University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 15, No. 4, pp. 1037-1057 (Winter 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4225.1990

Original article

The investigation of Pseudomonas bacteria on some morpho-physiological traits of two cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) with different irrigation intervals

S.M. Ghazizadeh[1*], M.R. Amerian[2], H.R. Asghari[2], H. Asadi Rahmani[3]

1. M.Sc. of Agronomy, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran
2. Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Engineering, Shahroud University, Iran
3. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran

Received 16 March 2021; Accepted 1 May 2021

Extended abstract

Introduction

The use of biological fertilizers can be effective and beneficial in abiotic environmental stresses specially in drought stress, arid and semi-arid regions of the world.

Materials and methods

An experiment was conducted to investigate the effect of deficit irrigation stress and Pseudomonas bacteria on some morpho-physiological traits of two potato cultivars at the research farm of Shahroud University of Technology located in Bastam region in 2010. Treatments included irrigation cycles as the main factor at three levels (7, 10, and 14-days), Pseudomonas bacteria (inoculation and non-inoculation) and cultivar at two levels (Savalan and Agria) as the sub-factor with three replications.

Results and discussion

The results showed that the highest dry matter accumulation in the aerial part was observed in the 7-day irrigation cycle and inoculation with Pseudomonas bacteria. The number of tubers was increased about 12.66% because of inoculation with Pseudomonas fluorescens per square meter. Savalan cultivar interaction and 7-day irrigation cycle also obtained the highest number of tubers with an average of 166.39 per square meter. The application of inoculation with Pseudomonas fluorescens increased chlorophyll A by 9.3%. It compared with non-bacterial inoculation. Chlorophyll B had the highest chlorophyll content in the main treatments of the 7-day irrigation cycle and Agria cultivar. The highest amount of potassium content was obtained at the rate of 2.06% at the highest irrigation cycle (14-day). The application of inoculation and non-inoculation with Pseudomonas caused the highest amount of proline at 14-day irrigation cycle. Inoculation with Pseudomonas bacteria increased the final tuber yield about 22.85%. Furthermore, Savalan cultivar increased the final tuber yield about 110.09% in the 7-day irrigation cycle compared to the 14-day. Finally, the 7-day irrigation cycle was the best irrigation cycle to increase the morpho-physiological traits, chlorophyll, number of tubers, and the final tuber yield. Inoculation with Pseudomonas bacteria increased the effectiveness of these traits. Also, the production of compatible osmolytes (proline and potassium) improved drought stress tolerance in 14-day irrigation cycle. Growth-promoting bacteria improves seed germination, root propagation, shoot and root weight,

[*] Corresponding author: Mohadese Ghazizade,; E-Mail: mohadese.ghazizade@gmail.com

© 2022, 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).

leaf area, chlorophyll content, hydraulic conductivity, protein, nutrient absorption and plant yield (Batool et al., 2020). Growth-promoting bacteria of polysaccharides increases biomass production under drought stress conditions (Daffonchio et al., 2015). Potassium is one of the most important osmolytes under drought stress conditions and adverse conditions (Anschütz et al. 2014). Cellular and physiological responses are carried out through organic salts as proline to reduce cellular damage during drought stress. It is an osmotic regulator (Merwad et al., 2018)

Conclusion

The 7-day irrigation cycle was the best irrigation cycle to increase the morpho-physiological traits, chlorophyll, number of tubers, and the final tuber yield. Inoculation with Pseudomonas bacteria increased the effectiveness of these traits. Also, the production of compatible osmolytes (proline and potassium) improved drought stress tolerance in 14-day irrigation cycle.

***Keywords*:** Biological fertilizers, Irrigation cycle, Potato, Tuber yield

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4225.1990

مقاله پژوهشی

بررسی باکتری سودوموناس بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در فواصل مختلف آبیاری

سیده محدثه قاضی‌زاده[1*]، محمدرضا عامریان[2]، حمیدرضا اصغری[2]، هادی اسدی‌رحمانی[3]

۱. کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه شاهرود
۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
سیب‌زمینی
دور آبیاری
عملکرد غده
کود بیولوژیک

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۲/۱۱

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۱
۱۰۳۷-۱۰۵۷ :(۴)۱۵

چکیده

استفاده از کودهای بیولوژیک می‌تواند به‌عنوان راه‌کار مناسب برای افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان زراعی مدنظر قرار گیرد. به‌منظور بررسی باکتری سودوموناس بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم سیب‌زمینی در فواصل مختلف آبیاری در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در منطقه بسطام در سال ۱۳۸۹ اجرا شد. آزمایش در قالب اسپیلیت‌پلات فاکتوریل و تیمارها شامل دور آبیاری در سه سطح (۷، ۱۰ و ۱۴ روزه) به‌عنوان عامل اصلی و باکتری سودوموناس فلورسنس در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح) و رقم در دو سطح (ساوالان و اگریا) به‌عنوان عامل فرعی با سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که بیشترین تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی در دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری مشاهده شد. تلقیح با باکتری سودوموناس باعث افزایش ۱۲/۶۶ درصدی تعداد غده در مترمربع گردید، هم‌چنین اثر متقابل رقم ساوالان و دور آبیاری ۷ روزه بیشترین تعداد غده با میانگین ۱۶۶/۳۹ غده در مترمربع را حاصل کرد. کاربرد تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح باکتری باعث افزایش کلروفیل a به میزان ۹/۳ درصدی گردید. کلروفیل b و کل در تیمارهای اصلی دور آبیاری ۷ روزه و رقم اگریا بیشترین محتوی کلروفیل را دارا بودند. دور آبیاری ۱۴ روزه بیشترین میزان پتاسیم به میزان ۲/۰۶ درصد حاصل کرد. کاربرد تلقیح باکتری و عدم تلقیح در دور آبیاری ۱۴ روزه بیشترین میزان پرولین سبب گردیدند. تلقیح با باکتری باعث افزایش ۲۲/۸۵ درصد عملکرد نهایی غده شد، هم‌چنین رقم ساوالان در دور آبیاری ۷ روزه نسبت به دور آبیاری ۱۴ روزه باعث افزایش ۱۱۰/۰۹ درصدی عملکرد نهایی غده شد. افزایش صفات مورفولوژیک، کلروفیل، تعداد غده و عملکرد نهایی غده در دور آبیاری ۷ روزه مشاهده شد و تلقیح با باکتری باعث افزایش اثربخشی این صفات گردید. هم‌چنین در دور آبیاری ۱۴ روزه با تولید اسمولیت‌های سازگار (پرولین و پتاسیم) باعث بهبود تحمل به تنش خشکی گردید.

مقدمه

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌های اصلی عملکرد محصولات زراعی و کیفیت مواد غذایی و امنیت جهانی غذا است (Cheng et al., 2018). یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده رشد و عملکرد گیاهان که منجر به کاهش پتانسیل ژنتیکی‌شان می‌گردد، تنش خشکی است (Ebrahimian et al., 2019) که باعث تغییرات چشم‌گیر در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (فتوسنتز، تنفس، تعرق، متابولیسم هورمون و فعالیت آنزیم‌ها) در گیاهان می‌گردد (Okunlola et al., 2017). میزان تأثیر تنش بر رشد، عملکرد و متابولیسم‌های بستگی به ژنوتیپ، زمان تنش، شدت و موقعیت رشدی گیاه بستگی دارد (Réthoré et al., 2019). تنش خشکی جذب دی‌اکسید کربن در کلروپلاست را به‌شدت مختل می‌کند و باعث کاهش گسترش برگ، اختلالات فتوسنتزی، پیری زودرس برگ، اکسیداسیون لیپیدهای غشای کلروپلاست و تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌ها می‌گردد (Farhoudi et al., 2014). پتاسیم

* نگارنده پاسخگو: سیده محدثه قاضی زاده. پست الکترونیک: mohadese.ghazizade@gmail.com

نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای اساسی گیاهان ازجمله فعال‌سازی آنزیم، بیوسنتز پروتئین، تبادل یونی و گسترش سلولی و رشد و نمو گیاهان دارد (Martineau et al. 2017). اسمولیت‌های سازگار شامل گلایسین بتائین، قندها و پرولین می‌باشند که در قسمت‌های مختلف گیاه وجود دارند که در شرایط تنش‌زا از طریق حفظ pH سیتوزول، افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های مختلف، حفاظت از مولکول‌ها و کنترل پتانسیل ردوکس بین سلولی از گیاهان محافظت می‌کنند (Carlson et al., 2020).

میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان جایگزین‌های اصلی مواد شیمیایی در کشاورزی کاربردی گسترده پیدا نموده‌اند، تمام میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها (به‌طور بالقوه با تولید فیتوهورمون‌ها، محلول‌سازی مواد معدنی و اثرات ضد بیماری در برابر عوامل بیماری‌زا باعث رشد گیاه می‌شود)، قارچ‌ها و ویروس‌ها به‌عنوان سموم زیستی، کودهای زیستی و علف‌کش‌های زیستی دارای مبارزه بیولوژیکی هستند که به شکل مستقیم از طریق تولید فیتوهورمون‌ها و به شکل غیرمستقیم از طریق دفاع و افزایش مقاومت سیستمیک القاشده به گیاهان کمک می‌نمایند (Arun et al., 2020). رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه[1] از طریق رابطه‌ی همیاری با گیاهان دارای اثرات مثبت و مفیدی می‌باشند، ازجمله این باکتری‌ها می‌توان به باکتری‌های جنس‌های سودوموناس فلورسنس، ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم و باسیلوس، باکتری‌های حل‌کننده فسفات اشاره کرد. باکتری‌های جنس سودوموناس[2] و باسیلیوس[3] از مهم‌ترین جنس‌های خانواده‌ی باکتری‌های حل‌کننده فسفات هستند که قادرند فسفر نامحلول در خاک را به شکل محلول و قابل‌جذب برای گیاه فراهم کنند. باکتری جنس *سودموناس فلورسنس* از طریق تولید سیدروفورها، آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، منجر به افزایش رشد و نمو گیاه می‌گردند، هم‌چنین از طریق کنترل قارچ‌های بیماری‌زا به شکل غیرمستقیم باعث محافظت گیاهان در برابر بیماری‌ها و درنهایت بهبود رشد گیاه می‌شوند (Abdul-Jaleel et al., 2007).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) چهارمین محصول مهم غذایی است، که پایه و اساس امنیت غذایی در جهان می‌باشد (Baer-Nawrocka and Sadowski, 2019). شرایط محیطی نامطلوب مانند درجه حرارت نامناسب (Kim and Lee, 2019)، تنش خشکی (Hirut et al., 2017) و تنش اسمزی (Faried et al., 2017) از طریق کاهش رشد زیست‌توده و فتوسنتز باعث کاهش وزن غده‌ها و عملکرد می‌گردند. سیب‌زمینی به علت دارا بودن سیستم ریشه‌ای کم‌عمق به تنش خشکی حساس است (Boguszewska-Ma´nkowska et al., 2020).

