

اثر مصرف کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا در شرایط محیطی اهواز (*Camelina sativa L.*)

Effect of chemical fertilizers and growth promoting rhizobacteria application on seed yield and yield components of camelina (*Camelina sativa L.*) in environmental conditions of Ahvaz, Iran

کوثر سواری^۱، اسفندیار فاتح^۲ و امیر آینه‌بند^۳

چکیده

سواری، ک.، ا. فاتح و ا. آینه‌بند. ۱۴۰۲. اثر مصرف کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا (*Camelina sativa L.*) در شرایط محیطی اهواز. نشریه علوم زراعی ایران، ۲۵(۳): ۳۰۹-۲۹۴.

این پژوهش با هدف بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد و کودهای شیمیایی بر عملکرد دانه گیاه کاملینا، رقم اصلاح شده سهیل، انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کودهای شیمیایی نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاس (K) و گوگرد (S) در سه سطح (N₀-P₀-K₀-S₀) (C₁) (شاهد)، (N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀) (C₂) و (N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀) (C₃) بودند. کودهای زیستی در شش سطح عدم تلقيق (B₁) (شاهد)، نیتروکسین (B₂)، فسفات بارور ۲ (B₃)، تیوباسیلوس (B₄)، نیتروکسین+فسفات بارور ۲ (B₅) و نیتروکسین+فسفات بارور ۲+تیوباسیلوس (B₆) بودند. صفات گیاهی مورد ارزیابی شامل تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، محتوای روغن دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت بودند. نتایج نشان داد که اثر کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده و بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۵۸۰۳ کیلوگرم در هکتار)، در تیمار نیتروکسین+فسفات بارور ۲ بدست آمد. کودهای زیستی در هر سه سطح کود شیمیایی باعث افزایش محتوای روغن دانه کاملینا شدند. بیشترین افزایش عملکرد روغن دانه همانند عملکرد دانه در سطح سوم کود شیمیایی و کود زیستی نیتروکسین+فسفات بارور ۲ بدست آمد (۴۵/۶ درصد) که با سایر تیمارهای آزمایشی تقاضت معنی‌داری داشتند. اگرچه کودهای زیستی به تنهایی، در مقایسه با شاهد (عدم تلقيق)، تأثیر کمتری بر صفات گیاهی کاملینا داشتند، اما در تلفیق با کودهای شیمیایی، باعث بهبود رشد و عملکرد دانه کاملینا شدند. با توجه به نتایج این تحقیق بیشترین تیمار کودی برای افزایش عملکرد و محتوی روغن دانه گیاه کاملینا در شرایط آب و هوایی اهواز، تیمار تلفیقی کود نیتروکسین+فسفات بارور ۲ در هر سه سطح کود شیمیایی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تیوباسیلوس، کاملینا، کودهای زیستی، گوگرد و محتوای روغن دانه

۱- این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می‌باشد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (مکتبه کننده) (پست الکترونیک: e.fateh@scu.ac.ir)

۴- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

Effect of chemical fertilizers and growth promoting rhizobacteria application on seed yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under environmental conditions of Ahvaz, Iran

Savari. K.¹, E. Fateh² and A. Aynehband³

ABSTRACT

Savari. K., E. Fateh and A. Aynehband. 2023. Effect of chemical fertilizers and growth promoting rhizobacteria application on seed yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under environmental conditions of Ahvaz, Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences.** 25(3): 294-309. (In Persian).

Introduction: Oilseeds have high nutritional value and importance among agricultural crops for providing calories and energy needed by humans, and are the second food source in the world after grains. Since more than 95% of the vegetable oil consumed in Iran is supplied by imports, research in various agronomic practices, especially applied research on rate and application methods of fertilizers in oilseed crops is necessary. Camelina (*Camelina sativa* L.) is an annual plant and belongs to the Brassicaceae family. Biofertilizers are considered as new achievements in organic farming. Today, the use of biofertilizers with the aim of increasing soil fertility and producing products in sustainable agriculture is considered as an alternative to chemical fertilizers. Considering limited studies that have been done on Camelina (*Camelina sativa* L.) in Iran, the purpose of this research is to investigate the effect of combining nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur and biofertilizers on the seed yield and yield components of this oilseed crop.

Materials and Methods: This experiment was conducted with the aim of investigating the effects of growth-promoting bacteria and chemical fertilizers on the yield of camelina. The experimental design was factorial arrangements in randomized complete block design with 18 treatments and three replications in 2021-2022 at Research Farm of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Experimental treatments included; nitrogen fertilizer levels based on chemical fertilizer ($N_0-P_0-K_0-S_0$) (C_1) and ($N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}$) (C_2) and ($N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}$) (C_3) and biological fertilizer levels or growth promoting bacteria at six levels included: no inoculation/control (B_1), Nitroxine (B_2), Phosphate (Barvar2) (B_3), *Thiobacillus* (B_4), Nitroxine+Phosphate (Barvar2) (B_5) and Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus* (B_6). Camelina cv. Soheil was used in this experiment. Urea fertilizer was used as nitrogen, potassium sulfate as potassium, triple superphosphate as phosphorus, and bentonite sulfur as sulfur source. Camelina seeds were inoculated with biological fertilizers.

Results: Results showed that the highest seed yield (2120 kg.ha^{-1}) and biological yield (5803 kg.ha^{-1}) obtained in Nitroxin + Phosphate (barvar2) treatment. In all three levels of chemical fertilizers, biological fertilizers increased seed oil content. The highest seed oil content (45.1%) was obtained in the control treatment without chemical fertilizers and application of Nitroxin. Compared to the control (no inoculation), biological fertilizers had less effect on camelina plant traits, but in combination with chemical fertilizers, they improved the growth and seed yield of camelina.

Conclusion: According to the results of this experiment, the best fertilizer treatment to increase the seed yield of camelina was the combined treatment of Nitroxin fertilizer + Phosphate (Barvar2) in all three levels of chemical fertilizers.

Key words: Biofertilizers, Camelina, Seed oil content, Sulphur and *Thiobacillus*

Received: November, 2023

Accepted: December, 2023

1. Former MSc Student, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Associate Prof., Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (Corresponding author) (Email: e.fateh@scu.ac.ir)

3. Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

پژوهش کاربردی در زمینه‌های مختلف به زراعی گیاهان دانه روغنی از جمله مقدار و نوع کودهای مصرفی، بیش از پیش احساس می‌شود (Fallah *et al.*, 2019). بهینه سازی مصرف کودهای شیمیایی در گیاهان دانه روغنی علاوه بر کاهش عوارض زیست محیطی باعث افزایش عملکرد دانه، افزایش روغن دانه، افزایش تحمل گیاه به تشن‌های محیطی، بهبود فعالیت‌های زیستی خاک، کاهش غلظت آلاینده‌های نظیر کادمیوم و بور و افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (Hasani Balyani *et al.*, 2020).

