^c	41.74 ^b	۵۰ درصد آبیاری کامل 50% full irrigation
438.66 ^a	1.1230 ^a	0.269 ^a	285.89 ^a	152.77 ^a	4.26 ^a	65.28 ^a	45.00 ^a	شاهد Control
404.19 ^b	0.9650 ^b	0.257 ^{ab}	266.01 ^{ab}	138.19 ^{bc}	3.75 ^{ab}	53.21 ^{bc}	42.92 ^{ab}	<i>Bacillus amyloliquifaciens</i>
418.14 ^{ab}	1.0403 ^{ab}	0.263 ^a	276.36 ^a	141.78 ^{abc}	4.14 ^a	57.04 ^b	43.23 ^{ab}	<i>Bacillus Strain A</i>
418.93 ^{ab}	1.0620 ^{ab}	0.273 ^a	272.73 ^a	146.20 ^{ab}	3.97 ^a	56.76 ^b	43.08 ^{ab}	<i>Streptomyces rimosus</i>
								<i>Azospirillum</i>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

In each column, means followed with at least one similar letter(s) don't have significant differences at the 5% probability level based on LSD test

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، شاخص سطح برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک در هر چین

Table 3: Mean comparison of interactional effects of drought stress and bacterial inoculation on plant height, number of sub-branches, leaf area index, stem dry weight, leaf dry weight and biological yield in each cut

عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield (g.m ⁻²)		عملکرد اسانس (گرم در مترمربع) Essential oil yield (g.m ⁻²)		درصد اسانس (درصد) Essential oil percentage (%)		وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) Leaf dry weight (g.m ⁻²)		وزن خشک ساقه (گرم در مترمربع) Stem dry weight (g.m ⁻²)		شاخص سطح برگ Leaf area index		تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub- branches		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)		تیمار Treatment	
چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۱ Cut 1		
404.89 ^b	554.22 ^a	1.1890 ^c	0.7086 ^b	0.295 ^a	0.128 ^b	282.22 ^a	333.85 ^a	122.67 ^a	220.37 ^b	4.12 ^b	3.72 ^a	15.67 ^c	108.13 ^a	46.67 ^a	48.60 ^a	Control	
519.11 ^a	629.63 ^a	1.7668 ^a	1.0772 ^a	0.340 ^a	0.169 ^a	369.33 ^a	367.33 ^a	149.78 ^a	262.29 ^a	5.97 ^a	4.51 ^a	22.87 ^a	134.33 ^a	49.80 ^a	51.33 ^a	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	آبیاری
447.78 ^{ab}	559.57 ^a	1.3991 ^{bc}	0.7657 ^{ab}	0.317 ^a	0.136 ^{ab}	313.11 ^a	334.67 ^a	134.67 ^a	224.89 ^b	5.02 ^{ab}	4.09 ^a	16.53 ^{bc}	119.47 ^a	46.27 ^a	49.47 ^a	<i>Bacillus strain A</i>	کامل
