مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۹، شماره ۳، صفحات ۲۱۳ الی ۲۲۱ (۱۴۰۱)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 9(3): 213-221 (2022)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.9.3.213

اثر باکتری‌های ریزوسفری بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه گلرنگ

عاطفه شهرکی[۱]، مریم محمدی سیچانی[۱] و منیره رنجبر[۲]

[۱]گروه میکروبیولوژی، واحد فلاورجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران؛ [۲]گروه زیست‌شناسی، واحد فلاورجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
مسئول مکاتبات: مریم محمدی سیچانی، mohamadi_m@iaufala.ac.ir

چکیده. باکتری‌های ریزوسفری از جمله میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی هستند که باعث بهبود رشد گیاهان می‌شوند. این باکتری‌ها با سازوکارهای مختلفی مانند تولید فیتوهورمون‌های مختلف و توانایی انحلال فسفات رشد گیاهان افزایش می‌دهند. هدف از این مطالعه بررسی اثر باکتری‌های ریزوسفری بر رشد *Carthamus tinctorius* به منظور بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن بود. پنج گونه باکتری ریزوسفری با دانه گیاه گلرنگ آغشته شدند و پس از کاشت دانه ها، شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شامل میزان تولید اکسین، انحلال فسفات، رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و مالون‌دی‌آلدهید مورد سنجش قرار گرفتند. این تحقیق به‌صورت آزمون فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. آنالیز واریانس داده‌ها پردازش شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن مطالعه قرار گرفت. براساس یافته‌های به‌دست آمده در این پژوهش، بیشترین وزن تر ساقه، وزن خشک و تر ریشه به ترتیب در تیمار با باکتری *Pseudomonas fluorescens* (اکسین ۲۳/۵۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) و باکتری *Bacillus muralis* (اکسین ۲۲/۲۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد. همچنین مشخص گردید همه باکتری‌ها نسبت به شاهد تأثیر افزایشی بر جوانه‌زنی دانه‌ها داشتند. بیشترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید در تیمار با باکتری *Bacillus albus* حاصل شد و میزان مالون‌دی‌آلدهید در تیمارهای با تولید بالای اکسین کاهش یافت. به طور کلی یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار دانه گلرنگ با باکتری‌های ریزوسفری می‌تواند تأثیر معناداری بر تحریک رشد این گیاه داشته باشد و باعث بهبود رشد کمی و کیفی این گیاه شود.

واژه‌های کلیدی. باسیلوس آلبوس، باسیلوس میرابیلیس، باکتری‌های ریزوسفری، سودوموناس فلورسنس، کارتاموس تینکتوریوس

The effect of rhizospheric bacteria on the physiological and biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*)

Atefeh Shahraki[1], Maryam Mohammadi-Sichani[1]& Monireh Ranjbar[2]

[1]Department of Microbiology, Falavarjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran; [2]Department of Biology, Falavarjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Correspondent author: Maryam Mohammadi-Sichani, mohamadi_m@iaufala.ac.ir

Abstract. Rhizospheric bacteria are among the beneficial soil microorganisms that improve plant growth. These bacteria increase plant growth through various mechanisms such as the production of various phytohormones and the ability to solubilize phosphate. The aim of this study was to investigate the effects of rhizosphere bacteria on the growth of *Carthamus tinctorius* to improve its physiological and biochemical indicators. *Carthamus tinctorius* seeds were inoculated with five isolates of rhizosphere bacteria and were then planted the seeds in pots. Subsequently, the physiological and biochemical parameters of the plants, including the rates of auxin production, phosphate dissolving, photosynthetic pigments and the contents of proline and malondialdehyde were measured. For this purpose, a factorial experiment were conducted using a completely randomized design with three replications. The ANOVA was performed and a comparison of the means was carried out using Duncan's multiple range test. The results indicated that the largest stem fresh weight, root fresh and dry weights observed in the treatments of using *Pseudomonas fluorescens* (auxin concentration of 23.55 µg/mL) and *Bacillus muralis* (auxin concentration of 22.27 µg/mL). In addition, all bacterial species increased the safflower seed germination rate compared to the control group. The largest malondialdehyde content was recorded in the treatment with *Bacillus albus,* and MDA content decreased in the treatments that produced larger amounts of auxin. In general, the finding of this research suggested that bacterial inoculation was capable to significantly affect the growth of safflower and improve its qualitative and quantitative growth parameters.

Key words. *Bacillus albus*, *Bacillus muralis, Carthamus tinctorius*, *Pseudomonas fluorescens*, Rhizospheric Bacteria

Received 16.12.2021/ Revised 10.01.2022/ Accepted 16.01.2022/ Published 21.12.2022
دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵/ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰/ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶/ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

مقدمه

گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. متعلق به تیره کاسنیان (Asteraceae)، گیاهی است دارویی و به دلیل کیفیت بالای روغن دانه آن، به عنوان یک محصول کشاورزی با ارزش اهمیت بسیاری دارد. بنابراین، ارتقاء ویژگی‌های رشد آن دارای اهمیت زیاد است (Singh & Nimbkar, 2016). ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهان، باکتری‌های مفیدی هستند که اطراف ریشه‌های گیاه حضور دارند و با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی رشد را تقویت می‌کنند (Amini Hajiabadi et al., 2021). کاربرد میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفری به عنوان مایه تلقیح یا کودزیستی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. استفاده از ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه به عنوان یک روش مؤثر و جایگزین کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات و مکمل‌ها در کشاورزی رو به افزایش است. این باکتری‌ها منجر به افزایش رشد، جوانه‌زنی دانه و بهبود عملکرد گیاهان مختلف شده‌اند و برخی از آن‌ها به صورت تجاری تولید می‌شوند (Khan et al., 2020). ریزوباکتری‌ها از طریق مکانیسم‌های مستقیم شامل انحلال فسفات معدنی (Pi)، تولید فیتوهورمون اندول استیک اسید (IAA)، سیتوکینین‌ها و رقابت با عوامل بیماری‌زا بر سر مکان و تغذیه، رشد گیاه را بهبود می‌بخشند. همچنین به طور غیرمستقیم به وسیله القای مقاومت سیستمیک در گیاهان از طریق ترشح طیف گسترده‌ای از متابولیت‌ها مانند فنازین‌ها، سیانید هیدروژن و سیدروفورها عوامل بیماری‌زای موجود در ریزوسفر را کاهش می‌دهند (Backer et al., 2018).