باکتری سویه‌ی سودوموناس (*Pseudomonas* spp)، رایزوبیوم (*Rhizobium* spp)، باسیلوس (*Bacillus* spp)، آزوسپریلیوم (*Azospirillum* spp) و بورخولدریا (*Burkholderia* spp) باعث بهبود رشد گیاهان لوبیا، گوجه‌فرنگی، گندم، آفتابگردان، سیب‌زمینی و جو در شرایط تنش خشکی گردیدند (Naveed et al., 2014). باکتری‌های محرک رشد تولیدکننده پلی‌اگزوساکاریدها (EPS-producing PGPB) در شرایط تنش خشکی باعث افزایش تولید بیوماس می‌گردد (Daffonchio et al., 2015). با افزایش سطح تنش خشکی میزان کلروفیل کل در گیاه سیب‌زمینی کاهش یافت (Parvizi and Navai, 2019). کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث بیشترین میزان کلروفیل a در سیب‌زمینی شد (Mushtaq et al., 2021). با افزایش شدت تنش خشکی در گیاه سیب‌زمینی میزان پتاسیم افزایش یافت (Hamzehei et al., 2017). کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین در گیاه چمن (*Guinea grass*) شد (Moreno-Galván et al., 2020).

با توجه به نقش کودهای بیولوژیک در کنترل تنش‌های خشکی و هم‌چنین ارزان بودن و مقرون‌به‌صرفه بودن ازنظر اقتصادی است (Ullah et al., 2019) که می‌توانند به‌عنوان جایگزین یا همراه مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی محسوب گردند؛ بنابراین در این راستا آزمایشی با هدف بررسی نقش باکتری سودوموناس در افزایش مقاومت به تنش خشکی در دو رقم سیب‌زمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. نتایج

[1] Plant growth promoting rhizobactria (PGPR)
[2] Pseudomonas
[3] Bacillus

تجزیه خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر (جدول ۱) محل آزمایش در زمان اجرای عملیات تهیه بستر بذر در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود صورت گرفت.

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل با تیمارهای آبیاری در سه سطح (۷، ۱۰ و ۱۴ روز یک‌بار) به‌عنوان عامل اصلی و باکتری سودوموناس در دو سطح (عدم تلقیح با باکتری و تلقیح با باکتری) و رقم در دو سطح (ساوالان و اگریا) به‌عنوان عامل فرعی دوم با ۳ تکرار بودند. طول جغرافیایی منطقه مورد آزمایش ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی؛ عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی؛ ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. این منطقه دارای اقلیم سرد و خشک و میانگین بارندگی سالانه بین ۱۶۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر است. برخی خصوصیات رقم اگریا و ساوالان در جدول ۲ ذکر شده است (Hassan Panah et al., 2018; Hassan Panah and Hassanabadi, 2011).

جدول ۱. نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physical and chemical results of soil test (0 to 60 cm)

پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	بافت خاک Soil texture	شن Sand	سیلت Silt	رس loam	کربن آلی Organic carbon	اسیدتیه pH	هدایت الکتریکی EC
%		ppm		----------%----------					$dS.m^{-1}$
143	14	0.057	Silt- loam	32	44	22	0.79	7.89	0.26

جدول ۲. بررسی برخی خصوصیات دو رقم اگریا و ساوالان

Table 2. Investigating in some characteristics of Agria and Savalan cultivars

رقم cultivar	گروه رسیدگی Group Reaching	شکل غده Tuber shape	رنگ مغز Brain color	رنگ گل Flower color	شاخص حساسیت، تحمل و مقاومت به تنش کم‌آبی Sensitivity, tolerance and resistance index to dehydration stress
اگریا Agria	متوسط دیررس Medium late	تخم‌مرغی کشیده Drawn egg	زرد تیره dark yellow	سفید White	حساس Sensitive
ساوالان Savalan	متوسط دیررس Medium late	گرد Round	زرد yellow	بنفش Purple	نیمه متحمل Half tolerant

آماده‌سازی زمین

دو هفته قبل از کاشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۹ آماده‌سازی زمین با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک صورت گرفت و سپس پشته‌هایی با فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر در مزرعه ایجاد شد. دو خط به‌صورت نکاشت برای رعایت فاصله بین کرت‌ها در نظر گرفته شد.

عملیات کاشت و داشت

عملیات کاشت در تاریخ ۳ خرداد ۱۳۸۹ به‌صورت دستی انجام شد. هر کرت آزمایشی دارای ۵ خط کاشت به طول ۶ متر بود و فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ -۱۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۱۵ - ۱۰ سانتی‌متر بود. دو خط کناری به‌عنوان حاشیه و ۳ خط وسط جهت اندازه‌گیری‌های تعریف‌شده در آزمایش در نظر گرفته شد.

نحوه‌ی اعمال تیمارهای آزمایش

آبیاری و کوددهی

آبیاری به روش جوی و پشته‌ای و تا زمان استقرار بوته‌ها به‌صورت منظم و ثابت انجام شد و پس از استقرار بوته‌ها (۵۸ روز پس از کاشت)، سطوح تنش کم‌آبیاری اعمال شد. مقادیر آب مصرفی در هر آبیاری یکسان بود. طی دوران داشت، دو بار وجین کامل علف‌های هرز به‌صورت دستی و هم‌چنین خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد.

میزان ۱۰۰ (کیلوگرم در هکتار) اوره، ۱۰۰ (کیلوگرم در هکتار) سوپرفسفات تریپل و ۵۰ (کیلوگرم در هکتار) سولفات پتاسیم در زمان اجرای عملیات تهیه بستر بذر استفاده گردید. منبع کود نیتروژن از کود اوره به شکل کود سرک همراه با آب آبیاری استفاده شد.

تلقیح غده‌ها با باکتری سودوموناس فلورسنس

جهت تلقیح غده‌های سیب‌زمینی با باکتری از مایه تلقیح باکتریایی (مایه تلقیح باکتریایی حاوی *Pseudomonas fluorescent* strain-169 و جمعیت آن در مایه تلقیح استفاده‌شده حدود ۱۰^۸ باکتری زنده در هر میلی لیتر بود) که به‌صورت مایع از بانک میکروبی موسسه تحقیقات آب‌وخاک تهیه شده بود، استفاده گردید. استفاده از مایه تلقیح باکتری بدین‌صورت انجام گرفت که قبل از کاشت، متناسب با سطح کاشت مقدار مشخصی از غده‌ها با محلول ۱۰٪ آب شکر آغشته گردید. در مرحله بعد مقدار تعیین‌شده از هر مایه تلقیح (۱۰^۸ باکتری زنده در هر میلی‌متر) به غده افزوده شد و به‌طور کامل مخلوط گردید؛ و بعد از خشکیدن نسبی مواد تلقیحی سطح غده در سایه، غده‌ها سریعاً کشت شدند. برای انجام تلقیح ابتدا غده‌های سیب‌زمینی شسته شد، سپس هر قطعه سیب‌زمینی باوجود دو یا سه جوانه چشمی و در شرایط سایه با مایه تلقیح باکتریایی محلول‌پاشی گشت، به‌نحوی‌که تمام سطح غده آغشته به مایه تلقیح شد.

اندازه‌گیری صفات مورفوفیزیولوژیک

صفات موردنظر اندازه‌گیری شده در این آزمایش در ۱۱۵ روز پس از کاشت (اواسط پر شدن غده‌ها) پس از حذف حاشیه انجام گرفت. از هر کرت آزمایشی ۵ بوته (شامل چهار بخش برگ، ساقه، ریشه و غده) برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس اجزای تفکیک‌شده گیاه درون پاکت‌های مجزا قرار داده‌شده و توسط دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. جهت تعیین عملکرد نهایی غده‌ها در ۱۴۵ روز پس از کاشت از هر کرت آزمایشی تعداد ۵ بوته با در نظر گرفتن حاشیه و به‌منظور تعیین عملکرد نهایی برداشت گردید. مساحت اشغال‌شده توسط این ۵ بوته محاسبه و عملکرد نهایی برحسب تن بر هکتار برآورد گردید. هم‌چنین قبل از قرار دادن نمونه‌ها در آون از بافت‌های تر گیاهی جمع‌آوری‌شده جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک (کلروفیل، پتاسیم و پرولین) استفاده گردید.

ارزیابی صفات فیزیولوژیک

سنجش میزان کلروفیل با روش هیسکاس و ایزرل‌استام (Hiscox and Israelstam, 1979)، اندازه‌گیری پرولین با روش بیتس (Bates, 1973)، سنجش پتاسیم با روش رئوفی و آل‌ابراهیم (Raoofi and Alebrahim, 2017) انجام شد.

تجزیه داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS (Version 9.1) و مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت وزن خشک برگ نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و رقم و اثرات متقابل دور آبیاری×باکتری سودوموناس و اثر متقابل باکتری سودوموناس×رقم در سطح احتمال آماری یک و پنج درصد اثر معنی‌داری بر این صفت داشت (جدول ۳). اثر متقابل دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری با میانگین ۳۷۲/۶۰ گرم در مترمربع بیشترین وزن خشک برگ را حاصل کرد و در مقابل اثر متقابل دور آبیاری ۱۴ روزه و تلقیح با باکتری با میانگین ۱۶۰/۵۷ گرم در مترمربع کم‌ترین میزان وزن خشک برگ را داشت (شکل ۱). احتمالاً باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید ACC-دی‌آمیناز باعث کاهش سطح تولید اتیلن و کاهش اثرات تنش خشکی بر رشد و نمو و تجمع ماده خشک سیب‌زمینی شده است (Pandey and Gupta, 2020).