480.89 ^a	568.59 ^a	1.6030 ^{ab}	0.9332 ^{ab}	0.334 ^a	0.164 ^{ab}	335.11 ^a	338.96 ^a	145.78 ^a	229.63 ^{ab}	6.10 ^a	4.47 ^a	18.47 ^b	123.87 ^a	47.07 ^a	49.53 ^a	<i>Streptomyces rimosus</i>	Full irrigation
481.33 ^a	601.85 ^a	1.5097 ^{ab}	0.9722 ^{ab}	0.317 ^a	0.161 ^{ab}	338.22 ^a	348.74 ^a	143.11 ^a	253.11 ^{ab}	5.97 ^a	4.28 ^a	21.33 ^a	130.53 ^a	48.00 ^a	50.40 ^a	<i>Azospirillum</i>	
330.83 ^b	411.93 ^b	1.1383 ^b	0.5827 ^b	0.344 ^a	0.142 ^b	243.33 ^b	247.17 ^a	88.50 ^a	164.76 ^a	3.37 ^a	3.32 ^a	11.40 ^a	79.33 ^c	40.93 ^a	44.60 ^a	Control	
374.44 ^a	500.82 ^a	1.4518 ^a	0.9798 ^a	0.388 ^a	0.194 ^a	268.61 ^a	302.28 ^a	105.83 ^a	198.54 ^a	4.11 ^a	4.17 ^a	13.80 ^a	117.07 ^a	44.93 ^a	48.33 ^a	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	۷۵ درصد
358.06 ^{ab}	472.69 ^{ab}	1.3374 ^a	0.8430 ^a	0.374 ^a	0.177 ^{ab}	260.00 ^{ab}	282.92 ^a	98.06 ^a	189.78 ^a	3.59 ^a	3.46 ^a	12.27 ^a	96.13 ^{abc}	43.80 ^a	46.20 ^a	<i>Bacillus strain A</i>	آبیاری کامل
373.00 ^a	475.74 ^{ab}	1.3247 ^{ab}	0.8364 ^a	0.354 ^a	0.176 ^{ab}	273.89 ^a	295.11 ^a	100.00 ^a	180.63 ^a	4.17 ^a	3.62 ^a	15.40 ^a	103.67 ^{ab}	46.60 ^a	46.87 ^a	<i>Streptomyces rimosus</i>	75% full irrigation
335.28 ^b	468.06 ^{ab}	1.3753 ^a	0.9485 ^a	0.410 ^a	0.202 ^a	240.83 ^b	283.76 ^a	94.44 ^a	184.32 ^a	3.92 ^a	3.45 ^a	12.93 ^a	85.33 ^{bc}	41.47 ^a	46.40 ^a	<i>Azospirillum</i>	
226.00 ^a	324.00 ^b	0.7997 ^a	0.4311 ^b	0.354 ^a	0.133 ^a	168.44 ^a	206.89 ^a	57.56 ^a	117.11 ^a	2.48 ^b	2.74 ^a	4.06 ^b	68.40 ^c	29.60 ^b	40.07 ^a	Control	
242.89 ^a	365.11 ^{ab}	0.9007 ^a	0.5617 ^{ab}	0.368 ^a	0.154 ^a	181.56 ^a	226.22 ^a	61.33 ^a	138.89 ^a	3.29 ^{ab}	3.51 ^a	7.86 ^a	95.80 ^a	34.07 ^a	41.53 ^a	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	۵۰ درصد
240.67 ^a	346.44 ^{ab}	0.9312 ^a	0.5137 ^{ab}	0.387 ^a	0.149 ^a	180.67 ^a	224.67 ^a	60.00 ^a	121.78 ^a	3.19 ^{ab}	3.17 ^a	6.80 ^{ab}	69.07 ^c	30.60 ^{ab}	41.20 ^a	<i>Bacillus strain A</i>	آبیاری کامل
244.00 ^a	365.78 ^{ab}	0.9414 ^a	0.6031 ^a	0.387 ^a	0.165 ^a	187.33 ^a	227.78 ^a	56.67 ^a	138.00 ^a	3.54 ^a	2.96 ^a	9.26 ^a	71.60 ^c	32.33 ^{ab}	41.00 ^a	<i>Streptomyces rimosus</i>	50% full irrigation
247.33 ^a	379.78 ^a	0.9554 ^a	0.6110 ^a	0.386 ^a	0.160 ^a	182.89 ^a	242.00 ^a	64.44 ^a	137.78 ^a	3.12 ^{ab}	3.11 ^a	8.93 ^a	81.53 ^b	30.93 ^a	41.33 ^a	<i>Azospirillum</i>	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