در پژوهش‌های متعدد سرده‌های *Bacillus* و *Pseudomonas* به عنوان ریزوباکترهای محرک رشد گیاه گزارش شده‌اند. باکتری‌های سرده *Bacillus* به دلیل ماندگاری طولانی مدت اندوسپور آن‌ها پرمصرف‌ترین باکتری‌ها، در بازار کودهای زیستی هستند و استفاده از آن‌ها در کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقی گزارش کرده‌اند که *B. subtilis* می‌تواند فسفر موجود در خاک را حل کرده و میزان تثبیت نیتروژن را افزایش دهد (Hashem et al., 2019). همچنین این باکتری سیدروفورهایی تولید می‌کند که باعث رشد بهتر گیاهان شده و از رشد عوامل بیماری‌زا جلوگیری می‌کند. *B. subtilis* با تحریک بیان ژن‌های پاسخ به استرس، با تولید فیتوهورمون‌ها و متابولیت‌هایی تحمل استرس را در میزبان گیاهی خود افزایش می‌دهد (Hashem et al., 2019). مشخص شده‌است تیمار با باکتری *B. amyloliquefaciens* می‌تواند به عنوان یک کنترل‌کننده زیستی تا حدود ۷۰ درصد مانع از پیدایش بیماری لکه برگی فلفل شده و روی جوانه‌زنی دانه و رشد فلفل بسیار مؤثر باشد (Gowtham et al., 2018). باکتری‌های سرده سودوموناس به دلیل توانایی کلونیزاسیون در ریزوسفر بسیاری از گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. استفاده از ریزوباکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاهی مانند *P. fluorescens* و *B. subtilis* می‌توانند از طریق مکانیسم مقاومت القا شده، پیام‌رسانی‌هایی را در گیاه برای دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا ایجاد کنند. این دو باکتری برای بررسی فواید آن‌ها بر سلامت برگ گیاه خردل در برابر عفونت ویروس موزائیکی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد تلقیح خردل‌ها با این دو باکتری موجب کاهش دوره نهفتگی و شدت عفونت در گیاه و همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای فنل در برگ گیاه شد (Bogi et al., 2012). گزارشات نشان داده‌اند جدایه‌های خاصی از *Pseudomonas* مانند *P. putida* و *P. fluorescens* رشد گیاه گلرنگ را تحریک کرده و در افزایش عمل‌کرد دانه و روغن این گیاه نقش مثبت داشتند (Rahimi et al., 2013). باکتری *P. fluorescens* عمل‌کرد مفیدی در ریزوسفر گیاهانی مانند برنج، پنبه، ذرت، موز، گندم و نخود سبز داشته است؛ همچنین موجب افزایش ارتفاع، تعداد گل و میوه گوجه‌فرنگی شده است (Backer et al., 2018). هدف از این مطالعه بررسی اثر باکتری‌های ریزوسفری بر رشد گلرنگ به منظور بهبود شاخص‌های رشد و فیزیولوژیکی این گیاه ارزشمند بود.

مواد و روش‌ها

پنج گونه باکتری شامل *Bacillus cereus* (MT102612)، *Bacillus muralis* (MT102619)، *Bacillus albus* (MT102613)، *Pseudomonas fluorescens* (MT102617) و *Brevibacterium frigoritolerans* (MT102614) که طی مطالعه قبل از ریزوسفر *C. tinctorius* جداسازی شده بودند مورد استفاده قرار گرفتند (Shahraki et al., 2022). همه سویه‌ها به روش مولکولی شناسایی شدند و در بانک جهانی ژن با شماره‌های دسترسی ارائه شده ثبت شده‌اند.

اندازه‌گیری مقدار تولید اکسین

مقدار ۲۵ میلی‌لیتر از محیط کشت لوریا برتانی درون ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری توزیع و در اتوکلاو (ایران تولید، ایران) استریل گردید. ۱ میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتریایی از هر سویه به ارلن جداگانه‌ای تلقیح شد. ارلن‌ها بر روی شیکر (بهداد، ایران) با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از ۷۲ ساعت، ۱/۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتریایی به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (بهداد، ایران) گردید. یک میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی به ۲ میلی‌لیتر معرف

سالکووسکی اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط قرار گرفتند. رنگ تولید شده به روش طیف‌سنجی (UNICO، آمریکا) در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت گردید. مقادیر جذب قرائت شده با منحنی استاندارد اندول‌استیک‌اسید مقایسه و مقدار اکسین تولید شده توسط هر جدایه محاسبه و ثبت شد (Liu et al., 2012).

اندازه‌گیری میزان انحلال فسفات

مقدار ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتریایی به ۲۵ میلی-لیتر محیط کشت اسپربر مایع اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۵ روز در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. پس از ۵ روز سوسپانسیون باکتری به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (بهداد، ایران) شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی با ۳ میلی‌لیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر معرف آمونیوم مولیبدات وانادات مخلوط گردید. پس از ۲۰ دقیقه شدت جذب نور با استفاده از روش طیف‌سنجی در طول موج ۴۳۰ نانومتر قرائت شد. مقدار فسفر محلول در محیط کشت در مقایسه با منحنی استاندارد محاسبه گردید (Alikhani et al., 2006; Sharma et al., 2013).

تیمار دانه گیاه گلرنگ با باکتری‌های ریزوسفری

به منظور بررسی اثر باکتری‌های ریزوسفری بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد و فیزیولوژیکی گیاه گلرنگ دانه های ضدعفونی شده به ارلن‌های حاوی کشت ۲۴ ساعته سویه‌های باکتریایی در محیط کشت تریپتون سویا براث (Trypticase Soy Broth, TSB) با رقت 10^8 باکتری در هر میلی‌لیتر به عنوان مایه تلقیح اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر با دور ۱۲۰ در دقیقه قرار گرفت. سپس ۲ ساعت مخلوط دانه ها و سوسپانسیون باکتری بصورت ساکن در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Arkhipova et al., 2019).