باکتری‌ها از فراوان‌ترین و مهم‌ترین ریز جانداران خاک هستند که به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث کمک به رشد گیاهان می‌شوند (Farina *et al.*, 2012). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria; PGPR) روش مناسبی برای جایگزینی کودهای شیمیایی در زراعت‌های فشرده است. این باکتری‌ها در صورت مصرف تلفیقی با کود فسفر، باعث افزایش کارایی مصرف کود، افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت جذب خالص و تجمع ماده خشک، در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی به تنهایی، می‌شود (Fallah Nosratabad., 2012). یکی از روش‌های مناسب در کشاورزی مدرن برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزون بر زمان مناسب مصرف کود، استفاده از کودهای زیستی به ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاهی به صورت تلفیق با کودهای شیمیایی است. این باکتری‌ها به طور طبیعی در خاک وجود دارند، ولی تعداد و تراکم آنها پایین است، بنابراین تلقيق بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آنها را به حد مطلوب رساند و باعث افزایش اثرات مفید آنها در خاک شود (Hassani *et al.*, 2021). نتایج تحقیقات نشان داده است که مصرف کودهای زیستی همراه با ۵۰ درصد نیاز کودی در ارزن و ذرت باعث افزایش عملکرد آنها شد (Bashan *et al.*, 2004). گزارش شده است که کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد، ضمن کاهش میزان

مقدمه

امروزه در کشاورزی برای تأمین نیاز غذایی انسان‌ها و در کنار آن حفاظت از محیط زیست، نیاز به راهکارهایی جهت کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی و افزایش بهره‌وری از منابع است. کشت گیاهانی مانند گیاه دانه روغنی کاملینا که با کمترین نیاز آبی، کودی و آفت‌کش‌ها، عملکرد مناسبی نسبت به سایر گیاهان دانه روغنی رایج دارد، می‌تواند یک راهکار مناسب جهت تأمین بخشی از نیاز روغن خوراکی کشور باشد (Hassanzadeh Ghortape and Jawadi, 2016). کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی جدید و متعلق به خانواده براسیکاسه (Brassicaceae) است که زراعت آن در آسیا و اروپا رایج می‌باشد (Righini *et al.*, 2019). دوره رویش این گیاه کوتاه (۸۵ تا ۱۰۰ روز) است که با اقلیم مناطق نیمه‌خشک سازگاری داشته و معمولاً در شرایط آب و هوایی معتدل کشت می‌شود. میوه کاملینا از نوع خورجینک بوده و سطح دانه‌های آن ناصاف است. وزن ۱۰۰ دانه کاملینا در محدوده ۰/۸ تا ۲ گرم متغیر و بذر آن فاقد خواب است (Obour *et al.*, 2015). برگ‌های گیاه کاملینا کوچک، باریک و نوک تیز هستند و طول آنها بین دو تا هشت سانتی متر است. ارتفاع بوته کاملینا بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی متر و دارای سیستم ریشه‌ای عمیق است که البته بسته به نوع خاک و شرایط رشد، متفاوت است (Jankowski, *et al.*, 2019). روغن دانه کاملینا یک نمونه از روغن‌های تجدیدپذیر گیاهی است که در صنایع آرایشی و بهداشتی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه یک منبع پایدار انرژی نیز محسوب می‌شود (Chaturvedi *et al.*, 2018). افزایش روزافزون تقاضای جهانی برای روغن‌های گیاهی و فشار اقتصادی برای خرید روغن که باعث افزایش واردات می‌شود، اهمیت گسترش برنامه‌های پژوهشی و توسعه کشت دانه‌های روغنی را آشکار می‌سازد (Hasani Balyani *et al.*, 2020). با توجه به اینکه بیش از ۹۵ درصد روغن گیاهی مصرفی کشور از طریق واردات تأمین می‌شود، اجرای

خاک در آزمایشگاه شیمی و تجزیه گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، تجزیه شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۱۵ به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کودهای شیمیایی نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاس (K) و گوگرد (S) در سه سطح ($N_{0-P_0-K_0-S_0}$) (C_1) (شاهد)، ($N_{0-P_0-K_0-S_0}$) (C_2) (آزمایش) و ($N_{100-P_{100}-K_{40}-S_{100}}$) (C_3) (بدند).

کودهای زیستی در شش سطح (عدم تلچیح (B_1) (شاهد)، نیتروکسین (B_2)، فسفات بارور ۲ (B_3)، باکتری تیوباسیلوس (*Thiobacillus*) (B_4)، نیتروکسین+فسفات بارور ۲ (B_5) و نیتروکسین+فسفات بارور ۲ (B_6) بودند. کودهای زیستی شامل نیتروکسین (یک لیتر در هکتار)، فسفات بارور ۲۰۰ (گرم در هکتار)، تیوباسیلوس (پنج کیلوگرم در هکتار) بودند. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی باکتری‌های حل کننده فسفات (*Pseudomonas putida* strain P_{13}) و *Pantoea agglomerans* strain P_5 است که با تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز در اطراف ریشه، باعث آزاد شدن یون فسفات می‌شوند. این کود زیستی شرکت زیست فناور سبز تهیه شد. کود زیستی نیتروکسین حاوی باکتری‌های از توباکتر و آزوسپریلوم است که باعث ثبیت نیتروژن در خاک می‌شوند. بذر گیاه کامملینا رقم سهیل از شرکت دانش‌بنیان ییستون شفاف تهیه شد. طول دوره رویش، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و محتوای روغن دانه این رقم به ترتیب ۱۷۰ روز، ۸۸ سانتی‌متر، ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۳۰ درصد است. در ابتدای آبان سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱، با هدف نرم کردن خاک و از بین بردن علف‌های هرز یک‌ساله، زمین مورد نظر دیسک زده شد. ابعاد مزرعه 13×36 و مساحت کل زمین ۴۶۸ مترمربع بود. بعد از آماده‌سازی زمین، ۱۸ کرت در ۳ تکرار ایجاد شد و در هر کرت هفت ردیف کاشت با جهت شرقی-غربی ایجاد شدند.

صرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، باعث افزایش رشد گیاهان به واسطه افزایش جذب نیتروژن می‌شوند (Wu et al., 2005). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی همراه با کود زیستی باعث بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد دانه و روغن و ترکیبات روغن دانه کامملینا می‌شود (Hasani et al., 2019). بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار کود شیمیایی نیتروژن+فسفر+گوگرد همراه با کود زیستی بود که نسبت به شاهد بدون کود زیستی، ۱۱۸/۵۵ درصد افزایش داشت.

با توجه به ویژگی‌های گیاه کامملینا در مصارف صنعتی و پزشکی و با توجه به نقش مثبت عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر و گوگرد در رشد و عملکرد این گیاه دانه روغنی و نقش کودهای زیستی در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی و تقلیل وابستگی به کودهای شیمیایی که در آزمایش‌های مختلف گزارش شده است، این تحقیق با در نظر گرفتن این موضوع و با هدف معرفی و توسعه کشت این گیاه جهت تأمین قسمتی از نیاز جامعه کشاورزی اجرا شد. با توجه به کمبود اطلاعات مربوط به گیاه کامملینا در کشور، در این پژوهش اثر مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر، گوگرد و کودهای زیستی بر عملکرد دانه و محتوای روغن دانه گیاه کامملینا مورد توجه بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غرب اهواز اجرا شد. در مدت اجرای آزمایش، آباده بارندگی سالیانه بر اساس میانگین بلندمدت ۲۰۲ میلی‌متر بوده است. میانگین رطوبت نسبی روزانه هوا ۴۲ درصد و میانگین دمای سالانه $26/3$ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. قبل از اجرای آزمایش و در زمان آماده‌سازی زمین، از نقاط مختلف مزرعه آزمایشی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری شد. نمونه مرکب