In each column, means followed with at least one similar letter(s) don't have significant differences at the 5% probability level based on LSD test

درصد اسانس

جبران کند و باعث کاهش عملکرد اسانس در دو سطح تنش شد. نتایج مقایسه میانگین اثر باکتری بر عملکرد اسانس در دو چین نشان داد تمامی تیمارهای باکتریایی منجر به افزایش عملکرد اسانس شدند. بین شاهد و تیمارهای باکتریایی از لحاظ عملکرد اسانس تفاوت معنی‌دار مشاهده شد، درحالی‌که بین تیمارهای باکتریایی تفاوت معنی‌داری از این لحاظ مشاهده نشد. بیش‌ترین عملکرد اسانس در هر دو چین در تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده شد. عملکرد اسانس از ضرب عملکرد بیولوژیک در درصد اسانس حاصل می‌شود و باتوجه به نتایج به‌دست آمده، از میان باکتری‌ها *Bacillus amyloliquefaciens* دارای بالاترین میزان بیولوژیک و بیش‌ترین درصد اسانس بود و بالاترین میزان عملکرد اسانس را در دو چین و در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد آبیاری کامل به خود اختصاص داد.

عملکرد بیولوژیک

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به‌دست آمد. علت افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب، توسعه بیش‌تر و بهبود دوام سطح برگ می‌باشد که باعث استفاده بیش‌تر از نور خورشید و افزایش ساخت ماده خشک می‌شود (قلی‌نژاد، ۱۳۹۶). تیمارهای باکتریایی در هر دو چین، به‌جز باکتری *Bacillus strain A* در چین اول، عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۱). در میان تیمارهای باکتریایی مورد آزمایش، بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار تلقیحی *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده شد (جدول ۲). باتوجه به نتایج اثرات متقابل تنش و باکتری در شرایط آبیاری کامل، در هر دو چین بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در تیمار *Bacillus amyloliquefaciens* به‌دست آمد که با سایر تیمارهای باکتریایی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در تیمار ۷۵ درصد آبیاری کامل نیز در هر دو چین بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده شد درحالی‌که در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل، تیمار *Azospirillum* بالاترین عملکرد را نشان داد که در چین اول با سایر تیمارهای باکتریایی و در چین دوم با شاهد و سایر تیمارهای باکتریایی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد باکتری‌های جنس *باسیلوس* توانایی ترشح هورمون اکسین را دارند. بنابراین احتمال می‌رود که تلقیح گیاه با این باکتری‌ها از طریق تولید هورمون اکسین تولید اندام هوایی را تحریک و در نهایت عملکرد را افزایش

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، در چین اول و دوم از نظر تنش خشکی به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد بین تیمارها مشاهده شد، اما از لحاظ تیمار باکتریایی، در چین اول اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد و در چین دوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد. باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین و کم‌ترین اثر تنش خشکی بر درصد اسانس به‌ترتیب در چین اول در تیمارهای ۷۵ درصد آبیاری کامل و تیمار ۵۰ و ۱۰۰ به میزان مساوی و در چین دوم ۵۰ درصد آبیاری کامل و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل مشاهده شد. با اعمال تنش، درصد اسانس افزایش نشان داد، در چین اول با شدت گرفتن میزان تنش، درصد اسانس گیاه، کاهش یافت، اما در چین دوم با شدت گرفتن میزان تنش درصد اسانس گیاه همچنان روند صعودی را نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثر باکتری بر درصد اسانس، در دو چین نشان داد تمامی تیمارهای باکتریایی منجر به افزایش درصد اسانس شدند و در چین اول غیر از باکتری *Bacillus strain A* بقیه باکتری‌ها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند، در چین دوم بین تیمارها از لحاظ اعمال تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و از لحاظ تلقیح باکتریایی تنها باکتری *Azospirillum* با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. باکتری *Azospirillum lipoferum* در دو چین بالاترین درصد اسانس را نشان داد. تحقیقات مشابه دلیل افزایش میزان و کیفیت اسانس گیاهان دارویی را در این شرایط برهم‌کنش گیاه با میکروارگانیسم‌های محرک رشد و انتقال سیگنال توسط آن‌ها بیان می‌کنند. اثرگذاری مفید مایکوریزا بر اسانس و ترکیبات مؤثره اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه توسط عباس‌زاده و ذاکریان (۱۳۹۵)، به اثبات رسیده است. تأثیر مفید باکتری‌های محرک رشد (پسودوموناس فلورسنت، ازتوباکتر، آروسپیریلوم)، نیز در گیاه دارویی بادرنجبویه بر اسانس و ترکیبات مؤثره اسانس گزارش شده است (کازمی نسب و همکاران، ۱۳۹۵).

عملکرد اسانس

در تحقیق حاضر اثر باکتری و تنش خشکی بر عملکرد اسانس در دو چین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد اسانس با اعمال تنش خشکی به‌ترتیب در دو چین در ۱۰۰ و ۵۰ درصد آبیاری کامل مشاهده شد. با اعمال تنش، کاهش عملکرد اسانس مشاهده شد. تنش ضعیف باعث افزایش درصد اسانس شد، اما به دلیل کاهش شدید عملکرد گیاه در شرایط تنش، افزایش درصد اسانس نتوانست این کاهش عملکرد را

تلقیح بذر که سازگار با محیطزیست و گامی مهم در راستای رسیدن به سیستم کشاورزی پایدار و محصولات ارگانیک می‌باشند، تحمل گیاه را به تنش‌های زنده و غیرزنده افزایش داد و شاهد عملکرد بیش‌تری از گیاهان زراعی بود. باکتری‌های ریزوسفری به‌عنوان محرک رشد گیاه عمل کرده و این افزایش معنی‌دار صفات نسبت به شاهد به دلیل عملکردهای مثبت باکتری بر خواص خاک، جذب عناصر و مواد غذایی از خاک و نیز افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش خشکی بوده که همگی نقش مهمی در رشدونمو گیاه دارند.