مقایسه میانگین اثرات متقابل باکتری سودوموناس و رقم در شکل ۲ نشان داد اثر متقابل تلقیح با باکتری سودوموناس×رقم ساوالان بیشترین وزن خشک برگ را دارا بود، در مقابل تلقیح با باکتری سودوموناس×رقم اگریا کم‌ترین وزن خشک برگ را داشت. به نظر می‌رسد که خصوصیت ژنتیک رقم بر این صفت نقش تأثیرگذاری داشت است، بدین شکل که تلقیح با باکتری در رقم ساوالان نسبت به رقم اگریا اثربخشی بیشتری داشته است به‌نحوی‌که باعث افزایش ۱۷/۲۰ درصدی وزن خشک برگ شده است (شکل ۲). هم‌چنین قابل‌ذکر است که بین سایر ترکیبات تیماری دیگر اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت. احتمالاً باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید فیتوهورمون‌ها باعث افزایش رشد و نمو و ماده خشک در گیاه شده است.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر دور آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت

Table 3. Variance analysis of measured traits under the irrigation cycle, Pseudomonas and cultivar in 115 days after planting

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن خشک برگ Dry weight leaf of	وزن خشک ساقه Dry weight of stem	تعداد غده Number of tubers	عملکرد غده Tubers yield
Repetition	تکرار	2	73.92	22205.27	121.21	20.39
Irrigation cycle (Ic)	دور آبیاری	2	94240.33**	14778.70**	9241.19**	534.01**
The first error	خطای اول	4	766.11	1528.54	289.93	36.6
Pseudomonas bacteria (Pb)	باکتری سودوموناس	1	2580.30	444.85	2052.09**	189.70**
Cultivar (C)	رقم	1	5817.11*	438.41	2391.21**	6.13
Ic×Pb	دور آبیاری × باکتری سودوموناس	2	4099.07*	3312.11*	67.16	2.45
Ic×C	دور آبیاری×رقم	2	1434.94	1883.06	213.99**	42.35**
Pb×C	باکتری سودوموناس × رقم	1	5403.23*	322.98	12.79	0.38
Ic×Pb×C	دور آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	2	353.35	89.06	49.31	11.79
The second error	خطای دوم	18	966.40	824.35	37.47	5.20
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		*11.77*	*16.17*	*14.94*	*10.20*

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	پرولین Proline	پتاسیم K	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
Repetition	تکرار	2	0.13	0.02	5.28	0.83	12.52
Irrigation cycle (Ic)	دور آبیاری	2	191.67**	0.35*	22.48	27.25*	216.93**
The first error	خطای اول	4	6.16	0.04	4.65	3.63	5.21
Pseudomonas bacteria (Pb)	باکتری سودوموناس	1	7.79*	0.19	19.13*	5.48	32.53
Cultivar (C)	رقم	1	0.05	0.06	5.89	55.25**	93.81*
Ic×Pb	دور آبیاری × باکتری سودوموناس	2	8.72*	0.11	3.34	4.49	9.41
Ic×C	دور آبیاری×رقم	2	0.83	0.01	0.63	4.69	41.39
Pb×C	باکتری سودوموناس × رقم	1	1.08	0.05	2.07	0.30	30.95
Ic×Pb×C	دور آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	2	0.92	0.02	4.23	23.34	22.36
The second error	خطای دوم	18	1.68	0.05	2.88	5.35	12.31
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		*13.26*	*11.93*	*10.40*	*16.52*	*11.61*

*و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

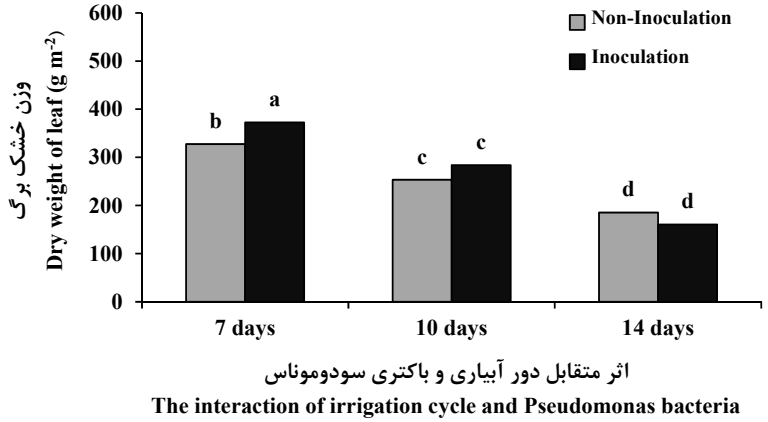
* and ** significant at 0.05and 0.01 probability levels, respectively

وزن خشک ساقه

اثر اصلی دور آبیاری و اثرات متقابل دور آبیاری×باکتری سودوموناس در سطح احتمال یک و پنج درصد اثر آماری معنی‌داری بر صفت وزن خشک ساقه داشتند (جدول ۳).

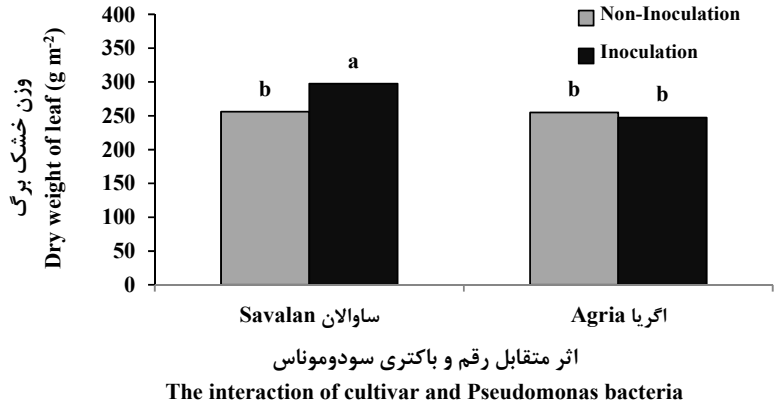
بیشترین وزن خشک ساقه در اثر متقابل دور آبیاری ۷ روزه×تلقیح با باکتری سودوموناس با میانگین ۲۱۴/۳۷ گرم در مترمربع مشاهده گردید. کم‌ترین وزن خشک ساقه با میانگین ۱۲۱/۸۷ گرم در مترمربع مربوط به اثر متقابل دور آبیاری ۱۴ روزه×تلقیح با باکتری سودوموناس بود (شکل ۳).

به نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد از طریق فیتوهورمون‌های گیاهی باعث افزایش بهبود تحمل به تنش خشکی ۷ و ۱۰ روز دور آبیاری گشتند اما در سطح تنش خشکی بالاتر یعنی ۱۴ روز دور آبیاری نتوانسته است باعث کاهش خسارت حاصل از تنش خشکی و درنهایت کاهش عملکرد ماده خشک ساقه گردیده است.



شکل ۱. اثر متقابل دور آبیاری و باکتری سودوموناس بر صفت وزن خشک برگ. حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است.

Fig. 1. The interaction of irrigation cycle and Pseudomonas bacteria on the traits of leaf dry weight. Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%



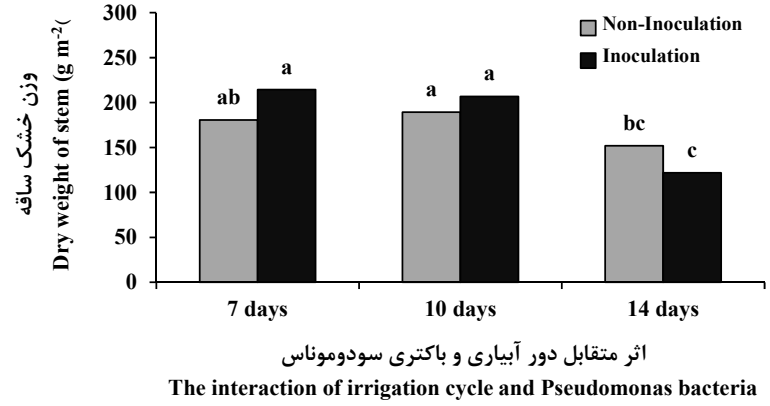
شکل ۲. اثر متقابل رقم و باکتری سودوموناس بر صفت وزن خشک برگ. حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است

Fig. 2. The interaction of cultivar and Pseudomonas bacteria on the traits of leaf dry weight. Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%

تعداد غده در مترمربع

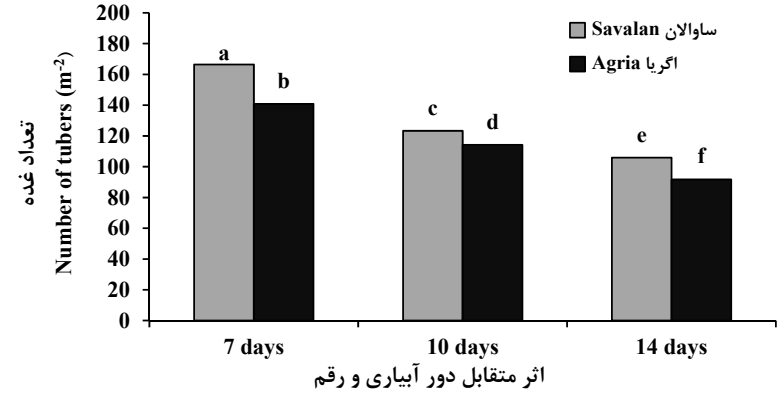
اثرات اصلی دور آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در سطح احتمال آماری یک درصد و اثر متقابل دور آبیاری و رقم در سطح احتمال آماری پنج درصد بر صفت تعداد غده در مترمربع اثر آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی باکتری سودوموناس بر صفت تعداد غده در جدول ۴ نشان داد، تیمار تلقیح با باکتری نسبت به عدم تلقیح با باکتری باعث افزایش ۱۲/۶۶ درصدی عملکرد تعداد غده در مترمربع در سیب‌زمینی شد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری×رقم در شکل ۴نشان داد بیشترین و کم‌ترین تعداد غده به ترتیب با میانگین ۱۶۶/۳۹ و ۹۱/۶۷ غده در مترمربع در اثرات متقابل دور آبیاری ۷ روزه×رقم ساوالان و اثر متقابل دور آبیاری ۱۴ روزه×رقم اگریا مشاهده گردید.



شکل ۳. اثر متقابل دور آبیاری و باکتری سودوموناس بر صفت وزن خشک ساقه. حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است

Fig. 3. The interaction irrigation cycle and Pseudomonas bacteria on the traits of stem dry weight. Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%



شکل ۴. اثر متقابل دور آبیاری و رقم بر صفت تعداد غده حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است.