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physical and chemical properties of soil at the experiment site (0- 30 cm)

بافت خاک Soil texture	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	اسیدیته نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس Available K (mg.kg ⁻¹)
لومی-شنبی Loamy-Sandy	0.42	2.5	7.63	0.08	11	156

برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد انتخاب شدند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۸۵-۹۰ درصد دانه‌های خورجینک‌ها به رنگ قهوه‌ای متایل می‌شوند)، ۱۰ بوته از کل ردیف‌های هر کرت، پس از حذف حاشیه‌ها، از هر واحد آزمایشی انتخاب تعداد خورجینک‌ها در هر بوته شمارش شدند. از ۱۰ بوته‌های برداشت شده از هر کرت، ۱۰ عدد خورجینک جدا و تعداد بذرهای آنها شمارش شدند. برای محاسبه وزن هزار دانه، از دانه‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی، یک نمونه ۲۰۰ تایی تصادفی از دانه‌ها شمارش شده و با استفاده از ترازوی دقیق توزین و سپس وزن هزار دانه محاسبه شد. برای تعیین عملکرد دانه از هر کرت بوته‌های واقع در سه مترمربع برداشت شده و دانه‌های آنها جداسازی و توزین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی، پس از کف بر نمودن بوته‌های هر کرت آزمایشی، قبل از جدا کردن دانه‌ها از خورجینک‌ها، وزن خشک کل بوته‌ها پس از خشکاندن در آون اندازه‌گیری شد (Shirani Rad *et al.*, 2013) محتوای روغن با استفاده از دستگاه سوکسله (FOSS, SOCCET 2050, Sweden) و با روش تغییرات وزنی اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن از حاصلضرب میزان روغن دانه در عملکرد دانه محاسبه شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیستی محاسبه شد.

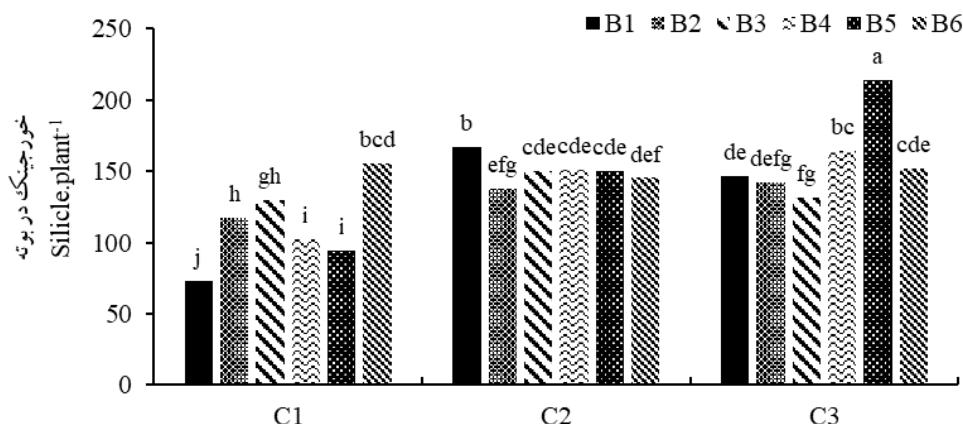
داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه شدند. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ انجام شد. ضرایب همبستگی صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS

طول و عرض کرت‌ها ۲ × ۳ متر بود. طول هر ردیف کاشت سه متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. تراکم بوته‌ها ۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Fallah *et al.*, 2019). آبیاری به صورت نشتی و با استفاده از سیفون انجام شد. در سطح اول کود شیمیایی هیچ کودی استفاده نشد (شاهد)، سطح دوم کود شیمیایی شامل ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع کود اوره)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل)، ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (از منبع گوگرد بتونیت‌دار) و سطح سوم کود شیمیایی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بود (Hasani Balyani *et al.*, 2020). ۵۰ درصد از کود اوره به صورت پایه (۱۴۰۰/۰۸/۱۵) و ۵۰ درصد دیگر در دو مرحله گله‌های (۱۴۰۰/۱۱/۱۵) و ظهور اولین خورجینک‌ها (۱۴۰۰/۱۱/۳۰) به خاک داده شدند. جهت تلقیح بذرهای کاملینا با کودهای زیستی، بذرها به شش قسمت (به تعداد تیمارها) تقسیم و هر قسمت با کود زیستی مورد نظر به صورت بذرمال تیمار شدند. در مرحله رسیدگی محصول (۱۴۰۱/۳/۳)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه)، عملکرد زیستی، میزان روغن دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت محصول، از بوته‌های برداشت شده هر کرت، ۱۰ بوته به طور تصادفی

نیتروکسین + فسفات بارور^۲ + تیوباسیلوس، تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). در شرایط کاهش تعداد بوته، افزایش تعداد خورجینک در بوته باعث جبران تفاوت عملکرد دانه در گیاه کاملینا شده و باعث حفظ عملکرد دانه در واحد سطح می شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که تعداد خورجینک بارور در بوته کاملینا عامل اصلی تأثیرگذار بر عملکرد دانه است (Jankowski *et al.*, 2019). نتایج مختلفی از نظر میزان تأثیرپذیری این جزء مهم عملکرد از عوامل محیطی مانند کود نیتروژن و دمای فصل رشد گزارش شده است. اثر کودهای زیستی بر تعداد خورجینک در بوته در این آزمایش مثبت بود. مصرف مقادیر مناسب کودهای شیمیایی از طریق بهبود فعالیت کودهای زیستی، باعث افزایش تعداد خورجینک در بوته شد. یساری و پاتورادان (Yasari and Patwardhan, 2007) نیز اثر مثبت کودهای زیستی از توباکتر و آزوسپیریلیوم را مربوط به تعداد خورجینک در بوته در گیاه کلزا گزارش کردند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها بر تعداد خورجینک در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین های تعداد خورجینک در بوته در برهمکنش کود زیستی و کود شیمیایی نشان داد که افزایش مقدار مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش تعداد خورجینک در بوته شد و تیمار نیتروکسین + فسفات بارور^۲ با میانگین $213/8$ خورجینک در بوته، برتر بود و باعث افزایش ۴۶ درصدی تعداد خورجینک در بوته نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین در سطح اول کود شیمیایی، نیتروکسین + فسفات بارور^۲ + تیوباسیلوس، بالاتر از سایر کودهای زیستی و شاهد بود. در سطح دوم کود شیمیایی، کودهای زیستی بر تعداد خورجینک در بوته اثر منفی داشت و سه کود فسفات بارور^۲، تیوباسیلوس و



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد خورجینک در بوته کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 1. Mean comparison of number of silicle per plant of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B₁: بدون تلقیح (شاهد)، B₂: نیتروکسین ، B₃: فسفات بارور^۲، B₄: تیوباسیلوس، B₅: نیتروکسین + فسفات بارور^۲+ تیوباسیلوس
N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀ :C₃ ، N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀ :C₁
B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2);
B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀); C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