هر گلدان به نسبت یکسان با کوکوپیت، پیت‌ماس و خاک معمولی آماده و نشان‌گذاری شد. ۲۰ عدد دانه آغشته به باکتری در عمق ۰/۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. گلدان‌ها در اتاق کشت با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۲۲ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۸۵ درصد قرار گرفتند. دانه‌ها دو روز در میان با ۵۰ میلی‌لیتر آب آبیاری شدند. ۵۰ روز پس از کاشت، گیاهان از گلدان خارج شدند و شاخص‌های رشد آن‌ها شامل طول ساقه‌چه و ریشه‌چه اندازه-گیری شد. سپس بخش‌های هوایی و ریشه از هم جدا شده و وزن‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه به کمک ترازو با دقت ۰/۰۰۱ (AND، ژاپن) اندازه‌گیری شد. ساقه‌چه همراه با برگ‌ها و ریشه‌چه جداگانه در آون (فاطرالکتریک، ایران) با دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس وزن آن‌ها بر حسب گرم با ترازو اندازه‌گیری شد (Sun et al., 2016, Chandra et al., 2018).

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی

یک گرم از برگ‌ها با ۴ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (Merck، آلمان) استخراج شد. محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه با ۳۰۰۰g سانتریفیوژ شد و ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی برای اندازه‌گیری جذب نوری مورد استفاده قرار گرفت. جذب نوری محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج-های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد و میزان کلروفیل و کاروتنوئید بر اساس معادله‌های زیر محاسبه گردید (Czarnecki et al., 2011).

$C_a = 12.25\ (A_{663}) - 2.79\ (A_{646})$

$C_b = 21.50\ (A_{646}) - 5.1\ (A_{663})$

$C_{total} = C_b + C_a$

$C_c = [1000\ (A_{470}) - 1.82\ C_a - 85.02\ C_b]/198$

اندازه‌گیری پرولین و مالون‌دی‌آلدهید

میزان پرولین برگ‌ها به روش Bates سنجش گردید. برای این منظور، ۰/۱ گرم از پودر برگ‌های خشک شده با ۱۰ میلی-لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد (Merck، آلمان) مخلوط شد و به مدت یک ساعت در دمای محیط در شرایط تاریکی قرار گرفت. سپس ۲ میلی‌لیتر محلول حاصل با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین (Merck، آلمان) و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (Merck، آلمان) مخلوط شده و به مدت ۱ ساعت در بن‌ماری (بهداد، ایران) ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از سرد شدن لوله‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محتویات لوله‌ها اضافه شد و خوب تکان داده شدند. در این مرحله یک فاز بی‌رنگ شفاف در پایین لوله و یک فاز صورتی‌رنگ در بالای آن تشکیل شد. میزان رنگ فاز آلی صورتی رنگ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. این روش بر روی غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار پرولین خالص انجام شد و سپس منحنی استاندارد پرولین رسم گردید. مقدار پرولین نمونه‌ها با کمک نمودار استاندارد برحسب میکرومولار در یک گرم برگ بدست آمد (Abrahám et al., 2010).

اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی به روش سنجش میزان مالون‌دی‌آلدهید با تیوباربیتوریک اسید انجام شد. ۰/۲ گرم بافت تر برگ و ریشه در ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک-اسید (Merck، آلمان) ۰/۱ درصد همگن شد. سپس عصاره حاصل به لوله فالکون انتقال یافت و به مدت ۵ دقیقه در ۶۰۰۰g سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی، ۴ میلی‌لیتر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

تری‌کلرواستیک اسید ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک‌اسید بود اضافه شد. مخلوط فوق به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم (۹۵ درجه سانتی‌گراد)، انکوبه گردید. سپس مخلوط حاصل بلافاصله در حمام یخ سرد شد و با سرعت ۶۰۰۰g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب مایع رویی در طول موج ۵۳۲ نانومتر تعیین و جذب بقیـــه رنگدانه-هـــای غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر از آن کسر شد. غلظت مالون‌دی‌آلدهید با استفاده از ضریب تصحیح ($mol\ cm^{-1}$ ۰/۱۵۵) محاسبه و براساس واحد نانومول برگرم وزن‌تر بیان شد (Ayala et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این تحقیق به صورت آزمون فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام گرفت. آنالیز واریانس داده‌ها با نرم‌افزارSPSS ویرایش ۱۹پردازش شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن ($p<0.05$) انجام شد. رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج

انحلال فسفات و تولید هورمون اکسین توسط باکتری‌های ریزوسفری

مقادیر تولید اکسین و میزان انحلال فسفات فسفر باکتری‌های ریزوسفری مورد آزمایش در جدول ۱ بیان شده است. بر اساس نتایج میزان تولید اکسین در محدوده ۱۵ تا ۶۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آمد که بیشترین میزان تولید به *B. cereus* مربوط بود. همچنین توانایی انحلال فسفات توسط سویه‌های مورد آزمایش ۹۱ تا ۱۳۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. در بین سویه‌های مورد آزمایش *B. frigoritolerans* بیشترین قدرت انحلال فسفات را نشان داد.

تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر شاخص‌های رشدی گیاه گلرنگ

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار شاخص‌های رشد گیاه گلرنگ را در سطوح مختلف تیمارهای باکتری‌های ریزوسفری برای گروه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. دانه های تلقیح شده با هریک از باکتری‌ها نسبت به شاهد تأثیر افزایشی بر جوانه‌زنی دانه‌ها در گلدان داشتند. بیشترین درصد جوانه‌زنی دانه پس از کنترل در تیمار با *B. frigoritolerans* بود و کمترین درصد جوانه‌زنی دانه در تیمار با *P. fluorescens* و *B. albus* حاصل گردید. بیشترین طول ریشه در تیمار با *P. fluorescens* مشاهده گردید. کمترین طول ریشه در شاهد بدون باکتری حاصل گردید که تیمارهای این دو حالت (بیشترین و کمترین طول ریشه) با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند. همه باکتری‌ها در مقایسه با شاهد باعث بهبود طول ریشه گلرنگ شدند. همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، تیمار با *P. fluorescens* بیشترین طول ساقه‌چه و تیمار با *B. muralis* کمترین طول ساقه‌چه را داشت و این دو تیمار از لحاظ آماری با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری بودند. نتایج نشان داد بیشترین وزن خشک و تر ریشه‌چه در تیمار با *P. fluorescens* مشاهده شد. طبق یافته‌های به دست آمده کمترین وزن‌تر و خشک ریشه‌چه هنگام استفاده از *B. frigoritolerans* و *B. cereus* حاصل گردید که این دو تیمار از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی دارای تفاوت معنی‌دار با تیمارهای *P. fluorescens* و *B. muralis* بودند. همچنین، تیمار با *P. fluorescens* با اختلاف معنی‌داری موجب بیشترین افزایش در وزن تر ساقه‌چه گردید اما در همه تیمارها وزن خشک ساقه‌چه نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافته بود. کمترین وزن خشک ساقه‌چه به ترتیب هنگام تیمار با *B. albus* و *B. cereus* حاصل گردید که این تیمارها با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند.

تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه گلرنگ

بالاترین مقدار کلروفیل a را تیمار با *P. fluorescens* دارا بود و در سایر تیمارها میزان کلروفیل a از شاهد کمتر بود. در تیمار با *P. fluorescens* بالاترین مقدار کلروفیل b مشاهده گردید (جدول ۳). همچنین کمترین مقدار کلروفیلb هنگام استفاده از *B. frigoritolerans* و *B. albus* حاصل گردید که این دو تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. نتایج نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمار با *P. fluorescens* بود. کمترین مقدار کلروفیل کل هنگام استفاده از تیمار با *B. albus* حاصل شد که این تیمارها از لحاظ آماری با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند. در میان سایر تیمارها نیز از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود نداشت. در مطالعه حاضر همه تیمارها نسبت به شاهد به جز تیمار با *B. muralis* تأثیر کاهشی بر میزان کاروتنوئید داشتند. نتایج نشان داد، بیشترین کاروتنوئید در تیمار با *B. muralis* بود و کمترین کاروتنوئید هنگام استفاده از باکتری *P. fluorescens* حاصل گردید که این تیمارها با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند. در میان سایر تیمارها نیز از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود نداشت.

تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر تولید پرولین و مالون‌دی‌آلدهید در گیاه گلرنگ

بیشترین میزان پرولین در گیاه در تیمار با *P. fluorescens* بود و کمترین میزان پرولین در شاهد بدون تیمار حاصل گردید. تیمار دانه ها با *B. albus* تولید بیشترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید را به همراه داشت و میزان مالون‌دی‌آلدهید با افزایش اکسین و بهبود رشد گیاه کاهش نشان داد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

جدول ۱- توانایی انحلال فسفات و تولید هورمون اکسین توسط باکتری‌های ریزوسفری گلرنگ.

Table 1. The ability to dissolve phosphate and produce auxin by rhizosphere bacteria of safflower.

Auxin concentration ($\mu g.ml^{-1}$)	Dissolved phosphorus ($\mu g.ml^{-1}$)	Bacterium
$0.23 \pm {}^{a} 69.55$	$0.64 \pm {}^{f} 135.00$	*B. cereus*
$0.62 \pm {}^{c} 22.27$	${}^{g} 130.38 \pm 0.78$	*B. muralis*
$0.41 \pm {}^{f} 15.00$	$0.23 \pm {}^{f} 135.46$	*B. albus*
$0.47 \pm {}^{b} 23.55$	$0.33 \pm {}^{j} 91.00$	*P. fluorescens*
$0.43 \pm {}^{d} 21.27$	$0.29 \pm {}^{d} 138.8$	*B. frigoritolerans*

داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف مشابه بالای هر ستون نشانگر تفاوت معنادار نبودن شاخص در گروه‌های مورد بررسی است.

Data is presented as the average of three replications ± standard Error. The same letters at the top of each column indicate a significant difference.

جدول ۲- میانگین تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر شاخص‌های رشد گلرنگ.

Table 2. Mean effect of rhizosphere bacteria on safflower growth indices.

Stem wet weight (µg)	Root wet weight (µg)	Stem dry weight (µg)	Root dry weight (µg)	Stem length (mm)	Root length (mm)	Seed germination (%)	Index Treatment
${}^{b} 2510 \pm 128$	${}^{b} 370 \pm 25$	${}^{bc} 220 \pm 5$	4 ± 40^{c}	77 ± 2^{b}	${}^{ab} 51 \pm 3$	71.7 ± 6.2^{abc}	*B. frigoritolerans*
${}^{a} 3520 \pm 589$	${}^{ab} 490 \pm 12$	${}^{ab} 310 \pm 64$	${}^{ab} 50 \pm 2$	${}^{b} 76 \pm 1$	${}^{ab} 72 \pm 6$	83.4 ± 12.5^{ab}	*B. muralis*
${}^{a} 3680 \pm 278$	${}^{a} 520 \pm 17$	${}^{bc} 230 \pm 43$	${}^{a} 60 \pm 2$	102 ± 1^{a}	85 ± 1^{a}	91.7 ± 10.3^{a}	*P. fluorescens*
${}^{ab} 3090 \pm 480$	${}^{b} 370 \pm 50$	${}^{c} 210 \pm 18$	${}^{c} 40 \pm 5$	${}^{ab} 91 \pm 5$	${}^{a} 80 \pm 3$	${}^{ab} 83.4 \pm 11.8$	*B. cereus*
${}^{ab} 3030 \pm 432$	${}^{b} 390 \pm 106$	${}^{c} 200 \pm 3$	${}^{bc} 40 \pm 11$	${}^{ab} 90 \pm 1$	${}^{ab} 58 \pm 2$	${}^{bc} 65.0 \pm 10.8$	*B. albus*
${}^{b} 2400 \pm 96$	${}^{ab} 420 \pm 41$	${}^{a} 330 \pm 64$	${}^{abc} 40 \pm 5$	${}^{a} 81 \pm 1$	38 ± 2^{b}	55.0 ± 4.1^{c}	شاهد Control
0.031	0.049	0.032	0.042	0.104	0.093	0.25	سطح معنی داری Significance level

داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف مشابه بالای هر ستون نشانگر تفاوت معنادار نبودن شاخص در گروه‌های مورد بررسی است.