Fig. 4. The interaction irrigation cycle and cultivar on the traits of tuber number. Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%

عملکرد غده

اثرات اصلی دور آبیاری و باکتری سودوموناس و اثرات متقابل دور آبیاری و رقم در سطح احتمال آماری یک و پنج درصد بر میزان عملکرد غده معنی‌دار بودند (جدول ۳). تلقیح با باکتری سودوموناس سبب بیشترین عملکرد غده به میزان ۲۴/۶۷ تن در هکتار و عدم تلقیح باعث کم‌ترین عملکرد غده به میزان ۲۰/۰۸ تن در هکتار شد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و رقم در شکل ۵ نشان داد بیشترین عملکرد غده در رقم ساوالان در دور آبیاری ۷ روزه با میانگین ۲۹/۹۸ تن در هکتار بود، هرچند رقم اگریا در همین سطح از دور آبیاری با میانگین ۲۸/۴۵ تن

در هکتار با رقم ساوالان اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در مقابل رقم ساوالان در دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به رقم اگریا حساس‌تر بوده و باعث کم‌ترین میزان عملکرد غده با میانگین ۱۴/۲۷ تن در هکتار شد.

جدول ۴. اثر اصلی باکتری سودوموناس، دور آبیاری و رقم بر تعداد و عملکرد غده و کلروفیل *a*، *b* و کل و درصد پتاسیم

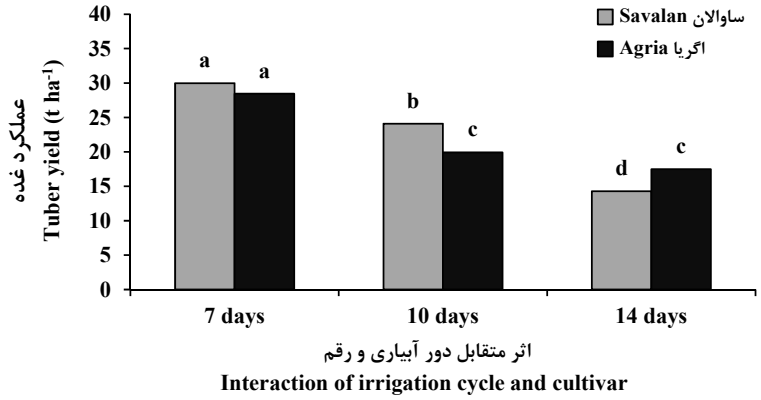
Table 4. Table 4. The main effect of Pseudomonas bacteria, irrigation cycle and variety on the number and yield of tuber and chlorophyll a, b and total and percentage of potassium

تیمارها Treatments		تعداد غده Number of tubers	عملکرد غده Tuber yield	کلروفیل a Chlorophyll a
		no. m^{-2}	t.ha^{-1}	µg.g^{-1} fw
Pseudomonas bacteria (Pb) باکتری سودوموناس	بدون تلقیح Non-Inoculation	116.5b	20.08b	15.59b
	تلقیح Inoculation	131.25a	24.67a	17.05a

		کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	پتاسیم K
		---------- µg.g^{-1} fw ----------		(%)
دور آبیاری Irrigation cycle	7 days	15.99a	35.04a	1.71c
	10 days	12.66b	28.54b	1.9b
	14 days	13.34b	27.05b	2.06a
رقم Cultivar	Savalan ساوالان	12.76b	28.6b	
	Agria اگریا	15.23a	31.83a	

حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است.

Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%



شکل ۵. اثر متقابل دور آبیاری و رقم بر صفت عملکرد غده حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است.

Fig. 5. The interaction irrigation cycle and cultivar on the tuber yield traits. Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%.

کلروفیل a

از بین کلیه منابع تغییرات تنها اثر اصلی تلقیح با باکتری در سطح احتمال آماری پنج درصد بر محتوای کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۳). محتوی کلروفیل a به میزان ۹/۳ درصد با کاربرد تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت (جدول ۴).

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس صفت کلروفیل b در جدول ۳ نشان داد که تنها اثرات اصلی تنش کم‌آبیاری ($p<0/05$) و رقم ($p<0/01$) بر محتوای کلروفیل b اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل b در دور آبیاری ۷ روزه با میانگین ۱۵/۹۹ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه مشاهده شد. در مقابل کم‌ترین محتوی کلروفیل b در دور آبیاری ۱۰ روزه با میانگین ۱۲/۶۶ میکروگرم بر گرم وزن تر در گیاه مشاهده گردید (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین صفت کلروفیل b در جدول ۴ نشان داد که محتوای کلروفیل b در رقم اگریا با میانگین معادل با ۱۵/۲۳ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه بیشترین و رقم ساوالان با میانگین معادل با ۱۲/۷۶ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه کم‌ترین بود.

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس صفت کلروفیل ۲ نشان داد که تنها اثرات اصلی تنش کم‌آبیاری ($p<0/01$) و رقم ($p<0/05$) بر محتوای کلروفیل کل اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). تیمار دور آبیاری ۷ روزه نسبت به ۱۰ و ۱۴ روزه باعث افزایش ۲۲/۷۷ و ۲۹/۵۳ درصدی محتوی کلروفیل کل گردید (جدول ۴).

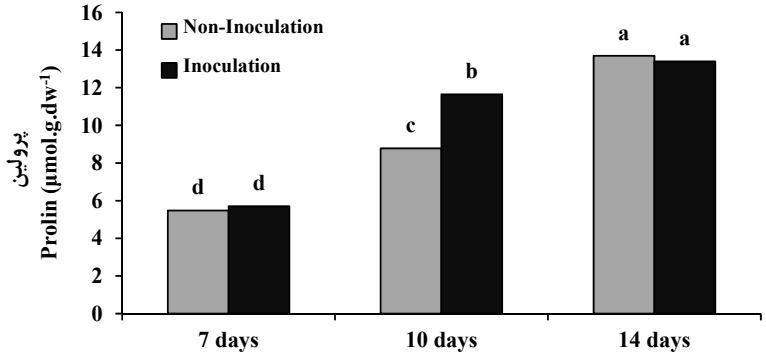
نتایج مقایسه میانگین صفت کلروفیل کل نشان داد که رقم اگریا با میانگین ۳۱/۸۳ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه بیشترین و رقم ساوالان با میانگین ۲۸/۶۰ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه کم‌ترین میزان کلروفیل کل را دارا بودند (جدول ۴).

پتاسیم برگ

تنها اثر اصلی تنش کم‌آبیاری در سطح احتمال آماری پنج درصد بر صفت پتاسیم برگ اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به تیمارهای ۱۰ و ۷ روزه به ترتیب باعث اختلاف ۰/۱۶ و ۰/۳۵ درصدی افزایش پتاسیم برگ شد (جدول ۴).

پرولین

تجزیه واریانس صفت پرولین نشان داد که اثرات اصلی (به‌استثنای رقم) و اثر متقابل دور آبیاری×باکتری سودوموناس در سطح احتمال آماری یک و پنج درصد اثر معنی‌داری بر صفت پرولین دارا بودند (جدول ۳). اثر متقابل دور آبیاری ۱۴ روزه×عدم تلقیح با باکتری نسبت به اثر متقابل دور آبیاری ۷ روزه×عدم تلقیح باعث افزایش ۱۵۰ درصدی میزان تولید و تجمع پرولین شد. بااین‌وجود در دور آبیاری ۷ و ۱۴ روزه بین عدم تلقیح و تلقیح با باکتری اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۶).



شکل ۶. اثر متقابل دور آبیاری و باکتری سودوموناس بر صفت پرولین. حروف غیرمشابه بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال LSDα=5% است.

Fig. 6. The interaction irrigation cycle and Pseudomonas bacteria on the traits of prolin. Non-identical letters indicate a significant difference in the probability level of LSDα = 5%

بحث

وزن خشک برگ

تیمارهای دور آبیاری ۷ روزه حداکثر وزن خشک برگ و دور آبیاری ۱۴ روزه حداقل وزن خشک برگ را دارا بودند. تیمار دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه توأم با تلقیح باکتری به ترتیب ۱۳/۷۷ و ۱۲/۰۴ درصد باعث افزایش وزن خشک برگ نسبت به عدم تلقیح گردید. این در حالی بود که تلقیح با باکتری نسبت به عدم تلقیح در دو دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز اختلاف آماری معنی‌داری نتوانست ایجاد نماید (شکل ۱). در شرایط تنش خشکی، میزان هورمون اسید آبسیزیک افزایش‌یافته که منجر به کاهش تقسیمات سلولی در برگ‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های حل‌کننده دیواره‌ی سلولی و درنهایت منجر به کاهش طویل شدن، توسعه برگ و عملکرد ماده خشک برگ می‌شود. هم‌چنین تنش خشکی باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ می‌گردد که منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود دی‌اکسید کربن و درنهایت کاهش فتوسنتز ظاهری و ماده‌ی خشک گیاهی می‌گردد (Ghourchiani et al., 2012). استفاده از رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق تولید آنزیم‌های آمینوسکلوپروپان (ACC-دی‌آمیناز) که پیش ماده‌ی سنتز اتیلن است، باعث تبدیل ACC به آمونیوم و آلفا-کتوبوتیرات می‌گردد که درنهایت منجر به کاهش سطح تولید اتیلن ناشی از تنش و اثرات مخرب آن بر رشد گیاهان می‌شود. هم‌چنین -ACCدی‌آمیناز از طریق تولید اکسین، سیدروفور، حلالیت فسفر و روی، تولید آمونیوم و هیدروسیانیک (آمونیوم و هیدروسیانیک اسید باعث تقویت رشد و نمو گیاهان می‌شوند) باعث انعطاف‌پذیری گیاهان در شرایط تنش می‌گردد. علاوه بر این، -ACCدی‌آمیناز حاوی سویه‌های باکتریایی مفیدی است که باعث سرکوب کردن چندین گونه از باکتری‌های قارچی فیتوپاتوژنیک می‌گردد که باعث افزایش مقاومت نسبت به بیماری ایجادشده و بهبود رشد و نمو گیاه می‌شود (Pandey and Gupta, 2020). تنش خشکی باعث کاهش تولید شاخ و برگ، کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، کوتاه شدن دوره رشد رویشی در سیب‌زمینی می‌گردد (Hirut et al. 2017). تلقیح بذر گندم با باکتری سودمونوس و برازیلینس تأثیر معنی‌داری بر بیوماس نداشت (Fioreze et al., 2020). تلقیح بذر گندم با باکتری‌های محرک رشد سویه‌ی IG3 در شرایط عدم تنش رطوبتی باعث بیشترین میزان عملکرد وزن خشک اندام هوایی با میانگین ۱/۵۹±۲۳/۴۰ میلی‌گرم شد (Gontia-Mishra et al., 2016). بیشترین عملکرد وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه همیشه‌بهار در شرایط عدم تنش خشکی و تلقیح باکتری سودموناس با میانگین ۸/۰۵ گرم مشاهده شد (Sahib Hasan et al., 2020). در شرایط تنش خشکی استفاده از تلقیح باکتری‌های سینوریزوبیوم و سودوموناس باعث بهبود وزن خشک اندام هوایی گیاه شنبلیله گردید (Sharghi et al., 2017).