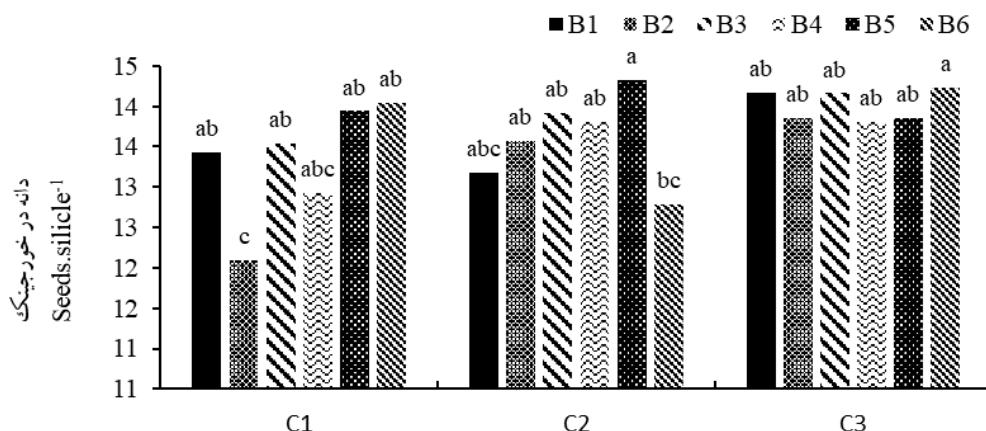
خاک شده و سطح جذب عناصر افزایش یافته و از این طریق باعث افزایش تعداد دانه در خورجینک می‌شود (Patten and Glick., 2006). نتایج نشان داد که وجود باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر با توجه به نقش فسفر در تحریک رشد زیستی و تشکیل دانه، باعث افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود (Hassanzadeh Ghortape & Javadi, 2016). گزارش شده است که مصرف کودهای زیستی همراه با مقدار کاهش یافته از کودهای شیمیایی در گیاه کنجد، باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول شد (Kumar *et al.*, 2009). در آزمایش حاضر اثر کودهای زیستی بر تعداد دانه در خورجینک مثبت بود. مصرف مقادیر مناسب کودهای شیمیایی از طریق بهبود فعالیت کودهای زیستی باعث افزایش تعداد دانه در خورجینک شد. به نظر می‌رسد که کاهش تعداد دانه در خورجینک با مصرف توأم نیتروکسین و فسفات بارور ۲ در سطح سوم کودهای شیمیایی به دلیل ایجاد توازن با سایر اجزای عملکرد دانه باشد.

اثر کودهای زیستی و کودهای شیمیایی و برهمکنش آنها بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سطح دوم کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای زیستی تیوباسیلوس، نیتروکسین+فسفات بارور ۲ و نیتروکسین+فسفات بارور ۲+تیوباسیلوس باعث افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد. در سطح سوم کودهای شیمیایی، تیمار نیتروکسین+فسفات بارور ۲ باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به سایر کودها در این سطح و سایر سطوح کودهای شیمیایی شد و وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد ۳۰ درصد افزایش یافت (به ترتیب ۱/۷۸ گرم و ۱/۳۸ گرم). در سطح اول کودهای شیمیایی مصرف کودهای زیستی نه تنها تأثیری بر افزایش وزن هزار دانه نداشت، بلکه در تیمارهای نیتروکسین و تیوباسیلوس به ترتیب ۱۹ و ۳۰ درصد کاهش وزن هزار دانه مشاهده شد (شکل

۱۰). اثر کودهای شیمیایی بر تعداد دانه در خورجینک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و اثر کود زیستی و برهمکنش کود شیمیایی و کود زیستی غیرمعنی‌دار بود. بین کودهای زیستی در سطح دوم و سوم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح سوم کودهای شیمیایی بین کودهای زیستی و تیمار بدون مصرف کودهای زیستی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تعداد دانه در خورجینک در سطح دوم کود شیمیایی و نیتروکسین+فسفات بارور ۲ (۱۴/۳ عدد) نسبت به شاهد (۱۳/۱ عدد)، نه درصد بیشتر بود. در مجموع باکتری‌های زیستی اثر محسوسی بر تعداد دانه در خورجینک نداشتند (شکل ۲). کمترین تعداد دانه در خورجینک ۱۲/۱ عدد در تیمار کود زیستی نیتروکسین و سطح اول کود شیمیایی به دست آمد که نشان‌دهنده اثر منفی این تیمار روی تعداد دانه در خورجینک بود. تعداد دانه در خورجینک ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخازن بزرگ‌تری برای دریافت مواد فتوستراتزی بوده و افزایش آن باعث افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Hasani Balyani *et al.*, 2020). با توجه به اینکه کاهش یکی از اجزای عملکرد معمولاً باعث افزایش سایر اجزای عملکرد شده و تحت تأثیر خاصیت جبرانی اجزای عملکرد می‌شود و از آنجاکه وزن هزار دانه معمولاً کمتر دچار تغییر می‌شود، بیشترین تغییر در تعداد دانه در خورجینک مشاهده می‌شود. نتایج برخی آزمایش‌ها همبستگی بسیار بالایی بین عملکرد دانه و تعداد دانه در خورجینک را نشان داده است (Mehnaz and Lazarovits, 2006). بنابراین به نظر می‌رسد که مصرف کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرك رشد و تلفیق آنها، با فراهمی عناصر مهم غذایی و ریزمندی‌ها باعث بهبود تعداد دانه در خورجینک شد. باکتری‌های محرك رشد با افزایش رشد ریشه از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید، باعث اشغال حجم بیشتری از

(براساس آزمون خاک) اثر مثبتی بر وزن هزار دانه کلزا دارد (Faraji and Arzanesh, 2013).

۳). گزارش شده است که استفاده از باکتری آزوسپریلوم همراه با ۵۰ درصد کود کامل شیمیایی

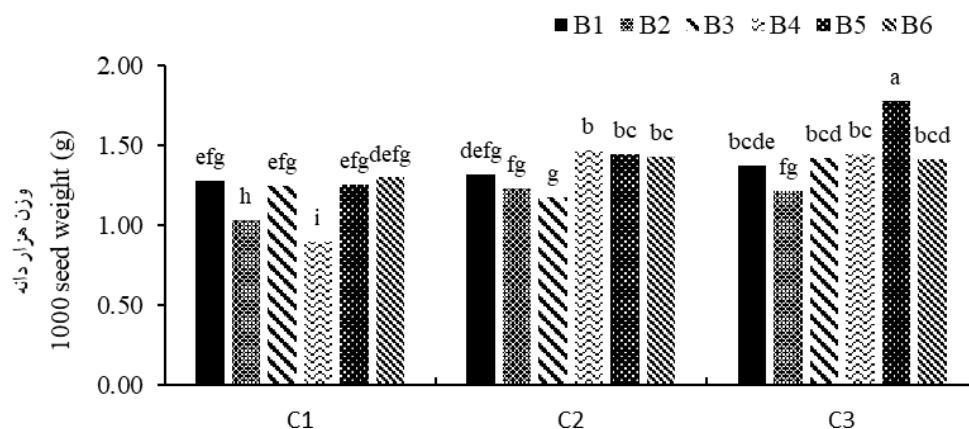


شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک کاملینا در برهمکنش یمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 2. Mean comparison of number of seeds per plant of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین ، B3: فسفات بارور، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور، B6: نیتروکسین + فسفات بارور + تیوباسیلوس
N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀:C3 ، N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀:C2 ، N₀-P₀-K₀-S₀:C1

