

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

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

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 آزمایشی شامل کودهای شیمیایی نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاس (K) و گوگرد (S) در سه سطح (C₁) (N₀-P₀-K₀-S₀) (شاهد)، (C₂) (N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀) و (C₃) (N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀) بودند. کودهای زیستی در شش سطح (عدم تلقیح (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، 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 تفاوت معنی‌داری داشتند. اگرچه کودهای زیستی به تنهایی، در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح)، 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 بهترین تیمار کودی برای افزایش عملکرد و محتوای 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

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می‌باشد

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

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

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

۳- 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. Ayneband³

ABSTRACT

Savari. K., E. Fateh and A. Ayneband. 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 (N₀-P₀-K₀-S₀) (C₁) and (N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀)(C₂) and (N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀)(C₃) and biological fertilizer levels or growth promoting bacteria at six levels included: no inoculation/control (B₁), Nitroxine (B₂), Phosphate (Barvar2) (B₃), *Thiobacillus* (B₄), Nitroxine+Phosphate (Barvar2) (B₅) and Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus* (B₆). 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

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 Ghorttape 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

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 تنش‌های محیطی، بهبود فعالیت‌های زیستی خاک، کاهش غلظت آلاینده‌هایی نظیر کادمیوم و بور و افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (Hasani Balyani et al., 2020).

باکتری‌ها از فراوان‌ترین و مهم‌ترین ریزجانداران خاک هستند که به‌طور 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 به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند، ولی تعداد و تراکم آنها پایین است، بنابراین تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آنها را به حد مطلوب رسانده 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

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 (C₁) (N₀-P₀-K₀-S₀) (شاهد)، (C₂) (N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀) و (C₃) (N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀) بودند. کودهای زیستی در شش سطح (عدم تلقیح (B₁) (شاهد)، نیتروکسین (B₂)، فسفات بارور ۲ (B₃)، باکتری تیوباسیلوس (*Thiobacillus*) (B₄)، نیتروکسین + فسفات بارور ۲ (B₅) و نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس (B₆) بودند. کودهای زیستی شامل نیتروکسین (یک لیتر در هکتار)، فسفات بارور ۲ (۱۰۰ گرم در هکتار)، تیوباسیلوس (پنج کیلوگرم در هکتار) بودند. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی باکتری‌های حل کننده فسفات (*Pseudomonas putida* strain P₁₃) و *Pantoea agglomerans* strain P₅ است که با تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز در اطراف ریشه، باعث آزاد شدن یون فسفات می‌شوند. این کود از شرکت زیست فناور سبز تهیه شد. کود زیستی نیتروکسین حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم است که باعث تثبیت نیتروژن در خاک می‌شوند. بذر گیاه کاملینا رقم سهیل از شرکت دانش‌بنیان بیستون شفا 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 ۱۴۰۱-۱۴۰۰، با هدف نرم کردن خاک و از بین بردن علف‌های هرز یک‌ساله، زمین مورد نظر دیسک زده شد. ابعاد مزرعه ۱۳ × ۳۶ 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.

مصرف 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 کاملینا 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 کاملینا 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 کاملینا در کشور، در این پژوهش اثر مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر، گوگرد و کودهای زیستی بر عملکرد دانه و محتوای روغن دانه گیاه کاملینا مورد توجه بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ 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، مقدار بارندگی سالیانه بر اساس میانگین بلندمدت ۲۰۲ میلی‌متر بوده است. میانگین رطوبت نسبی روزانه هوا ۴۲ درصد و میانگین دمای سالانه ۲۶/۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. قبل از اجرای آزمایش و در زمان آماده‌سازی زمین، از نقاط مختلف مزرعه آزمایشی از عمق صقر تا ۳۰ سانتیمتری خاک نمونه‌برداری 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	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس Available K (mg.kg ⁻¹)
لومی-شنی Loamy-Sandy	2.5	0.42	7.63	0.08	11	156

برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد انتخاب شدند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۹۰-۸۵ درصد دانه‌های خورجینک‌ها به رنگ قهوه‌ای متمایل 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 برداشت‌شده از هر کرت، ۱۰ عدد خورجینک جدا و تعداد بذرهاى آنها شمارش شدند. برای محاسبه وزن هزار دانه، از دانه‌های برداشت‌شده 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 بنتونیت‌دار) 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 به‌صورت پایه (۱۴۰۰/۰۸/۱۵) و ۵۰ درصد دیگر در دو مرحله گلدھی (۱۴۰۰/۱۱/۱۵) و ظهور اولین خورجینک‌ها (۱۴۰۰/۱۱/۳۰) به خاک داده شدند. جهت تلقیح بذرهاى کاملینا با کودهای زیستی، بذرها به شش قسمت (به تعداد تیمارها) تقسیم و هر قسمت با کود زیستی موردنظر به‌صورت بذرمال تیمار شدند.