رقم ساوالان نسبت به رقم اگریا اثربخشی بیشتری در تلقیح با باکتری سودموناس داشت به‌نحوی‌که باعث افزایش ۱۷/۲۰ درصدی وزن خشک برگ شده است (شکل ۲). باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید فیتوهورمون‌های ایندول استیک اسید، جیبرلین، تثبیت نیتروژن، افزایش حلالیت مواد غذایی و تولید سیدروفورها باعث افزایش رشد و نمو گیاهان می‌گردند (Aloo et al., 2021). بیشترین عملکرد زیستی گیاه برنج در سویه ۱۶۸ سودوموناس فلورسنس (*P. fluorescens* strain) بدست آمد (Amin Deldar et al., 2014). بیشترین عملکرد زیستی گیاه باقلا از تیمار ترکیبی ازتوباکتر و فسفر بارور ۲ با میانگین ۶۱۸۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) با میانگین ۵۰۱۱/۱۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (رضائی‌چیانه و همکاران، ۱۳۹۶). در گیاه ری‌گراس استفاده از رایزوباکتری‌های تقویت‌کننده رشد منجر به بازدهی بالاتر ماده خشک اندام‌های هوایی شد (Cortés-Patiño et al., 2021).

وزن خشک ساقه

باکتری‌های محرک رشد در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه از طریق فیتوهورمون‌های گیاهی باعث افزایش بهبود تحمل به شدند، به‌نحوی‌که باعث بیشترین وزن خشک ساقه در این دور آبیاری حاصل شد، هرچند این میکروارگانیسم‌ها در دور آبیاری ۱۴ روزه نتوانست باعث کاهش اثرات تنش خشکی گردند (شکل ۳). ترکیب جوامع میکروارگانیسم‌های درون خاک بستگی به تغییرات فصلی و روزانه، دما، محتوی آب، pH، غلظت دی‌اکسید کربن، سطح اکسیژن و ترکیبات بیوشیمیایی ترشحات ریشه دارد (Abdallah et al., 2020). باکتری‌های محرک رشد با افزایش فعالیت میکروبی باعث کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا می‌شوند که منجر به بهبود جوانه‌زنی، رشد ریشه، اندام‌های هوایی، سطح برگ و کلروفیل‌سازی در گیاهان می‌شوند که درنهایت منجر به افزایش وزن اندام‌های

هوایی و ریشه می‌گردد (Lucy et al., 2004). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی علاوه بر تولید فیتوهورمون‌های محرک رشد همچون اکسین و جیبرلین با تولید هورمون اسید آبسیزیک اسید باعث کاهش اثرات تنش خشکی می‌گردد (Saharan and Nehra, 2011). در طی کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش خشکی در گیاه زرفا (*Hyssopus officinalis*) مشخص شد بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط عدم تنش رطوبتی و تلقیح باکتری آزوسپریلیوم مشاهده شد (Sharifi, 2017). کاربرد توأم باکتری آزوسپریلیوم و سدوموناس در شرایط نرمال رطوبتی بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی با میانگین ۲۶/۶۰۴ تن در هکتار در گیاه گندم نان را سبب شد (Mozaffari et al., 2015).

تعداد غده در مترمربع

تلقیح غده‌های سیب‌زمینی با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش ۱۲/۶۶ درصدی تعداد غده در مترمربع نسبت به عدم تلقیح با باکتری گردید. احتمالاً باکتری‌های سودموناس از طریق تبدیل فسفر نامحلول در خاک را به شکل محلول و قابل‌جذب به‌واسطه‌ی فیتوهورمون‌ها و سیدروفورها، منجر به افزایش رشد و نمو گیاه و عملکرد غده در مترمربع می‌گردند (جدول ۴). باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم مانند تولید اکسین، جیبرلین، سیتوکنین و یا افزایش غلظت مواد مغذی باعث بهبود رشد و گسترش، فرآیندهای فیزیولوژیکی و عملکرد در گیاهان می‌شود (Mushtaq et al., 2020). ارتباط بین میکروارگانیسم‌های خاک با گیاه سیب‌زمینی که دارای نقش مهمی در امنیت غذایی و اقتصادی دارا است، جهت بهبود تولید و عملکرد و هم‌چنین حفظ حاصلخیزی خاک بسیار بااهمیت است (Winston et al., 2014). در طی بررسی فراوانی نسبی میکروارگانیسم‌های سودموناس (*Pseudomonas* spp)، اکتنومیست‌ها (*Actinomycetes*) و سایر میکروارگانیسم‌ها در چهار رقم سیب‌زمینی Spunta، Elata، Cerata و El-Mundo مشاهده شد که در تمام ارقام (به‌استثنای Elat) میزان میکروارگانیسم سودوموناس بیشترین فراوانی را داشت (Abdallah et al., 2020). ترکیب باکتری آزوسپریلوم و سودوموناس رقم مارفونا در سیب‌زمینی بیشترین تعداد غده در بوته را حاصل کرد (Panahian et al., 2020). کاربرد آزوسپریلیوم اثر افزایش معنی‌داری بر صفت تعداد غده در بوته سیب‌زمینی نسبت به کاربرد سودوموناس و ازتوباکتر داشت (Dadashzadeh and Farajzadeh Memari Tabrizi, 2020).

در هر دو رقم ساوالان و اگریا با افزایش فاصله‌ی دور آبیاری تعداد غده در مترمربع کاهش یافت. هم‌چنین در هر سه سطح تیمار دور آبیاری رقم ساوالان نسبت به رقم اگریا تعداد غده‌ی بیشتری دارا بوده است. احتمالاً تنش خشکی از طریق تولید رادیکال‌های آزاد باعث کاهش کلروفیل سازی و درنهایت کاهش رشد و نمو سیب‌زمینی گشته است که منجر به کاهش تعداد غده در بوته گردیده است (شکل ۴). عملکرد سیب‌زمینی تحت تنش آب بستگی به زمان، مدت‌زمان، شدت تنش و ژنوتیپ دارد (Hirut et al., 2017)، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم در برابر تنش آب ممکن است زمان‌بر، پرهزینه و تکثیر آن دشوار باشد اما غربال‌گری ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش یک گزینه‌ی مناسب است (Bündig et al., 2017). در طی بررسی تنش خشکی و غرقاب در چهار ژنوتیپ سیب‌زمینی مشخص شد که بیشترین تعداد غده در ژنوتیپ Cv. Laura، Cv. Milva و Cv. Valfi در تیمار شاهد (عدم تنش رطوبتی) بیشترین تعداد غده به ترتیب با ۶۰، ۸۳ و ۵۶ و ژنوتیپ Cv. Marabel در شرایط غرقابی با تعداد ۷۴ غده بیشترین میزان تعداد غده را دارا بودند که علت کاهش تعداد غده‌ها در شرایط تنش خشکی را چنین بیان کردند که تنش خشکی باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانند سوپراکسید (O_2)، رادیکال هیدروکسیل (OH^-)، رادیکال‌های پرهیدروکسیل (HO_2) و رادیکال‌های آلکوکسی رادیکال (RO^-) و فرم‌های غیر ردایکالی (مولکولی) مانند اکسیژناز (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌گردد که باعث کاهش تعداد غده و عملکرد غده گردید (Orsák et al., 2020).

عملکرد غده

تلقیح با باکتری سودوموناس نسبت به عدم تلقیح باعث افزایش ۲۳/۸۶ درصدی عملکرد غده شد، باکتری سودوموناس فلورسنس به‌عنوان حل‌کننده فسفات و محرک رشد عمل نموده و از طریق افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی سبب بهبود شرایط رشد و عملکرد غده گردیده است (جدول ۴). باکتری‌های سودوموناس قادرند فسفر نامحلول در خاک را به شکل محلول و قابل‌جذب برای گیاه فراهم کنند. این میکروارگانیسم‌ها از طریق تولید سیدروفورها،

آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، منجر به افزایش رشد و نمو گیاه می‌گردند (Abdul-Jaleel et al., 2007). باکتری‌های محرک رشد باعث بهبود جوانه‌زنی بذر، گسترش ریشه، اندام هوایی و وزن ریشه، سطح برگ، محتوی کلروفیل، هدایت هیدرولیکی، پروتئین، جذب مواد مغذی و عملکرد در گندم، سبزی‌ها، سیب‌زمینی و کاساوا گردید (Batool et al., 2020). تلقیح باکتری‌های رشد باعث افزایش کلروفیل a، b و کل و عملکرد غده در سیب‌زمینی شد (Mushtaq et al., 2021). در دو رقم (Nevsky و Kondor) سیب‌زمینی تعداد غده در بوته در شرایط تلقیح با باکتری‌های محرک رشد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) افزایش مشاهده شد (Tkachenko et al., 2020).

هر دو رقم ساوالان و اگریا نسبت به افزایش فاصله دور آبیاری عکس‌العمل نشان دادند، به‌طوری‌که با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۱۴ روز در هر دو رقم عملکرد غده کاهش یافت. بااین‌وجود رقم ساوالان نسبت به رقم اگریا در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه نسبت به رقم اگریا از پتانسیل ژنتیکی خود بیشتر استفاده نمود و باعث افزایش عملکرد غده شده است. با توجه به صفت وزن خشک برگ، رقم ساوالان از طریق تلقیح با باکتری سودموناس باعث افزایش بیشتر وزن خشک گردیده است که به دنبال آن بیشترین تعداد غده در مترمربع نیز در این رقم مشاهده شده است که درنهایت عملکرد نهایی غده در این رقم افزایش یافت (شکل ۵). تنش خشکی باعث کاهش تشکیل برگ‌های جدید و کاهش رشد و نمو کانوپی گیاه می‌شود که درنهایت منجر به کاهش تعداد غده و عملکرد نهایی غده در سیب‌زمینی می‌گردد (Aliche et al., 2018). عدم تنش خشکی نسبت به تنش خشکی باعث افزایش عملکرد نهایی سیب‌زمینی گردید (Abd Elhady et al., 2021؛ Plich et al., 2020).