B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀; C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن هزار دانه کاملینا در برهمکنش یمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 3. Mean comparison of 1000 seed weight of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

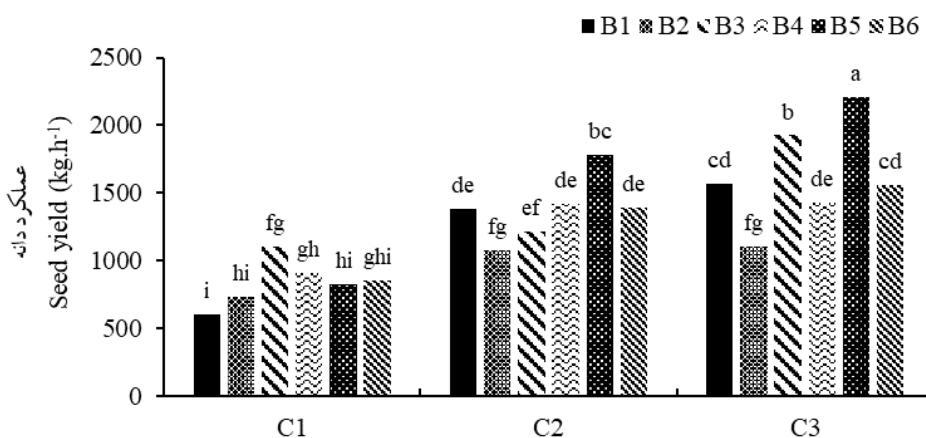
B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین ، B3: فسفات بارور، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور، B6: نیتروکسین + فسفات بارور + تیوباسیلوس
N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀:C3 ، N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀:C2 ، N₀-P₀-K₀-S₀:C1

B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀; C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

در خاک و افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد می‌شود. مصرف این باکتری‌ها در خاک، تأثیر بیشتری در افزایش حاصلخیزی خاک داشت (Kaur and Reddy, 2014). گزارش شده است که مصرف کودهای زیستی باعث افزایش ۱۳ درصدی عملکرد دانه گلرنگ شد (Mohsen Nia and Jalilian, 2011). میرزاپور و همکاران (Mirzapour *et al.*, 2018) نیز گزارش کردند که با مصرف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس در زراعت کلزا، علاوه بر کاهش اسیدیته و افزایش قابلیت دسترسی فسفر، روی و آهن خاک، بیشترین عملکرد دانه به دست آمد. نتایج یک آزمایش نشان داد که گیاه کاملینا به مصرف مقادیر بالای نیتروژن واکنش مثبت دارد (Jang and Claude, D. Caldwell, 2016).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد داشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کودهای زیستی در سطوح مختلف کود شیمیایی باعث افزایش عملکرد زیستی نسبت به شاهد شد. در سطح اول کود شیمیایی بالاترین عملکرد زیستی مربوط به تیمار فسفات بارور ۲ و در سطح دوم و سوم کود، بالاترین عملکرد زیستی مربوط به تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور ۲ بود، اما کود زیستی فسفات بارور ۲ در سطح دوم کود شیمیایی اثر کاهنده داشت و مقدار عملکرد زیستی نسبت به شاهد (بدون کود زیستی) به طور محسوسی کاهش یافت، به طوری که بالاترین عملکرد زیستی (۳۱۷۵ کیلوگرم در هکتار) در سطح اول کود شیمیایی (سطح صفر) به ۴۶۳۲ کیلوگرم در هکتار در سطح دوم کود شیمیایی و ۵۸۰۳ کیلوگرم در هکتار در سطح سوم کود شیمیایی و نیتروکسین+ فسفات بارور ۲ رسید. تیوباسیلوس در سطح سوم کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری با سه تیمار فسفات بارور ۲، نیتروکسین+ فسفات بارور ۲ و نیتروکسین+

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها در هر سطح کود شیمیایی و کودهای زیستی، بهویژه نیتروکسین+ فسفات بارور ۲، نشان داد که عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور ۲، باعث افزایش عملکرد دانه در سطوح اول، دوم و سوم کود شیمیایی (به ترتیب ۳۸، ۴۲ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح با کودهای زیستی) شد. تیوباسیلوس نیز در سطح اول کود شیمیایی باعث افزایش ۵۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد، اما در سطح دوم و سوم کود شیمیایی، تفاوت معنی‌داری با سطح صفر کود زیستی یا شاهد مشاهده نشد. کود نیتروکسین نیز در سطح اول کود شیمیایی با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت، اما با افزایش سطح کود شیمیایی، عملکرد دانه نسبت به شاهد یا سطح صفر کود زیستی (به ترتیب در سطح دوم و سوم کود شیمیایی ۲۲ و ۱۸ درصد) کاهش یافت. در مجموع سه سطح کود شیمیایی، بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح سوم کود شیمیایی و نیتروکسین+ فسفات بارور ۲ و کمترین مقدار عملکرد دانه ($\frac{۵۵۳}{۳}$ کیلوگرم در هکتار) در سطح اول کود شیمیایی و سطح صفر کود زیستی به دست آمد (شکل ۴). نتایج یک آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که اجرای آبیاری (علاوه بر بارندگی) و مصرف کود نیتروژن باعث افزایش مقدار محصول و محتوای روغن دانه کاملینا شد (Kevin *et al.*, 2019). گزارش شده است که تلقیح بذر با آزوسپریلوم علاوه بر صرفه‌جویی در کود نیتروژن، در مقایسه با مقدار مشابه کود نیتروژن، باعث رشد بهتر گیاه و افزایش مقدار محصول آن شود. تلقیح بذر گندم و ذرت با باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش فراهمی و جذب فسفر، محتوای کربن آلی، فعالیت آنزیمی و جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 4. Mean comparison of seed yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer

treatments

B₁: بدون تلقیح (شاهد)، B₂: نیتروکسین ، B₃: فسفات بارور ۲، B₄: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B₅: نیتروکسین + فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀ C₁: N₀-P₀-K₀-S₀ C₂: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀ C₃: N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

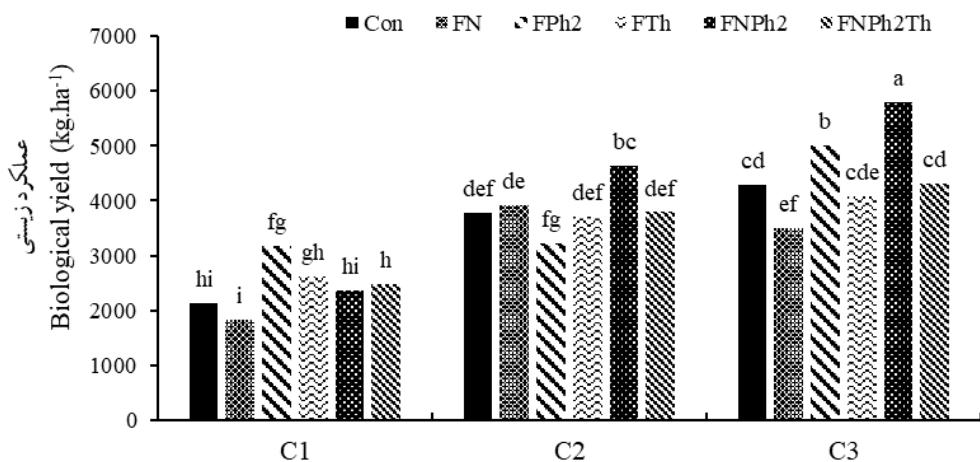
B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀); C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

باعث افزایش عملکرد زیستی گیاه کاملینا نسبت به تیمار شاهد شد. به نظر می‌رسد که تلفیق باکتری‌های محرک رشد و کودهای شیمیایی تأثیر بهتری را نسبت به کود شیمیایی اوره داشتند. این موضوع می‌تواند به دلیل فراهمی نیتروژن و فسفات در فرآیند ثبیت زیستی نیتروژن و افزایش حلالیت فسفات توسط این باکتری‌ها باشد. به علاوه، این باکتری‌ها در فراهم‌سازی سایر مواد غذایی برای گیاه نیز مؤثر هستند (Bakhshaie *et al.*, 2014).