با بررسی کلیه صفات اندازه‌گیری شده، با کاهش سطوح تنش خشکی مقادیر صفات مورد اندازه‌گیری افزایش یافت، با این وجود تیمار با باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش اثرات منفی تنش بر رشد گیاه شدند. تیمارهای باکتریایی به‌دلیل داشتن سازوکارهایی از تثبیت زیستی نیتروژن، تولید سیدروفور، انحلال فسفات و پتاسیم، تولید انواع هورمون‌های گیاهی، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزنده که نهایتاً منجر به بهبود رشد گیاه می‌شود قادر بودند رشد گیاه بادرنجبویه را افزایش دهند. اما این تیمارهای باکتریایی در جهت بهبود صفات موردنظر از توانایی یکسانی برخوردار نبودند. از بین این تیمارهای باکتریایی در همه صفات موردبررسی و در هر دو چین باکتری *Bacillus amyloliquifaciens* بیش‌ترین تأثیر را در بهبود اثرات تنش داشت. باتوجه به نتایج حاصل از این تحقیق و محدودیت آب در بیش‌تر نقاط کشور، تلقیح گیاه با باکتری‌های *Bacillus* و *Streptomyces rimosus* و *Azospirillum amyloliquefaciens* جهت بهبود رشد گیاه بادرنجبویه در شرایط تنش خشکی پیشنهاد می‌شود.

دهد. علت افزایش عملکرد بیولوژیک افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن و فسفر موجود در تیمارهای کودی اعمال شده در حضور باکتری‌های ارتقادهنده رشد می‌باشد.

حمیدی و همکاران (۱۳۸۹) با کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر گیاه ذرت مشاهده کردند تیمار تلقیح بذرها دو رگ ۷۰۴ با باکتری‌های *ازتوباکتر کروکوکوم*، *آزوسپیریلوم لیپوفرورم*، *آزوسپیریلوم برازیلینس* و *پسودوموناس فلورنس منجر* به افزایش (۲۹/۶ درصد) وزن خشک بوته نسبت به شاهد (عدم تلقیح بذر) شد. وزن خشک بوته معیاری از رشد رویشی بوته و عملکرد بیولوژیک است. رضی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) نیز در گیاه بادرنجبویه با کاربرد کودهای بیولوژیک شاهد افزایش ارتفاع، سطح برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بودند.

باکتری‌های محرک رشد با ساخت هورمون‌های محرک رشد، شاخص‌های رشدی گیاه را بالا برده و باتوجه به این‌که اکسین منجر به افزایش تقسیمات سلولی و جیبرلین و مشتقات آن منجر به افزایش رشد طولی سلولی به خصوص میان‌گره‌های ساقه می‌گردند، در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک در رژیم‌های مختلف آبیاری حاصل می‌شود.

نتیجه‌گیری

کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای کشاورزی در شرایط تنش‌زا جهت افزایش کارایی گیاه در نظر گرفته شود و بدین ترتیب برخی از مشکلات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی در دهه‌های اخیر را جبران کند. باتوجه به این‌که ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است، می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف پرایمینگ بذر و استفاده از باکتری‌های محرک رشد جهت

منابع

- Abasi, N., Jalilian, J. and Zare, M. J. 2016. Evaluation of the effect of *Azospirillum* spp. inoculation, alone and in combination with phosphate solubilizing bacteria *Bacillus megaterium*, on alleviation of the effects of salinity stress on Mung bean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 11 (41): 26-40. (In Persian).
- Abbaszadeh, B. and Zakerian, F. 2016. Elements uptake in Balm (*Melissa officinalis* L.) under the effect of mycorrhiza and *Piriformospora indica* and vermicompost. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32 (1): 47-59. (In Persian).
- Adavi, Z. and Baghbani- Arani, A. 2020. Effect of bio-fertilizers application on yield and yield components of millet cultivars Common (*Panicum miliaceum* L.) and Foxtail millet (*Setaria italica* L.) in water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50 (4): 13-25. (In Persian).
- Bhise, K. K. and Dandge, P. B. 2019. Alleviation of salinity stress in rice plant by encapsulated salt tolerant plant growth promoting bacteria *Pantoea agglomerans* strain KL and its root colonization ability. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65 (14): 1955-1968.
- Chamani, F., Habibi, D., Khodabandeh, N., Davoodi Fard, M. and Asgharzadeh, A., 2010. Effects of salinity stress on growth and antioxidant enzyme activity of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonase putida*) and humic acid. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8: 39-55.