Data is presented as the average of three replications ± standard Error. The same letters at the top of each column indicate a significant difference.

بحث

در مطالعه حاضر مشخص گردید باکتری‌های ریزوسفری تأثیر افزایشی بر جوانه‌زنی دانه‌های گلرنگ داشتند. در راستای تأیید این نتایج محققان استدلال کرده‌اند که ریشه گیاهان ممکن است مقادیر IAA بهینه یا کمتر از آن تولید کنند. بنابراین، IAA تولید شده توسط باکتری بسته به اینکه بهینه بوده یا بالاتر از حد مطلوب می‌تواند رشد گیاه را به ترتیب افزایش داده یا مهار کند (Suliasih & Widawati, 2020). نتایج تحقیقات پیشین (Zhang et al., 2018) نیز با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. آن‌ها با بررسی باکتری‌های حل‌کننده فسفات جدا شده از ریزوسفر *C. tinctorius* و تأثیر آن‌ها بر جوانه‌زنی بیان کردند که این باکتری‌ها می‌توانند فسفر غیرمحلول اطراف ریشه گیاه را به اشکال قابل‌جذب توسط گیاهان تبدیل کنند و از این طریق رشد گیاهان را بهبود دهند. در مطالعه حاضر، افزایش تولید اکسین توسط باکتری‌ها در محدوده ۱۵ تا ۲۳/۵۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر تأثیر افزایشی بر جوانه‌زنی دانه ها داشت که هماهنگ با نتایج مطالعه‌ای بر روی گیاه گندم است. آن‌ها مشاهده کردند که تیمار دانه‌های گندم با جدایه‌های ریزوسفری محرک رشد تولیدکننده IAA (۱۹/۴-۳۰/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر) اثر افزایشی بر درصد جوانه‌زنی دانه های گندم دارد (Dal Cortivo et al., 2020).

در مطالعه حاضر مشخص گردید باکتری‌های ریزوسفری تأثیر افزایشی بر طول ریشه و ساقه گلرنگ داشتند. این نتیجه با نتایج محققان پیشین همسو است که با بررسی تأثیر ریزوباکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه بر ریخت‌شناسی ریشه *C. tinctorius* به این نتیجه رسیدند که تلقیح *P. stutzeri* باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه در گلرنگ می‌شود (Nosheen et al., 2011).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

جدول ۳- میانگین تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر شاخص‌های بیوشیمیایی گلرنگ

Table 3. Mean effect of rhizosphere bacteria on biochemical parameters of safflower

Proline (nmol.g^{-1} FW)	malondialdehyde (nmol.g^{-1} FW)	Chlorophyll *a* (mg.g^{-1} FW)	Chlorophyll *b* (µg.g^{-1} FW)	Total chlorophyll (µg.g^{-1} FW)	Carotenoide (µg.g^{-1} FW)	Index / Treatment
^{a}4.61 ± 1.914	^{b}0.08 ± 0.013	^{a}0.296 ± 0.028	^{a}0.134 ± 0.008	0.41 0.53 ± ^{a}	0.009 ± 0.087 ^{a}	*B. frigoritolerans*
^{a}4.85 ± 1.36	^{b}0.12 ± 0.016	^{a}0.438 ± 0.148	^{a}0.161 ± 0.058	0.21 0.60 ± ^{a}	0.020 0.103 ± ^{a}	*B. muralis*
^{a}14.67 ± 10.10	^{b}0.12 ± 0.012	^{a}0.629 ± 0.215	^{a}0.469 ± 0.410	0.60 1.098 ± ^{a}	0.046 0.078 ± ^{a}	*P. fluorescens*
^{a}6.75 ± 1.01	^{b}0.08 ± 0.059	^{a}0.407 ± 0.090	^{a}0.158 ± 0.039	0.13 0.57 ± ^{a}	0.012 0.085 ± ^{a}	*B. cereus*
^{a}11.93 ± 8.47	^{a}0.29 ± 0.019	^{a}0.305 ± 0.049	^{a}0.141 ± 0.058	0.05 0.45 ± ^{a}	0.036 0.101 ± ^{a}	*B. albus*
^{a}4.3 ± 4.20	^{b}0.11 ± 0.011	^{a}0.448 ± 0.125	^{a}0.177 ± 0.059	0.19 0.63 ± ^{a}	0.019 ± 0.103 ^{a}	Control
0.330	0.006	0.840	0.667	0.709	0.918	Significance level

داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف مشابه بالای هر ستون نشانگر تفاوت معنادار نبودن شاخص در گروه‌های مورد بررسی است.

Data is presented as the average of three replications ± standard Error. The same letters at the top of each column indicate a significant difference.