این تأثیر ممکن است به علت افزایش میزان جذب نیتروژن و تولید تریپوفان (پیش‌ساز هورمون اکسین) توسط باکتری‌های کودهای زیستی باشد. اسیدهای آلی آزاد شده از ریز جاندارانی نظیر باسیلوس و سودوموناس نیز علاوه بر فسفر، باعث آزادسازی منگنز، روی، آهن و مینیزیوم از کمپلکس‌های خاک شده و حلالیت فسفات خاک در حضور اسیدهای آلی آلتا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Jones and Darrah, 1996).

فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس نداشت و عملکرد زیستی نسبت به شاهد ۲۳ درصد افزایش یافت، درحالی که در سطح دوم و سوم کود تأثیری بر عملکرد زیستی نداشت. نیتروکسین + فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس اگرچه در سطح دوم و سوم کود شیمیایی با تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری نداشت، اما باعث افزایش عملکرد زیستی (به ترتیب ۶۰۹ و ۲۲۲ درصد) نسبت به تیوباسیلوس شد. فسفات بارور ۲ در سطح دوم کود تفاوت معنی‌داری با تیوباسیلوس و نیتروکسین + فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس نداشت و باعث کاهش عملکرد زیستی به میزان ۱۴/۴۶ درصد شد. درمجموع بیشترین عملکرد زیستی از سطح سوم کود شیمیایی و تیمار نیتروکسین + فسفات بارور ۲ با میانگین ۵۸۰۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار عملکرد زیستی در سطح اول کود و از تیمار نیتروکسین با میانگین ۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۵).

نتایج نشان داد که استفاده از مقداری مختلف کود شیمیایی و تلفیق آن با نیتروکسین و فسفات بارور ۲،



شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد زیستی کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

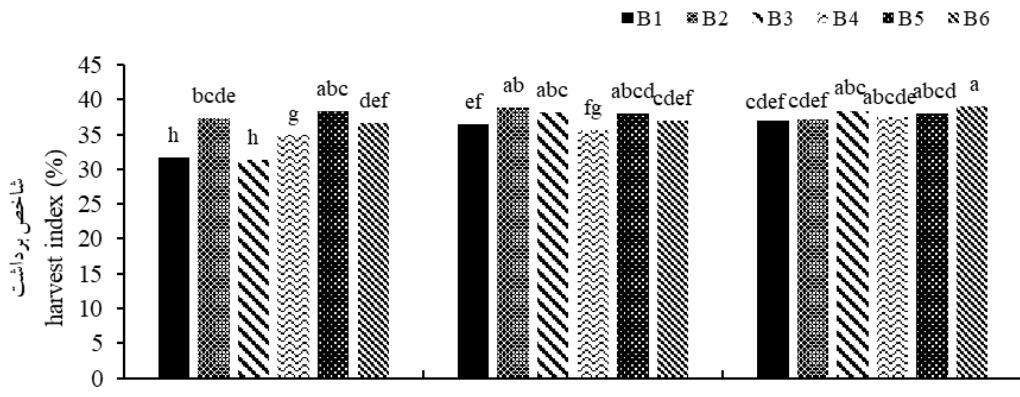
Fig. 5. Mean comparison of biological yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B₁: بدون تلقیح (شاهد)، B₂: نیتروکسین ، B₃: تیوباسیلوس، B₄: فسفات بارور ۲، B₅: نیتروکسین + فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس
N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀ :C₁، N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀ :C₂، N₀-P₀-K₀-S₀ :C₃

B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀); C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

زیستی بالا بود. کمترین مقدار شاخص برداشت (۳۱/۳) درصد) در کود فسفات بارور ۲ و سطح صفر کود شیمیایی و (۳۱/۷) درصد) در شاهد (بدون کود زیستی) و سطح اول کود شیمیایی بدست آمد. افزایش در وزن کل گیاه به وسیله ریزوباکترها در اثر افزایش جذب عناصر غذایی و رشد بهتر گیاه می‌باشد که می‌تواند باعث افزایش شاخص برداشت شود. نتایج سایر آزمایش‌ها نشان داد که تیمارهای کود نیتروژن، تلقیح بذر با باکتری و برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت کلزا اثر معنی‌داری داشت و برهمکنش بین تیمارها نیز نشان داد که با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با باکتری‌های از توباكتر و آزسپريلوم، شاخص برداشت نسبت به شاهد ۶/۲۹ درصد افزایش داشت. استفاده همزمان از باکتری‌های حل کننده فسفات و از توباكتر باعث افزایش بیشتر عملکرد دانه کلزا نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها شد که این موضوع مؤید هم‌افزایی اثر کاربرد توأم کودهای شیمیایی و زیستی است (Hassanzadeh and Javadi, 2014).

شاخص برداشت نشان دهنده توانایی گیاه برای انتقال و اختصاص مواد فتوستنتزی به دانه‌ها است (Kumar *et al.*, 2009) بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده و برهمکنش تیمارهای کودهای شیمیایی و کودهای زیستی زیستی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت کاملینا داشتند. نتایج بررش دهی نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین شاخص برداشت در تیمارهای کودهای زیستی در سطح اول و دوم (در سطح احتمال یک درصد) و سطح سوم (در سطح احتمال پنج درصد) بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار نیتروکسین+فسفات بارور ۲ در هر سه سطح کود شیمیایی باعث افزایش شاخص برداشت شد، اما این افزایش تنها در سطح اول و دوم کود شیمیایی معنی‌دار بود.. نیتروکسین در سطح اول و دوم کود شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت کاملینا شد. میزان افزایش شاخص برداشت در این تیمار در سطح اول و دوم کود شیمیایی به ترتیب ۱۸ و ۶ درصد بود. شاخص برداشت در همین تیمار در مقایسه با شاهد کودهای



شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص برداشت کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 6. Mean comparison of biological harvest index of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B₁: بدون تلقیح (شاهد)، B₂: نیتروکسین ، B₃: فسفات بارور ۲، B₄: نیتروکسین + فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀ (شاهد)، C₁: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀ (N₀-P₀-K₀-S₀)، C₂: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀ (N₀-P₀-K₀-S₀)، C₃: N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