- Etesami, H. and Maheshwari, D. K. 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156: 225-246.
- Farshi, A.A. and Mir Latifi, M. 2003. Irrigation Water Management in the Field. National Iranian Irrigation and Drainage Committee Publications. 200p. (In Persian).
- Gholinezhad, E. 2017. Effect of Two Species Mycorrhizal Fungi on Quantitative and Qualitative Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Landraces in Different Levels of Drought Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15 (1): 150-167. (In Persian).
- Gorgini Shabankareh, H., Fakheri, B. A. and Mohammadpuor Vashvahi, R. 2015. Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46 (4): 673-686. (In Persian).
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S. and Patra, J. K. 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206: 131-140.
- Hamidi, A., Asgharzadeh, A., Chaokan, R., Dehghanshoar, M., Ghalavand, A. and Malakouti, M. 2010. Effects of PGPR Application on Dry Matter Partitioning and Some Growth Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids under Greenhouse Conditions. *Iranian Journal of Soil Research*, 24 (1): 55-67. (In Persian).
- Hasanpour, J., Panahi, M., Sadeghi, M. and Arabsalmani, K. 2012. Effect of inoculation with VA mycorrhiza and azotobacter on grain yield, LAI and protein of wheat on drought stress condition. *International Journal of AgriScience*, 2 (6): 466-476.
- Jafarzadeh, L., Omid, H. and Bostani, A. 2013. Effect of drought stress and bio-fertilizer on flower yield, photosynthesis pigments and proline content of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29 (3): 666-680. (In Persian).
- Jokar, A. M., Fallah Amoli, H., Niknezhad, Y. and Marashi, S. J. 2014. Comparison of the effect of livestock biofertilizers on the agricultural characteristics of the medicinal plant Coriander. Third National Conference on Medicinal Plants. Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, (In Persian).
- Kafi, M., Borzooee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. 2018. Physiology of environmental stresses in plants. *Jahad Daneshgahi of Mashhad Press*. 504p. (In Persian).
- Kazemi Oskuei, B., Bandehagh, A., Sarikhani, M. R. and Komatsu, S. 2018. Protein profiles underlying the effect of plant growth-promoting *Rhizobacteria* on canola under osmotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37: 560-574.
- Kazeminasab, A., Yarnia, M., Lebaschi, M., Mirshekar, B. and Rajali, F. 2016. Effects of vermicompost and biofertilizers on essential oil composition of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32 (4): 678-687. (In Persian).
- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Ghorbani IR. 2008. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops*, 6 (2): 285-294. (In Persian).
- Kiani, Z., Esmaeilpour, B., Hadian, J., Soltani Toolarood, A. A. and Fathololumi, S. 2015. Effect of organic fertilizers on growth properties nutrient absorption and essential oil yield of medicinal plant of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Plant Production Research*, 21 (4): 63-80. (In Persian).
- Kushwaha, P., Kashyap, P. L., Bhardwaj, A. K., Kuppasamy, P., Srivastava, A. K. and Tiwari, R. K. 2020. Bacterial endophyte mediated plant tolerance to salinity: growth responses and mechanisms of action. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36 (2): 1-16.
- Latef, A. A. H. A., Alhmad, M. F. A., Kordrostami, M., Abo-Baker, A. B. A. E. and Zakir, A. 2020. Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* Reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39 (9): 1-14.
- Mahmodi, R., Amini, K., Asadi Dashbolagh, J. and Farhoodi, A. 2016. Antioxidant and antibacterial properties of the *Melissa officinalis* essential oil. *The Journal of Qazvin University of Medical Science*, 20 (2): 49-57. (In Persian).
- Mahpara, S., Hussain, T. and Farooq, J. 2014. Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*, 4 (160): 133-140.
- Omid, F. J., Mohajjel shoja, H. and Sariri, R. 2020. Study of anatomical structure of *Melissa officinalis* and the effects of drought stress and salicylic acid treatment on its morphological and molecular characteristics. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33 (3): 528-543. (In Persian).
- Paul, D. and Lade, H. 2014. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (4): 737-752.
- Razipour, P., Golchin, A. and Daghestani, M. 2016. Effects of different levels of cow manure and inoculation with nitroxin on growth and performance of *Melissa officinalis* L., *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32 (5): 807-823. (In Persian).
- Takahashi, F., Kuromori, T., Urano, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 2020. Drought stress responses and resistance in plants: From cellular responses to long-distance intercellular communication. *Frontiers in Plant Science*, 11: 556972.
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and SkZ, A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting *Rhizobacteria*. *Microbiological Research*, 184: 13-24.
- Wright, P. R., Morgan, J. and Jessop, R. S. 1996. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits. *Plant Water Relations and Growth Field Crops Research*, 49: 51-64.

Zahir, Z. A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S. M. and Asghar, H. N. 2009. Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia* sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. Archives of Microbiology, 191 (5): 415-424.