مطالعات نشان می‌دهد IAA باعث افزایش رشد گیاه می‌شود و می‌تواند تعداد تارهای ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، طول و سطح ریشه را افزایش داده و ریشه‌ها را نازک‌تر نماید و باعث افزایش جذب مواد معدنی از خاک شود (Kong et al., 2017). در مطالعه دیگری نیز تلقیح دانه ها با ترکیب *Azotobacter* و میکوریزها، باعث افزایش طول ساقه *C. tinctorius* در تمام سطوح آبیاری شد (Shariati et al., 2015).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد تیمار با باکتری‌های ریزوسفری موجب افزایش وزن تر ریشه و ساقه و وزن خشک ریشه شد. در این تیمارها، تولید اکسین نیز افزایش یافته بود. باکتری‌هایی که توانایی انحلال فسفات کم‌تر و از طرفی تولید اکسین بالاتری داشتند، در بهبود و افزایش وزن تر ساقه اثرگذار بودند. این نتایج با گزارش محققیان پیشین مطابقت دارد. بر اساس این یافته‌ها ارتباط خطی معناداری بین اکسین تولید شده توسط ریزوباکتری‌ها در محیط کشت و رشد نهال گندم (به خصوص وزن ریشه) وجود دارد (Khalid et al., 2004). تولید هورمون اکسین توسط باکتری‌ها رشد سیستم ریشه‌ای و جذب بهتر آب و عناصر غذایی را باعث شده در نتیجه زیست توده گیاه افزایش می‌یابد. اکسین ترشح شده توسط ریزوباکتری‌ها، تولید هورمون-های رشد گیاهی مانند اکسین و جیبرلین را تحریک کرده و از این طریق باعث تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول و افزایش طول و زیست توده گیاه می‌گردند. باکتری‌های محرک رشد ترکیبات پلی‌ساکاریدی را وارد خاک می‌کنند که باعث بهبود ساختار خاک و جذب بهتر آب و عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه می-شود. در این شرایط گیاهان با تنش بهتر مقابله می‌کنند (Zhao, 2010). در مطالعه حاضر مشخص گردید تیمار با هریک از باکتری‌های ریزوسفری نسبت به شاهد تأثیر کاهشی بر وزن خشک ساقه‌چه داشت. در تیمارهایی که کمترین وزن خشک ساقه‌چه را داشتند، مقدار اکسین نیز سطح پائینی را داشت. در پژوهش‌های پیشین نیز بیان شده که در برخی موارد، تلقیح ریزوباکتری‌ها بر رشد، عملکرد و پارامترهای مختلف گیاه تأثیر منفی دارد. کاهش وزن خشک ساقه‌چه در مطالعه حاضر ممکن است به دلیل میزان تلقیح بالای باکتری و در نتیجه سنتز اتیلن بالا در اثر تولید اکسین مازاد باشد. همان‌گونه که نتایج تحقیقات پیشین نشان داد IAA تولید شده توسط *Azotobacter*، سنتز اتیلن را برای مهار رشد گیاه کاهو افزایش می‌دهد (Park et al., 2015).

طبق نتایج مطالعه حاضر، تیمار با *P. fluorescens* منجر به تولید بالاترین مقدار کلروفیل *a* شد. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل آماری پژوهش حاضر نشان داد که در محدوده بهینه اکسین بیشترین میزان کلروفیل *a* را شاهد بوده و خارج از این محدوده (بیشتر و کمتر از محدوده بهینه اکسین) کلروفیل *a* میزان پایینی داشت. مطابق نتایج پژوهش حاضر، در مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای در شرایط تنش خشکی اجرا شد، مشخص گردید که با مصرف ۱۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون اکسین، بیشترین غلظت کلروفیل *a* حاصل شد. با افزایش غلظت هورمون اکسین از صفر تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت کلروفیل *a* افزایش یافت ولی با افزایش هورمون اکسین تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت کلروفیل *a* تا حد شاهد کاهش

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

یافت (Mahrokh et al., 2015). همچنین، در تیمار با *P. fluorescens* که دارای توانایی انحلال فسفات در محدوده بهینه بود بالاترین مقدار کلروفیل *b* مشاهده گردید و در همین تیمار که بیشترین مقدار کلروفیل کل هم در آن مشاهده شد، آزادسازی فسفر محلول در محدوده بهینه ۹۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. نتایج پژوهش حاضر مطابق با نتایج مطالعات پیشین است. آن‌ها نشان دادند که در گیاه کاملیا تحت شرایط بهینه فسفر، مقدار کلروفیل کل و رشد گیاه را افزایش می‌دهد و بر میزان جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم تأثیر مثبت دارد (Wu et al., 2019). در صورت وجود عناصر سنگین در محیط رشد گیاه، فلز سنگین جایگزین یون منیزیم کلروفیل شده و از سنتز کلروفیل جلوگیری می‌کند. در این شرایط آنزیم کلروفیلاز فعال شده و کلروفیل تجزیه می‌شود. از طرفی سنتز آنزیم‌های بیوسنتز کلروفیل از جمله ۵ آمینولولینیک اسید و ترکیب پروتوکلروفیلیددوکتاز را کاهش می‌دهد. وجود تنظیم‌کننده‌های رشد تولید شده توسط باکتری‌های ریزوسفری باعث رشد بهتر گیاه، در نتیجه حذف کارآمد رادیکال‌های آزاد اکسیژن توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محافظت رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. در شرایطی کاهش کلروفیل ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین محافظت‌کننده کلروفیل *a* و *b*، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست است که احتمالاً به ایجاد تنش زیستی توسط بعضی از باکتری‌ها مربوط است. البته کلروفیل *a* نسبت به شرایط محیط حساس‌تر از کلروفیل *b* است (Nazarbeygi et al., 2011).

در این مطالعه تیمار با *B. muralis* بیشترین تولید کاروتنوئید حاصل گردید که این تیمارها با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند. در میان سایر تیمارها نیز از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود نداشت. معمولاً تغییرات متابولیکی در اثر تنش، از عوامل مؤثر در کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی است بطوری که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوئید می‌شود. در صورتی‌که حضور باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش یا ممانعت از تغییر میزان کلروفیل و کاروتنوئید شوند به دلیل فراهم بودن عناصر غذایی و مواد آلی در خاک است. در تحقیقی که در مورد بررسی اثر میکروارگانیسم‌های محرک رشد بر گیاه گوجه‌فرنگی صورت گرفت، افزایش معنی‌داری در محتوای کاروتنوئید مشاهده شد. بازده کل کاروتنوئید تیمارها از ۰/۸ تا ۴۰/۴ کیلوگرم در هکتار و میانگین بازده لیکوپن تیمارها از ۰/۶ تا ۳۴/۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. اثر تیمار با باکتری‌های محرک رشد به وضوح برای عملکرد گوجه‌فرنگی مثبت بود (Le et al., 2018).