کلروفیل a

باکتری‌های محرک رشد احتمالاً از طریق افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش میزان کلروفیل a در برگ غده سیب‌زمینی شدند (جدول ۴). ارتباط بین گیاهان و میکروارگانیسم‌های درون خاک دارای اثرات مفیدی ازجمله تثبیت نیتروژن، حلالیت فسفات، تولید محرک‌های رشد گیاهی، بهبود جذب آب و سرکوب عوامل بیماری‌زا می‌گردد (Singh et al., 2018). باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان جذب نیتروژن، آهن و منگنز سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌گردند (Safari and Azadikhah, 2019). کاربرد باکتری‌های محرک رشد (ایزوله O^{-13}) باعث بیشترین میزان کلروفیل a با میانگین ۲۱/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به سایر ایزوله‌های باکتری محرک رشد و شاهد (عدم تلقیح) در سیب‌زمینی شد (Mushtaq et al., 2021). تلقیح بذر ذرت با رایزوباکتری‌های ادوفیت (Burkholderia phytofirmans strain PsJN and Enterobacter sp. (Naveed et al., 2014)). تلقیح رایزوباکتری‌ها (باسیلیوس و سراتیا) در گیاه خیار باعث افزایش ۲۵٪ کلروفیل a، ۳۱٪ کلروفیل b و ۲۷٪ کلروفیل a+b شد (Wang et al., 2012). استفاده از باکتری‌های محرک رشد (باسیلوس، سودوموناس پوتیدا، سودوموناس فلورسنس و ازوتوباکتر و کورین باکتریوم) نسبت به عدم کاربرد آن‌ها (شاهد) در گیاه همیشه‌بهار سبب افزایش کلروفیل a گردید (Sheikhi-Ghahfarokhi, 2014). باکتری‌های محرک رشد باعث بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان مانند بیوماس ریشه، اندام‌های هوایی، فتوسنتز و محتوی کلروفیل فلفل شدند (Lim and Kim, 2013).

کلروفیل b

با افزایش فاصله آبیاری از ۷ به ۱۰ و ۱۴ روزه محتوی کلروفیل b کاهش یافت، به‌نحوی‌که کلروفیل b در تیمار دور آبیاری ۷ روزه نسبت به ۱۰ و ۱۴ روزه باعث افزایش ۲۶/۳۰ و ۱۹/۸۶ درصدی گردید، احتمالاً تنش خشکی از طریق تولید رادیکال‌های آزاد منجر پراکسیداسیون و درنهایت کاهش و تجزیه کلروفیل می‌گردد. (جدول ۴). با افزایش تنش خشکی تنش خشکی باعث افزایش رادیکال‌های آزاد سوپراکسید، پراکسیدهیدروژون و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌گردد که این رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث تخریب غشاها، کلروپلاست‌ها و پراکسیداسیون لیپیدی غشایی، تولید مالون‌دی‌آلدئید، تخریب پروتئین‌های و اسید نوکلئیک و مرگ سلول می‌شود (Hou et al., 2021). کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده تنش‌های محیطی بر گیاه است. در شرایط تنش خشکی، فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش‌یافته که با پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل باعث آسیب به ساختمان کلروپلاست و فتوسیستم نوری کلروفیل می‌گردد (Mahdinia Afra et al., 2020). تأثیر

تنش آب بر محتوی کلروفیل بستگی به عوامل محیطی و ژنوتیپی دارد. به‌نحوی‌که در برخی از گونه‌ها با افزایش شدت تنش، محتوی کلروفیل افزایش و در برخی دیگر محتوی کلروفیل کاهش خواهد یافت (Kafi et al., 2005). تنش رطوبتی در مرحله‌ی بلوغ غده‌ها باعث کاهش کلروفیل b در گیاه سیب‌زمینی شد (Kumar et al., 2020). تنش خشکی در سطح Fc25% در گیاه دارویی گلرنگ باعث کاهش کلروفیل a و b شد (Chavoushi et al., 2020). گیاه کانولا در شرایط تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل a، b و کارتنوئیدها شد درحالی‌که نسبت کلروفیل a/b و پرولین در این گیاه افزایش یافت (Khodabin et al., 2020).

کلروفیل کل

با افزایش دور آبیاری میزان کلروفیل کل برگ غده‌های سیب‌زمینی کاهش یافت (جدول ۴). کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی عمدتاً به دلیل مختل شدن ساختمان فتوسنتزی کلروپلاست به خاطر آنزیم لیپواکسیژناز که منجر به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (Kabiri et al., 2014) که منجر به کاهش سنتز ۵-آمینولینولیک اسید که پیش‌ماده‌ی سنتز پروتوکلروفیلید می‌شود که درنهایت با فعال شدن آنزیم‌های پروتولیتیک و کلروفیلاز باعث تجزیه کلروفیل و کاهش آن می‌گردند (Severino and Auld, 2013). با افزایش سطح تنش خشکی میزان کلروفیل کل در گیاه سیب‌زمینی کاهش یافت (Parvizi and Navai, 2019)، درحالی‌که در آزمایشی دیگر، تنش خشکی باعث افزایش کلروفیل در سیب‌زمینی شد (Sirait and Charloq, 2017). تنش خشکی ملایم (۰/۳ -مگاپاسکال) تأثیر قابل‌توجهی بر محتوی کلروفیل برگ‌های گیاه یونجه نداشت، این در حالی بود که با افزایش شدت تنش به ۱ مگاپاسکال محتوی کلروفیل به‌شدت کاهش یافت (Molor et al., 2016). میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی نسبت به عدم تنش در گیاه ارزن کاهش یافت (Chandra et al., 2020). با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل a، b و کل در گیاه آویشن کاهش یافت (Sepahvand et al., 2021).

رقم اگریا نسبت به ساوالان میزان کلروفیل کل بیشتری دارا بود (جدول ۴). هر عامل محدودکننده محیطی و ژنتیکی مؤثر بر فتوسنتز باعث کاهش محتوی کلروفیل گیاه می‌شود (Siddique et al., 2016).

پتاسیم برگ

با افزایش دور آبیاری میزان پتاسیم برگ در غده‌های سیب‌زمینی افزایش یافت، پتاسیم از مهم‌ترین اسمولیت‌های گیاهی در مقابل شرایط تنش‌های محیطی به‌خصوص، تنش خشکی است (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی، پتاسیم جزء مهم‌ترین اسمولیت‌ها در پاسخ به شرایط نامطلوب است (Anschütz et al. 2014). در طی بررسی اثر کم‌آبیاری (۱۰۰٪، ۹۰٪، ۸۰٪، ۷۰٪، ۶۰٪ و ۵۰٪ از نیاز آبی) در گیاه سیب‌زمینی مشخص شد بالاترین غلظت پتاسیم (۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و پرولین (۲/۲ میکرومول بر گرم وزن تر) برگ به رژیم آبیاری ۵۰٪ نیاز آبی و رقم سانته تعلق داشتند (Hamzehei et al., 2017). در شرایط تنش شدید در گیاه یونجه بیشترین میزان جذب پتاسیم بدست آمد (Abid et al. 2016).

پرولین

با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۱۴ روزه در هر دو سطح عدم تلقیح و تلقیح با باکتری باعث افزایش میزان تولید و تجمع پرولین گردید (شکل ۶). گیاهان در شرایط تنش آب از طریق تولید پرولین باعث حفاظت از ساختار ماکرو مولکول‌ها و غشاهای سلولی می‌گردد (Chandra et al., 2018). پرولین یک مولکول چندمنظوره است که علاوه بر نقش اسمولیت آن‌که مانع آسیب‌های سلولی می‌گردد، نقش جاروب رادیکال‌های آزاد اکسیژن را هم بر عهده دارد (Zali and Ehsanzadeh, 2018). پاسخ‌های سلولی و فیزیولوژیکی برای کاهش آسیب‌های سلولی در طی تنش خشکی از طریق املاح آلی مانند پرولین که یک تنظیم‌کننده اسمزی است، صورت می‌گیرد (Merwad et al., 2018). باکتری‌های تقویت‌کننده رشد در شرایط تنش خشکی از طریق تولید اگزوپلی‌ساکاریدها، تولید بیوفیلم و سنتز اسمولیت‌ها در شرایط تنش خشکی زنده باقی می‌مانند. علاوه بر این، از طریق بهبود رشد گیاهی، بهبود جذب مواد غذایی و تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی به گیاهان در برابر تنش خشکی نقش محافظتی ایفا می‌کنند (Moreno-Galván et al., 2020). تنش شدید رطوبتی در گیاه سیب‌زمینی باعث تجمع و تولید بیشترین میزان پرولین در سیب‌زمینی شد (Masoudi-Sadaghiani et al., 2011؛ Meise et al., 2018). تنش رطوبتی باعث افزایش میزان پرولین در گیاه گوجه‌فرنگی شد (Tran et al., 2020). در آزمایش بررسی دو گونه گیاهی

Andonis species در شرایط تنش خشکی مشاهده شد که با گذشت زمان از صفر تا ۳۰ روز تحت شرایط تنش میزان تولید و تجمع پرولین محلول افزایش یافت (Gao et al., 2020). در گونه گیاهی گل پریوش (*Catharanthus roseus*) تحت تنش خشکی ۱۴ روزه میزان پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول و پرولین بیشتر از تیمار شاهد بود (Alhaithloul et al., 2020). باکتری‌های محرک رشد اسمولیت‌های مانند پرولین، گلایسین بتائین، ترهالوز و قندهای محلول در شرایط تنش خشکی و شوری تولید می‌کنند که دارای اثرات سینرژیکی با اسمولیت‌های گیاهی و رشد گیاه را تحریک می‌کنند (Vardharajula et al., 2011). کاربرد تلقیح باکتری سودوموناس پوتیدا در گیاه کتان تحت شرایط تنش خشکی متوسط (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به میزان ۴۵/۳۰ میکرومول برگرم وزن تر مشاهده شد (Rahimzadeh. and Pirzad, 2017). کاربرد قارچ مایکوریزایی (*F. mosseae*) و باکتری سودوموناس در گیاه چای ترش در مرحله‌ی تنش خشکی (قطع آبیاری در شروع گلدهی) بیشترین میزان پرولین (۱۲/۵۵ میکرومول برگرم وزن تر) را حاصل کردند (Sanayei et al., 2020). تلقیح با باکتری سودوموناس در گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین نسبت به عدم تلقیح و عدم تنش خشکی شد (Mohammadi et al., 2017).