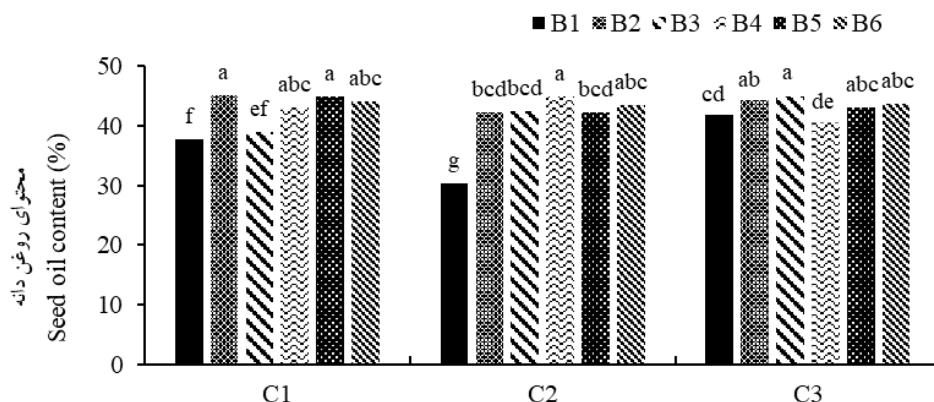
B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀; C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

بدون کود زیستی شد و بیشترین نیزان افزایش ۹۳/۵ درصد) مربوط به تیمار فسفات بارور ۲ و کمترین میزان افزایش (۴۵/۹ درصد) مربوط به نیتروکسین بود. اثر مثبت کود زیستی بر عملکرد روغن در این سطح که مصرف صفر کود شیمیایی صفر بود، کاملاً مشهود بود. در سطح دوم کود شیمیایی، عملکرد روغن نسبت به سطح اول در کلیه تیمارها افزایش داشت. بیشترین میزان افزایش مربوط به تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور ۲ بود که عملکرد روغن آن ۷۱۹/۷ کیلوگرم در هکتار بود. بین تیمار شاهد و نیتروکسین و کود فسفات بارور ۲ تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تیمار تیوباسیلوس در این سطح نیز باعث افزایش عملکرد روغن شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح سوم کود شیمیایی، بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار ترکیبی نیتروکسین+ فسفات بارور ۲ بود که باعث افزایش ۴۵/۶ درصدی عملکرد روغن شد و با سایر تیمارهای آزمایش تفاوت معنی‌داری داشت. در تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس عملکرد روغن افزایش ۱۴/۷ درصدی در مقایسه با شاهد داشت که البته معنی‌دار نبود. سایر تیمارهای کودهای زیستی نیز با

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثرات متقابل کود شیمیایی و کود زیستی روی درصد روغن نشان داد که در سطح اول کود شیمیایی، استفاده از نیتروکسین و کود ترکیبی نیتروکسین+ فسفات بارور ۲، باعث افزایش محتوای روغن به میزان ۱۹/۶ و ۱۹/۰ درصد نسبت به شاهد بدون کود زیستی شد که البته با تیمارهای تیوباسیلوس و نیتروکسین+ فسفات بارور ۲+ تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری نداشتند. در سطح دوم کود شیمیایی، مصرف هر پنج کود زیستی باعث افزایش ۴۸/۲ تا ۳۹/۲ درصدی روغن دانه نسبت به شاهد شدند. در سطح دوم کود شیمیایی، تیمار تیوباسیلوس باعث افزایش بیشتری در محتوای روغن دانه شد. در سطح سوم کود شیمیایی، فقط تیمار تیوباسیلوس باعث کاهش سه درصدی روغن نسبت به شاهد و بدون اختلاف معنی‌دار با آن شد. سایر کودهای زیستی باعث افزایش محتوای روغن دانه شدند و کود فسفات بارور ۲ از این نظر برتری داشت (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد روغن دانه کاملینا در سطح اول کود شیمیایی نشان داد که استفاده از هر پنج کود زیستی باعث افزایش عملکرد روغن نسبت به شاهد

نیتروژن، تولید پروتئین افزایش و ستر روغن کاهش پیدا می‌کند و این موضوع باعث کاهش محتوای روغن دانه و افزایش نسبت پروتئین دانه می‌شود. در آزمایش حاضر نیز به علت بالا بودن عملکرد دانه در یمار ترکیبی نیتروکسین+فسفات بارور^۲، برتری عملکرد روغن مشاهده شد که با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد (Gryndler *et al.*, 2008).

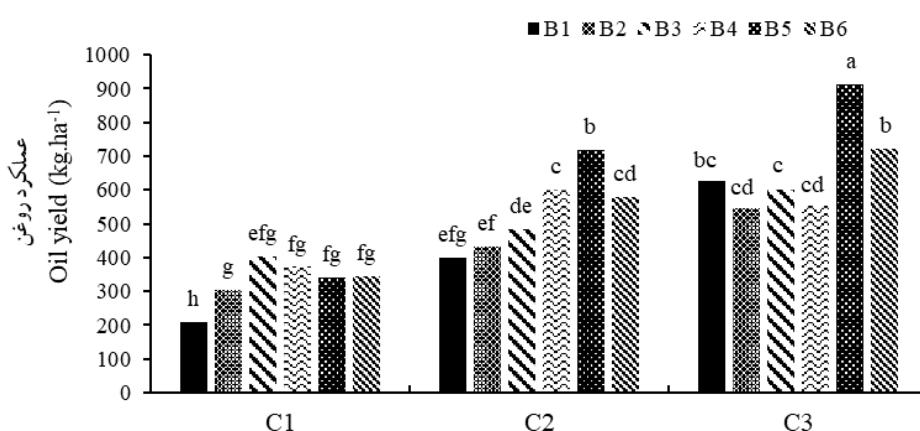
شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به رابطه معکوس محتوای روغن دانه و نیتروژن، افزایش پیش ماده‌های پروتئینی مانند کود نیتروژن، باعث افزایش محتوای پروتئین دانه و کاهش روغن دانه می‌شوند. در همین رابطه نتایج مشابه توسط جانکووسکی (Jankowski *et al.*, 2019) گزارش شده است که با افزایش مصرف کود نیتروژن، محتوای روغن دانه کاملینا کاهش یافت. با افزایش مصرف



شکل ۷- مقایسه میانگین محتوای روغن دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 7. Mean comparison of seed oil content of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B₁: بدون تلقیح (شاهد)، B₂: نیتروکسین ، B₃: فسفات بارور^۲، B₄: نیتروکسین + فسفات بارور^۲+تیوباسیلوس N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀؛ C₁: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀؛ C₂: N₀-P₀-K₀-S₀؛ C₁: B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀; C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀



شکل ۸- مقایسه میانگین عملکرد روغن دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 8. Mean comparison of oil yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B₁: بدون تلقیح (شاهد)، B₂: نیتروکسین ، B₃: فسفات بارور^۲، B₄: نیتروکسین + فسفات بارور^۲+تیوباسیلوس N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀؛ C₁: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀؛ C₂: N₀-P₀-K₀-S₀؛ C₁: B₁, No inoculation (Control); B₂, Nitroxin; B₃, Phosphate (Barvar2); B₄, *Thiobacillus*; B₅, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B₆, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C₁, N₀-P₀-K₀-S₀ (Control); C₂, N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀; C₃, N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀

افزایش فراهمی عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی شده و باعث افزایش عملکرد دانه و محتوای روغن دانه گیاه کاملینا شد و با توجه به نقش آنها در کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌تواند برای استفاده در سطح وسیع مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تأمین هزینه این پژوهش که قسمتی از قرارداد پژوهانه شماره SCU.AA1400.309 می‌باشد، سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کودهای زیستی نیتروکسین+فسفات بارور ۲ در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا نسبت به سایر تیمارهای کودی برتری داشتند. افزایش میزان مصرف کودهای شیمیایی باعث بهبود صفات مربوط به عملکرد گیاه کاملینا شد. به نظر می‌رسد که بین باکتری‌های مورد استفاده در آزمایش حاضر از نظر جذب عناصر غذایی و اثر روی صفات گیاهی کاملینا، رقابت وجود داشته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف تلفیقی کودهای زیستی با کودهای شیمیایی، باعث

References

- Bashan, Y., Holguin, G., and de-Bashan, L. 2004.** *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(8), pp.521–577. <https://doi.org/10.1139/w04-035>
- Bakhshaei, S., Rezvani Moghaddam, P. and Goldani, M. 2014.** The Effects of Nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(3), pp.360-368. [In Persian]. DOI: 10.22067/gsc.v12i3.42211
- Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S. K. and Kaushik, G. 2018.** *Camelina sativa*: An Emerging Biofuel Crop. pp.1-38. In: Hussain C. (Ed.). *Handbook of Environmental Materials Management*. Springer, reference https://doi.org/10.1007/978-3-319-73645-7_110
- Farina, R., Beneduzi, A., Ambrosini, A., de Campos, S. B., Lisboa, B. B., Wendisch, V., Vargas, L. K. and Passaglia, L. M.** 2012. Diversity of plant growth-promoting rhizobacteria communities associated with the stages of canola growth. *Applied Soil Ecology*, 55, pp.44-52. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.12.011>
- Fallah, F., Kahrizi, D., Rezaeizad, A., Zebarjadi, A. R. and Zarei, L. 2019.** Evaluation of genetic variation and parameters of fatty acid profile in doubled haploid lines of *Camelina sativa* L. *Plant Genetic Researches*, 2(6), pp.79-96. [In Persian]. DOR: 10.29252/pgr.6.2.79
- Fallah Nosratabad, A. R. 2012.** Evaluation of relationships between soil properties and total bacteria and fungi in soils of Guilan. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2(2), pp.49-68. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23221267.1391.2.2.3.5
- Faraji, A. and Arzanesh, M. H. 2013.** The response of two rapeseed genotypes to growth-promoting bacteria (*Azospirillum spp.*): yield and components of grain yield, dry matter and harvest index. *Seed and Plant Production Journal*, 29(1), pp.17-29. [In Persian]. DOI: 10.22092/SPPJ.2017.110497

منابع مورد استفاده

- Gryndler, M., Sudova, R., Puschel, D., Rydlova, J., Janouskova, M. and Vosatka, M. 2008.** Cultivation of high-biomass crops on coal mine spoil banks: can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter? *Bioresource Technology*, 99(14), pp.6391-6399. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.059>
- Hasani Balyani, M., Tadayon M. R. and Fadaei Tehran, A. A. 2020.** Evaluation of some growth and yield traits of *Camelina sativa* L. under the influence of biological and chemical fertilizers. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(1), pp.1-14. [In Persian]. DOR: 10.47176/jcpp.10.1.209111
- Hassani, M., Tadayon, M. R., and Fadaei Tehrani, A. A. 2021.** The effect of chemical and biological fertilizers on leaf characteristics, yield and nutrient uptake and consumption efficiency, phosphorus and sulfur in *Camelina sativa* L. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(45), pp.123-140. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.4.2
- Hassanzadeh Ghorttape, A. and Javadi, H. 2016.** Investigating the effects of nitrogen fertilizer application and inoculation with biological fertilizers (*Azospirillum* and *Azotobacter*) on the yield, yield components and oil of spring rapeseed in West Azerbaijan. *Journal of Plant Production and Processing*, 5(18), pp.39-50. [In Persian]. DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.39
- Jankowski, K. J., Sokolski, M. and Kordan, B. 2019.** Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Indutrial Crops and Products*, 141, 111776. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776>
- Jiang, Y., and D. Caldwell, C. 2016.** Effect of nitrogen fertilization on camelina seed yield, yield components, and downy mildew infection. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(1), pp.17-26. <https://doi.org/10.1139/cjps-2014-0348>
- Jones, D. L. and Darrah, P. R. 1996.** Re-sorption of organic compounds by roots of (*Zea mays* L.) and its consequences in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 178, pp.153-160. <https://doi.org/10.1007/BF00011173>
- Kumar, S., Pandey, P. and Maheshwari, D. K. 2009.** Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. *European Journal of Soil Biology*, 45, pp.334-340. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.04.002>
- Kevin, B., Douglas J. H. and Kelly, T. 2019.** Nitrogen fertilizer and irrigation effects on seed yield and oil in camelina. *Agronomy Journal*, 111(4), pp.1712-1719. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0644>
- Kaur, G. and Reddy, M. S. 2014.** Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites. *European Journal of Soil Biology*, 61, pp.35-40. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.12.009>
- Mehnaz, S. and Lazarovits, G. 2006.** Inoculation effects of *Pseudomonas putida*, *Gluconacetobacter azotocaptans*, and *Azospirillum lipoferum* on corn plant growth under greenhouse conditions. *Microbial Ecology*, 51(3), pp.326-335. <https://doi.org/10.1007/s00248-006-9039-7>
- Mohsen Nia, O., and Jalilian, J. 2011.** Effect of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Ecology*, 4(3), pp.235-245. [In Persian]. DOI: 10.22067/JAG.V4I3.15312

- Mirzapour, M. H., Khavazi, K. and Naeini, M. R. 2018.** Effect of sulfur, *Thiobacillus* and phosphorous application on canola yield and some soil chemical characteristics. *Journal of Soil Biology*, 2(5), pp.109-121. [In Persian]. DOI: 10.22092/SBJ.2018.115683
- Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E. and Jeliazkov, D. V. 2015.** Oilseed camelina (*Camelina sativa* L. Crantz): Production systems, prospects and challenges in the USA great plains. *Advance in Plants and Agricultural Research*, 2(2), pp.1-10. <https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043>
- Patten, C. L. and Glick, B. R. 2006.** Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(8), pp.3795-3801. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
- Righini, D., Zanetti, F., Martinez, E., Mandrioli, M., Toschi, T. G. and Monti, A. 2019.** Shifting sowing of camelina from spring to autumn enhances the oil quality for bio-based applications in response to temperature and seed carbon stock. *Industrial Crops and Products*, 137, pp.66-73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.009>
- Shirani Rad, A. H., Jabbari, H. and Dehshiri, A. 2013.** Evaluation of spring rapeseed cultivars response to spring and autumn planting. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3), pp.493-505. [In Persian]. DOI: 10.22067/gsc.v11i3.29755
- Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C. and Wong, M. H. 2005.** Effect of biofertilizer containing N-fixing bacteria, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125(1-2), pp.155-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>
- Yasari, E. and Patwardhan, A. M. 2007.** Effects of *Azotobacter* and *Azospirillum* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Science*, 6, pp.77-82. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.77.82>