پاسخ کلی گیاهان به انواع مختلف تنش‌ها، تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین است که سلول‌ها را در برابر صدمات ناشی از استرس محافظت می‌کند. شواهد زیادی نشان می‌دهد که بین تجمع پرولین و تحمل شرایط تنش توسط گیاه رابطه مثبت وجود دارد. این اسمولیت‌ها در گیاهان سبب تنظیم فشار اسمزی سلولی، حفظ یکپارچگی غشاء و تثبیت آنزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌شوند و در شرایط تنش‌های محیطی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن را می‌کاهند (Dar et al., 2016). در مطالعه حاضر در تیمار با *P. fluorescens* بیشترین میزان پرولین در گیاه تولید شد. اسمولیت پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارد و از طریق جاروب کردن اکسیژن‌های فعال از سلول محافظت می‌کند. ریزوباکتری‌ها با افزایش پرولین از تخریب لیپیدهای غشا می‌کاهند.

همچنین، طبق یافته‌های بدست آمده در این مطالعه تیمار با *B. albus* موجب تولید بیشترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید شد و میزان مالون‌دی‌آلدهید با افزایش اکسین و بهبود رشد گیاه کاهش نشان داد. بطور معمول در اثر آسیب‌های جدی وارده بر ترکیبات لیپیدی غشاهای سلولی، بر مقدار مالون‌دی‌آلدهید افزوده می‌شود. احتمالاً حضور باکتری‌ها در محیط، شرایط رشد گیاه را بهبود بخشیده است. کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش بیان ژن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود فعالیت آن‌ها سبب کاهش پراکسیدهیدروژن و در نتیجه آن کاهش مالون‌دی‌آلدهید شده است (Gururani et al., 2013). به عبارت دیگر اثر تحریک‌کننده رشد ریزوباکترها سبب بالا رفتن تحمل شرایط توسط گیاه گردیده که با نتایج محققان پیشین مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که تلقیح باکتری‌های ریزوسفری در شرایط استرس باعث کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در گیاهان می‌شود که ممکن است به دلیل اثر تحریک‌کننده ریزوباکترها بر روی مکانیسم‌های دفاعی گیاه باشد (Saleem et al., 2018). همچنین محققان گزارش کرده‌اند که تلقیح گیاه گندم با جدایه *B. licheniformis* تحت تنش شوری، میزان مالون‌دی‌آلدهید در گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان غیر تلقیحی کاهش یافته است. کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید بعد از تلقیح، موجب کاهش آسیب به غشای سلول و در نتیجه بالا رفتن تحمل شوری گیاهان می‌شود (Singh & Jha, 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان دهنده تأثیر مثبت باکتری ریزوسفری جداسازی شده بر شاخص‌های رشدی و تولید عوامل محافظت کننده در مقابل تنش در گیاه گلرنگ است. باکتری‌های

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

ریزوسفری محرک رشد گیاه از مهم‌ترین کودهای زیستی می‌باشند. براساس یافته‌های بدست آمده در این پژوهش، تلقیح تیمارهای باکتری‌های ریزوسفری گلرنگ می‌تواند تأثیر معناداری بر رشد این گیاه ارزشمند دانه روغنی داشته باشد. باکتری‌هایی که توانایی انحلال فسفات پایین‌تر و از طرفی تولید اکسین بالاتری داشتند، در بهبود و افزایش وزن تر ساقه، طول ساقه، طول ریشه و درصد جوانه‌زنی دانه اثرگذار بودند. با توجه به مختلف بودن این اثرات توسط انواع باکتری‌های مورد بررسی، استفاده از این باکتری‌ها به صورت کنسرسیوم میکروبی ممکن است موجب هم‌افزایی اثر آن‌ها بر روی رشد این گیاه و سایر گیاهان شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از زحمات و همکاری معاونت پژوهشی و مدیریت آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فلاورجان سپاسگزاری می‌نمایند.

REFERENCES

Abrahám, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L. & Szabados, L. 2010. Methods for determination of proline in plants. Methods in Molecular Biology 639: 317-331.

Alikhani, H., Saleh-Rastin, N. & Antoun, H. 2006. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils. Plant and Soil 287: 35-41.

Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M.H., Shabazi, S. & Etesami, H. 2021. The effect of plant growth promoting potentials of rhizosphere bacteria isolated from several halophytic species on vegetative growth and ionic content of wheat. Nova Biologica Reperta 8: 104-117.

Arkhipova, K., Galimsyanova, N., Kuzmina, L., Vysotskaya, L., Sidorova, L., Gabbasova, I., Melentiev, A. & Kudoyarova, G. 2019. Effect of seed bacterization with plant growth-promoting bacteria on wheat productivity and phosphorus mobility in the rhizosphere. Plant, Soil and Environment 65: 313-319.

Ayala, A., Muñoz, M.F. & Argüelles, S. 2014. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. Oxidative Medicine and Cellular Longevity 4: 360438.

Backer, R., Rokem, J.S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S. & Smith, D.L. 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science 9: 1-17.

Bogi, D., Luqman Qurata, A. & Tutung, H. 2012. The Effect of PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* on leaf mustard plant (*Brassica Juncea* L.) Infected by TuMV (*Turnip Mosaic* Virus). Journal of Tropical Plant Protection 1: 30-38.

Chandra, S., Askari, K. & Kumari, M. 2018. Optimization of indole acetic acid production by isolated bacteria from *Stevia rebaudiana* rhizosphere and its effects on plant growth. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology 16: 581-586.

Czarnecki, O., Peter, E. & Grimm, B. 2011. Methods for analysis of photosynthetic pigments and steady-state levels of intermediates of tetrapyrrole biosynthesis. Methods in Molecular Biology 775: 357-385.