نتیجه‌گیری نهایی

بیشترین تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی (برگ و ساقه) در دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری بود و تلقیح با باکتری در دور آبیاری ۱۴ روزه نتوانست خسارت تنش خشکی را کاهش دهد. رنگیزه‌های فتوسنتزی در دور آبیاری ۷ روزه بیشترین میزان را دارا بودند، درحالی‌که پرولین و پتاسیم که جزء اسمولیت‌های سازگار به تنش خشکی هستند در دور آبیاری ۱۴ روزه بیشترین تجمع و تولید را داشتند. تلقیح با باکتری باعث افزایش ۱۲/۶۶ درصدی تعداد غده نسبت به عدم تلقیح با باکتری گردید. عملکرد نهایی غده در رقم ساوالان در دور آبیاری ۷ روزه نسبت به دور آبیاری ۱۴ روزه باعث افزایشش ۱۱۰/۰۹ درصدی در این رقم شد، هم‌چنین تلقیح با باکتری سودموناس نسبت به عدم تلقیح باعث افزایش ۲۲/۸۵ درصد عملکرد نهایی غده گردید. درنهایت دور آبیاری ۷ روزه برای افزایش صفات مورفولوژیک، کلروفیل، تعداد غده و عملکرد نهایی غده بهترین دور آبیاری بود و تلقیح با باکتری سودموناس باعث افزایش اثربخشی این صفات گردید. نظر به این‌که سیب‌زمینی گیاهی حساس به تنش خشکی است که با کاربرد باکتری‌های محرک رشد ازجمله باکتری سودموناس فلورسنس در فاصله دور آبیاری (۷ روزه) باعث افزایش بیشتر عملکرد نهایی غده سیب‌زمینی در این منطقه مورد آزمایش گردد.

منابع

Abd Elhady, S.A., El-Gawad, H.G.A., Ibrahim, M.F.M., Mukherjee, S., Elkelish, A., Azab, E., Gobouri, A.A., Farag, R., Ibrahim, H.A., El-Azm, N.A., 2021. Hydrogen peroxide supplementation in irrigation water alleviates drought stress and boosts growth and productivity of potato plants. Sustainability. 13(2), 899;https://doi.org/10.3390/su13020899

Abdallah, R.A.B., Jabnoun-Khiareddine, H., Daami-Remadi, M., 2020. Variation in the composition of the microbial community in the rhizosphere of potato plants depending on cropping season, cultivar type, and plant development stage. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences. 4, 319-333.

Abdul-Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2007. Pseudomonase fluorescens enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 60, 7-11.

Abid, M., Mansour, E., Yahia, L.B., Bachar, K., Ben Khaled, A., Ferchichi, A., 2016. Alfalfa nutritive quality as influenced by drought in South-Eastern Oasis of Tunisia. Italian Journal of Animal Science. 15, 334-342.

Alhaithloul, H. A., Soliman, M. H., Ameta, K. L., El-Esawi, M. A., Elkelish, A., 2020. Changes in ecophysiology, osmolytes, and secondary metabolites of the medicinal plants of mentha piperita and catharanthus roseus subjected to drought and heat stress. Biomolecules. 10, 43.

Aliche, E.B., Oortwijn, M., Theeuwen, T.P., Bachem, C.W., Visser, R.G., van der Linden,

C.G., 2018. Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. Agricultural Water Management. 206, 20-30

Aloo, B.N., Mbega, E.R., Makumba, B.A., Hertel, R., Daniel, R., 2021. Molecular identification and in vitro plant growth-promoting activities of culturable Potato (*Solanum tuberosum* L.) rhizobacteria in Tanzania. Potato Research. 64, 67-95

AminDeldar, Z., Ehteshami, S.M.R., Shahdi Kumleh, A., Khavazi, K., 2014. Effect of pseudomonas Spp. bacteria on soil chemical and biological properties, yield and its components of two rice cultivars. Journal of Crop Production and Processing of. 4, 149-160. [In Persian with English summary].

Anschütz, U., Becker, D., Physiology, S.S., 2014. Going beyond nutrition: regulation of potassium homoeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. Journal of Plant Physiology. 171, 670–687.

Arun, K.D., Sabarinathan, K.G., Gomathy, M., Kannan, R., Balachandar, D., 2020. Mitigation of drought stress in rice crop with plant growth-promoting abiotic stress-tolerant rice phyllosphere bacteria. Journal of Basic Microbiology. 60, 768-786.

Baer-Nawrocka, A., Sadowski, A., 2019. Food security and food self-sufficiency around the world: A typology of countries. PloS one. 14, e0213448.

Bates, L.S., Waldran, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant and Soil Sciences. 39, 205-208.

Batool, T., Ali, S., Seleiman, M.F., Naveed, N.H., Ali, A., Ahmed, K., Abid, M., Rizwan, M., Shahid, M.R., Alotaibi, M., Al-Ashkar, I., 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. Scientific Reports. 10, 1-19.

Boguszewska-Mańkowska, D., Zarzyńska, K., Nosalewicz, A., 2020. Drought differentially affects root system size and architecture of potato cultivars with differing drought tolerance. American Journal of Potato Research. 97, 54-62.

Bündig, C., Vu, T.H., Meise, P., Seddig, S., Schum, A., Winkelmann, T., 2017. Variability in osmotic stress tolerance of starch potato genotypes (*Solanum tuberosum* L.) as revealed by an in vitro screening: role of proline, osmotic adjustment and drought response in pot trials. Journal of Agronomy and Crop Science. 203, 206-218.

Carlson, R., Tugizimana, F., Steenkamp, P.A., Dubery, I.A., Hassen, A.I., Labuschagne, N., 2020. Rhizobacteria-induced systemic tolerance against drought stress in *Sorghum bicolor* L. Moench. Microbiol Res. 30, 126388. https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126388

Chandra, D., Srivastava, R., Glick, B.R., Sharma, A.K., 2020. Rhizobacteria producing ACC deaminase mitigate water-stress response in finger millet (*Eleusine coracana* L.) Gaertn. 3 Biotech, 10, 1-15.

Chandra, D., Srivastava, R., Sharma, A.K., 2018. Influence of IAA and ACC deaminase producing fluorescent pseudomonads in alleviating drought stress in wheat (*Triticum aestivum*). Agricultural Research. 7, 290–299.

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., Angaji, S.A., 2020. Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. Scientia Horticulturae. 259, 108823.

Cheng, L., Han, M., Yang, L.M., Li, Y., Sun, Z., Zhang, T., 2018. Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress. Industrial Crops and Products. 122, 473-482.

Cortés-Patiño, S., Vargas, C., Álvarez-Flórez, F., Bonilla, R., Estrada-Bonilla, G., 2021. Potential of herbaspirillum and azospirillum consortium to promote growth of perennial ryegrass under water deficit. Microorganisms. 9, 91.

Dadashzadeh, M., Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2020. The effect of plant growth stimulous bacteria and amino acids application on plant characteristics, yield components and quality characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L. CV Agria). Plant products. 43, 397-408. [In Persian with English summary].

Daffonchio, D., Hirt, H., Berg, G., 2015. Plant-microbe interactions and water management in arid and saline soils. In: Lugtenberg, B. (ed.), Principles of Plant-Microbe Interactions. Cham Springer International Publishing, pp. 265-276.

Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., Damalas, C.A., 2019. Seed yield and oil quality

of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. Agricultural Water Management. 218, 149–157.

Farhoudi, R., Lee, D.J., Hussain, M., 2014. Mild drought improves growth and flower oil productivity of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17, 26-31.

Faried, H.N., Ayyub, C.M., Amjad, M., Ahmed, R., Wattoo, F.M., Butt, M., Bashir, M., Shaheen, M.R., Waqas, M.A., 2017. Salicylic acid confers salt tolerance in potato plants by improving water relations, gaseous exchange, antioxidant activities and osmoregulation. Journal of the Science of Food and Agriculture. 97, 1868–1875. https://doi.org/10.1002/jsfa.7989.

Fioreze, S.L., Pinheiro, M.G., Pereira, Y.D., da Cruz, S.P., 2020. Inoculation of wheat plants with pseudomonas spp. and azospirillum brasilense under drought stress. Journal of Experimental Agriculture International. 42, 1-7.

Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W., He, X., 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two Adonis species in Northeast China. Scientia Horticulturae. 259, 108795

Ghourchiani, M., Alikhani, H., Akbari, Gh., Zareie, M., Dadi I., 2012. Effect of phosphate solublizing bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and chemical P fertilizer on yield and yield characters of *Zea mays* under normal and water stress coditions in Karaj. Iranian Field Crops Research. 10, 214-224. . [In Persian with English summary].

Gontia-Mishra, I., Sapre, S., Sharma, A., Tiwari, S., 2016. Amelioration of drought tolerance in wheat by the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria. Plant Biology. 18, 992-1000.

Hamzehei, R., Davtyan, V.A., Ghobadi, M.E., Parvizi, Kh., Ghadami-Firoozabadi, A., 2017. Effect of deficit irrigation on some physiological characteristics and yield in two potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars. Plant Production Technology. 2, 15-26. . [In Persian with English summary].

Hassan Panah, D., Hassanabadi, H., 2011. Evaluation of tolerance of promising potato cultivars and clones to water deficit in Ardabil region. Ecophysiology of Crops (Agricultural Sciences). 4(16), 1-18. [In Persian with English summary].

HassanPanah, D., Kazemi, M., Musapour Gorji, A., Jalali, A.H., 2018. Comprehensive guide to modern potato cultivation. Karaj Agricultural Research, Education and Extension Organization, 324p. [In Persian].

Hirut, B.G., Shimelis, H., Fentahun, M., Bonierbale, M., Gastelo, M., Asfaw, A., 2017. Combining ability of highland tropic adapted potato for tuber yield and yield components under drought. PLoS ONE. 12, e0181541.

Hiscox, J.D., Israelstam, G.F., 1979 A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany. 57, 1332–1334.

Hou, P., Wang, F., Luo, B., Li, A., Wang, C., Shabala, L., Ahmed, H.A.I., Deng, S., Zhang, H., Song, P., Zhang, Y., 2021. Antioxidant enzymatic ectivity and osmotic adjustment as components of the drought tolerance mechanism in *Carex duriuscula*. Plants. 10, 436.

Kabiri, R., Nasibi, F., Farahbakhsh, H., 2014. Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in Nigella sativa plant under hydroponic culture. Plant Protection Science. 50, 43-51.

Kafi, M., Zand, A., Kamkar, B., Sharifi, H.R., Goldani, M., 2005. Plant Physiology. Mashad Jahad-eDaneshghahi Publishing. 379p. [In Persian].

Khodabin, G., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Rad, A.H.S., Modarres-Sanavy, S.A.M., 2020. Effect of drought stress on certain morphological and physiological characteristics of a resistant and a sensitive canola cultivar. Chemistry & Biodiversity. 17, e1900399.

Kim, Y.U., Lee, B.W., 2019. Differential mechanisms of potato yield loss induced by high day and night temperatures during tuber initiation and bulking: photosynthesis and tuber growth. Frontiers in Plant Science. 10, 300. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00300.

Kumar, S., Kumar, P., Kumar, D., Kumar, M., Malik, P.S., 2020. Effect of water stress on leaf chlorophyll content of potato cultivars. Plant Archives. 20, 3439-3444

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(2), 201-208.

Lucy, M., Reed, E., Glick, B.R., 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van leeuwenhoek. 86, 1-25.

Mahdinia Afra, J., Niknezhad, Y., Fallah, H., Barari Tari, D., 2020. Effect of different sources of organic and chemical fertilizers on some of physiological parameters of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in drought tension conditions. Crop Physiology Journal. 12(1), 25-44. [In Persian with English summary].

Martineau, E., Domec, J.C., Bosc, A., Denoroy, P., Fandino, V.A., Lavres, J., Jordan-Meille, L., 2017. The effects of potassium nutrition on water use in field-grown maize (*Zea mays* L.). Environmental and Experimental Botany. 134, 62–71.

Masoudi-Sadaghiani, F., Babak, A.M., Zardoshti, M.R., Hassan, R.S.M., Tavakoli, A., 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science. 5, 55.

Meise, P., Seddig, S., Uptmoor, R., Ordon, F., Schum, A., 2018. Impact of nitrogen supply on leaf water relations and physiological traits in a set of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under drought stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 204, 359-374.

Merwad, A.R.M., Desoky, E.S.M., Rady, M.M., 2018. Response of water deficit-stressed Vigna unguiculata performances to silicon, proline or methionine foliar application. Scientia Horticulturae. 228, 132-144.

Mohammadi, H., Dashi, R., Farzaneh, M., Parviz, L., Hashempour, H., 2017. Effects of beneficial root pseudomonas on morphological, physiological, and phytochemical characteristics of *Satureja hortensis* (Lamiaceae) under water stress. Brazilian Journal of Botany. 40, 41-48.

Molor, A., Khajidsuren, A., Myagmarjav, U., Vanjildorj, E., 2016. Comparative analysis of drought tolerance of Medicago L. plants under stressed conditions. Mongolian Journal of Agricultural Sciences. 19, 32-40.

Moreno-Galván, A.E., Cortés-Patiño, S., Romero-Perdomo, F., Uribe-Vélez, D., Bashan, Y., Bonilla, R.R., 2020. Proline accumulation and glutathione reductase activity induced by drought-tolerant rhizobacteria as potential mechanisms to alleviate drought stress in Guinea grass. Applied Soil Ecology. 147, 103367.

Mozaffari, A., Daneshian, J., Habibi, D., Amir Hossein Shirani Rad, A., 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, 21-36. [In Persian with English summary].

Mushtaq, Z., Asghar, H.N., Zahir, Z.A., 2020. Comparative growth analysis of okra (*Abelmoschus esculentus*) in the presence of PGPR and press mud in chromium contaminated soil. Chemosphere. 262, 127865.

Mushtaq, Z., Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Maqsood, M., 2021. Characterization of rhizobacteria for growth promoting traits and their potential to increase potato yield. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 58.

Naveed, M., Mitter, B., Reichenauer, T.G., Wieczorek, K., Sessitsch, A., 2014. Increased drought stress resilience of maize through endophytic colonization by Burkholderia phytofirmans PsJN and Enterobacter sp. FD17. Environmental and Experimental Botany. 97, 30-39.

Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A., Adelusi, A.A., 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. Scientia Horticulturae. 224, 198–205. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020.

Orsák, M., Kotíková, Z., Hnilička, F., Lachman, J., Stanovič, R., 2020. Effect of drought and waterlogging on hydrophilic antioxidants and their activity in potato tubers. Plant, Soil and Environment. 66, 128-134.

Panahian, M., Raei, Y., Hassan Panah, D., Hokm Alipour, S., 2020. Effect of plant growth promotiong rhizobacteria on growth and yield of Seed tubers of Potato Cultivars Mini-tubers.Plant Ecophysiology. 12, 226-238. [In Persian with English summary].

Pandey, S., Gupta, S., 2020. Evaluation of Pseudomonas sp. for its multifarious plant growth promoting potential and its ability to

alleviate biotic and abiotic stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. Scientific Reports. 10, 1-15.

Parvizi, Kh., Navai, E., 2019. Evaluation of potato growth traits in inoculation with mycorrhizal fungus under drought stress conditions. Journal of Plant Research (Journal of Biology). 2, 1-14. [In Persian with English summary].

Plich, J., Boguszewska-Mańkowska, D., Marczewski, W., 2020. Relations between photosynthetic parameters and drought-induced tuber yield decrease in katahdin-derived potato cultivars. Potato Research. 63, 463-477.

Rahimzadeh, S., Pirzad, A., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas in reduce drought stress damage in flax (*Linum usitatissimum* L.): A field study. Mycorrhiza. 27, 537-552.

Raoofi, M., Alebrahim, M.T., 2017. A comparison of weeds interference and non-interference at different planting densities, on yield, nutritional value and some morphological traits of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Sarhad Journal of Agriculture. 33, 220–231.

Réthoré, E., d'Andrea, S., Benamar, A., Cukier, C., Tolleter, D., Limami, A.M., Avelange-Macherel, M.H., Macherel, D., 2019. Arabidopsis seedlings display a remarkable resilience under severe mineral starvation using their metabolic plasticity to remain self-sufficient for weeks. The Plant Journal. 99, 302-315.

Safari, D., Azadikhah, M., 2019. The effect of Pseudomonas fluorescent bacteria stimulating plant growth on some physiological parameters, yield and yield components of rapeseed under salinity stress. Journal of Crop Physiology. 42, 67-83. [In Persian with English Summary].

Saharan, B. S., Nehra, V., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. Life Sciences and Medicine Research. 21, 30.

Sahib Hasan, M., Selahvarzi, Y., Nabati, J., Azizi, M., 2020. Effects of drought stress and bio-fertilizers on some growth, photosynthetic pigments, morphophysiological and biochemical traits of *Calendula officinalis*. Plant Process and Function. 9, 136-151. [In Persian with English summary].

Sanayei, S., Barmaki, M., Ebadi khazine Gadim, A., Torabi Giglou, M., 2020. Effect of drought stress and inoculation of mycorrihizal fungi and pseudomonas Spp. On some morpho-physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdaeiffa* L.). Journal of Agricultural science and Sustainable Production. 2, 72-89. [In Persian with English summary].

Sepahvand, A., Jafari, A., Sefidkon, F., Kalatejari, S., 2021. Effects of water stress on seedling growth and physiological traits in four thyme species. Journal of Rangeland Science. 11,7-19.

Severino, L.S., Auld, D.L., 2013. Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. Industrial Crops and Products. 49, 52-60.

Sharghi, A., Bolandnazar, S., Badi, H.N., Mehrafarin, A., Sarikhani, M.R., 2017. The effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on growth characteristics of fenugreek under water deficit stress. Advances in Bioresearch. 8(5).

Sharifi, P., 2017. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), salicylic acid and drought stress on growth indices, the chlorophyll and essential oil of hyssop (*Hyssopus officinalis*). Biosciences Biotechnology Research Asia. 14, 1033-1042.

Sheikhi-Ghahfarokhi, F., 2014. Effect of seed biopriming by PGPR bacteria on germination indices, growth and yield of *Calendula officinalis* L. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Department of Seed Science and Technology, Shahrekord University, Iran. [In Persian with English summary].

Siddique, Z., Jan, S., Imadi, S.R., Ahmad, P., 2016. Drought stress and photosynthesis in plants. In: Ahmad P. (ed.), Water Stress and Crop Plants. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch1

Singh, V.K., Singh, A.K., Singh, P.P., Kumar, A., 2018. Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: a review. Agriculture, Ecosystems and Environment. 267, 129-140.

Sirait, B.A., Charloq, R., 2017. In vitro study of potato (*Solanum tuberosum* L.) tolerant to the drought stress. KnE Life Sciences. 188-192.

Tkachenko, O.V., Evseeva, N.V., Terentyeva, E.V., Burygin, G.L., Shirokov, A.A., Burov, A.M., Matora, L.Y., Shchyogolev, S.Y., 2021.

Improved production of high-quality potato seeds in aeroponics with plant-Growth-promoting rhizobacteria. Potato Research. 64, 55-66.

Tran, T.T., Bui, V.T., Tran, H.T., 2020. Effect of Drought stress and thermal pre-treatment on the in vitro shoot development of *Solanum lycopersicum* L. Chemical Engineering. 78 https://doi.org/10.3303/CET2078039

Ullah, S., Ashraf, M., Asghar, H. N., Iqbal, Z., Ali, R., 2019. Review Plant growth promoting rhizobacteria-mediated amelioration of drought in crop plants. Soil & Environment. 38(1), 1-20.

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.

Wang, C.J., Yang, W., Wang, C., Gu, C., Niu, D.D., Liu, H.X., Wang, Y.P., Guo, J.H., 2012. Induction of drought tolerance in cucumber plants by a consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains. PLoS One. 7, e52565.

Winston, M.E., Hampton-Marcell, J., Zarraonaindia, I., Owens, S.M., Moreau, C.S., Gilbert, J.A., Hartsel, J., Kennedy, S.J., Gibbons, S.M., 2014. Understanding cultivar-specificity and soil determinants of the cannabis microbiome. PLoS one. 9, e99641.

Zali, A.G., Ehsanzadeh, P., 2018. Exogenously applied proline as a tool to enhance water use efficiency: Case of fennel. Agricultural Water Management. 197, 138-146.