Dal Cortivo, C., Ferrari, M., Visioli, G., Lauro, M., Fornasier, F., Barion, G., Panozzo, A. & Vamerali, T. 2020. Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field. Frontiers in Plant Science 11: 1-14.

Dar, M.I., Naikoo, M.I., Rehman, F., Naushin, F. & Khan, F.A. 2016. Proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development. Springer India 7: 155-166.

Gowtham, H., Murali, M., Singh, S.B., Lakshmeesha, T., Narasimha Murthy, K., Amruthesh, K. & Niranjana, S. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria- *Bacillus amyloliquefaciens* improves plant growth and induces resistance in chilli against anthracnose disease. Biological Control 126: 209-217.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]

Gururani, M.A., Upadhyaya, C.P., Baskar, V., Venkatesh, J., Nookaraju, A. & Park, S.W. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. Journal of Plant Growth Regulation 32: 245-258.

Hashem, A., Tabassum, B. & Fathi Abd_Allah, E. 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. Saudi Journal of Biological Sciences 26: 1291-1297.

Khalid, A., Arshad, M. & Zahir, Z.A. 2004. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Journal of Applied Microbiology 96: 473-480.

Khan, A., Ding, Z., Ishaq, M., Khan, I., Ahmed, A., Khan, A. & Guo, X. 2020. Applications of beneficial plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizae in rhizosphere and plant growth: A review. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 13: 199-208.

Kong, Z., Deng, Z., Glick, B.R., Wei, G. & Chou, M. 2017. A nodule endophytic plant growth-promoting Pseudomonas and its effects on growth, nodulation and metal uptake in *Medicago lupulina* under copper stress. Annals of Microbiology 67: 49-58.

Le, T.A., Pék, Z., Takács, S., Neményi, A., Daood, H.G. & Helyes, L. 2018. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on the water-yield relationship and carotenoid production of processing tomatoes. HortScience Horts 53: 816-822.

Liu, X., Hegeman, A.D., Gardner, G. & Cohen, J.D. 2012. High-throughput and quantitative assays of auxin and auxin precursors from minute tissue samples. Plant Methods 8: 31-48.

Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekr Dezfuli, H. & Choukan, R. 2015. The effect of spraying auxine and cytokinine hormones on photosynthetic pigments and leaf proline amino acid in maize hybrid 704 under drought stress condition. Journal of Plant Process and Function 5: 165-179.

Nazarbeygi, E., Lari Yazdi, H., Naseri, R. & Soleimani, R. 2011. The effects of different levels of salinity on proline and A, B chlorophylls in canola. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 10: 70-74.

Nosheen, N., Bano, D., Ullah, F., Farooq, U., H, Y. & I, H. 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on root morphology of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). African Journal of Biotechnology 10: 1-11.

Park, J.M., Radhakrishnan, R., Kang, S.M. & Lee, I.J. 2015. IAA producing Enterobacter sp. I-3 as a potent bio-herbicide candidate for weed control: A special reference with lettuce growth inhibition. Indian Journal of Microbiology 55: 207-212.

Rahimi, A., Jamialahmadi, M., Khavazi, K., Sayyari-Zahan, M. & Yazdani, R. 2013. Effects of different pseudomonas flluoresence bacterium strains on yield, yield components and some traits of safflower. Plant Ecophysiology 5: 1-16.

Saleem, M., Asghar, H.N., Zahir, Z.A. & Shahid, M. 2018. Impact of lead tolerant plant growth promoting rhizobacteria on growth, physiology, antioxidant activities, yield and lead content in sunflower in lead contaminated soil. Chemosphere 195: 606-614.

Shahraki, A., Mohammadi-Sichani, M., Ranjbar, M. 2022. Identification of lead resistant rhizobacteria of *Carthamus tinctorius* and their effects on lead absorption of sunflower. Journal of Applied Microbiology (in press).

Shariati, J.V., Weisany, W. & Torabian, S. 2015. Effect of azotobacter and arbuscular mycorrhizal on growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation regimes. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 18: 1-8.

Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H. & Gobi, T.A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. SpringerPlus 2: 587-587.

Singh, R.P. & Jha, P.N. 2016. A halotolerant bacterium *Bacillus licheniformis* HSW-16 augments induced systemic tolerance to salt stress in wheat plant (*Triticum aestivum*). Frontiers in Plant Science 7: 1890.

Singh, V. & Nimbkar, N. 2016. Chapter 7 - Safflower. Breeding oilseed crops for sustainable production. S. K. Gupta. San Diego, Academic Press: 149-167.

Suliasih, S. & Widawati, S. 2020. Isolation of indole acetic acid (IAA) producing *Bacillus siamensis* from peat and optimization of the culture conditions for maximum IAA production. Journal of Earth and Environmental Science 572: 012025.

Sun, L., Wang, X. & Li, Y. 2016. Increased plant growth and copper uptake of host and non-host plants by metal-resistant and plant growth-promoting endophytic bacteria. International Journal of Phytoremediation 18: 494-501.

Wu, F., Li, J,. Chen, Y., Zhang, L., Zhang, Y., Wang, S., Shi, X., Li, L. & Liang, J. 2019. Effects of phosphate solubilizing bacteria on the growth, photosynthesis, and nutrient uptake of *Camellia oleifera* Abel. Forests 10: 348-358.

Zhang, T., Hu, F. & Ma, L. 2018. Phosphate-solubilizing bacteria from safflower rhizosphere and their effect on seedling growth. Open Life Sciences 14: 246-254.

Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. Annual Review of Plant Biology 61: 49-64.

*****

How to cite this article:

Shahraki, A., Mohammadi-Sichani, M. & Ranjbar, M. 2022. Effect of rhizospheric bacteria on physiological and biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*). Nova Biologica Reperta 9: 213-221. (In Persian).

شهرکی، ع.، محمدی سیچانی، م. و رنجبر، م. ۱۴۰۱. اثر باکتری‌های ریزوسفری بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه گلرنگ. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۹: ۲۲۱-۲۱۳.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1401.9.3.6.6]
[DOI: 10.52547/nbr.9.3.213]