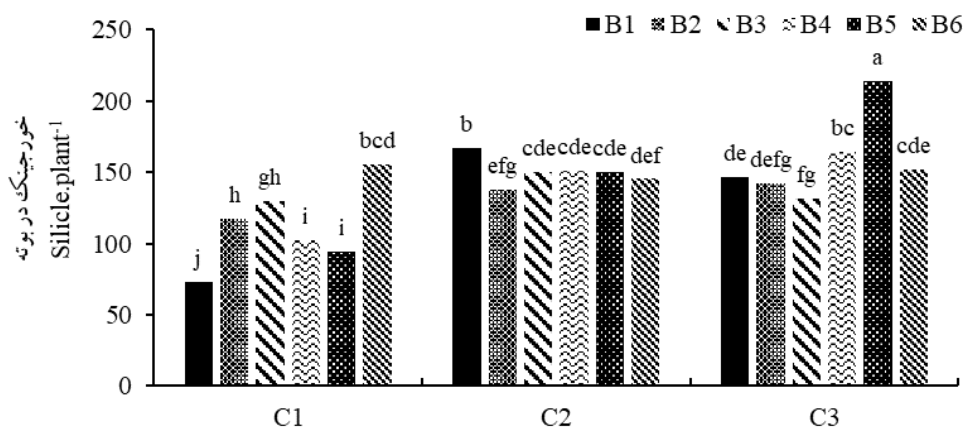
در مرحله رسیدگی محصول (۱۴۰۱/۳/۳)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه)، عملکرد زیستی، میزان روغن دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت محصول، از بوته‌های برداشت‌شده هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی

(نسخه ۹/۱) محاسبه شد.

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 تأثیر گذار بر عملکرد دانه است (Jankowski *et al.*, 2019). نتایج مختلفی از نظر میزان تأثیر پذیری 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 پاتوردان (Yasari and Patwardhan, 2007) نیز اثر مثبت کودهای زیستی ازتوباکتر 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 ۲۱۳/۸ 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

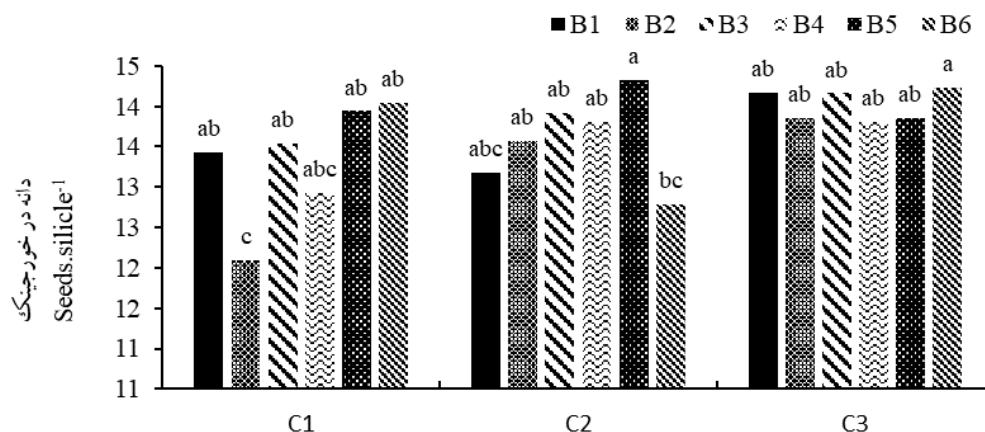
B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین، B3: فسفات بارور ۲، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس
C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، C2: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀، C3: N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀
B1, No inoculation (Control); B2, Nitroxin; B3, Phosphate (Barvar2); B4, *Thiobacillus*;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

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 (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 به‌دست 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 فتوسنتزی 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 آنجا که 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 محرک رشد و تلفیق آن‌ها، با فراهمی عناصر مهم غذایی و ریزمغذی‌ها باعث بهبود تعداد دانه در خورجینک شد. باکتری‌های محرک رشد با افزایش رشد ریشه از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید، باعث اشغال حجم بیشتری از

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 زایشی و تشکیل دانه، باعث افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود (Hassanzadeh Ghorttape & Javadi, 2016). گزارش شده است که مصرف کودهای زیستی همراه با مقدار کاهش یافته از کودهای شیمیایی در گیاه کنگد، 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.

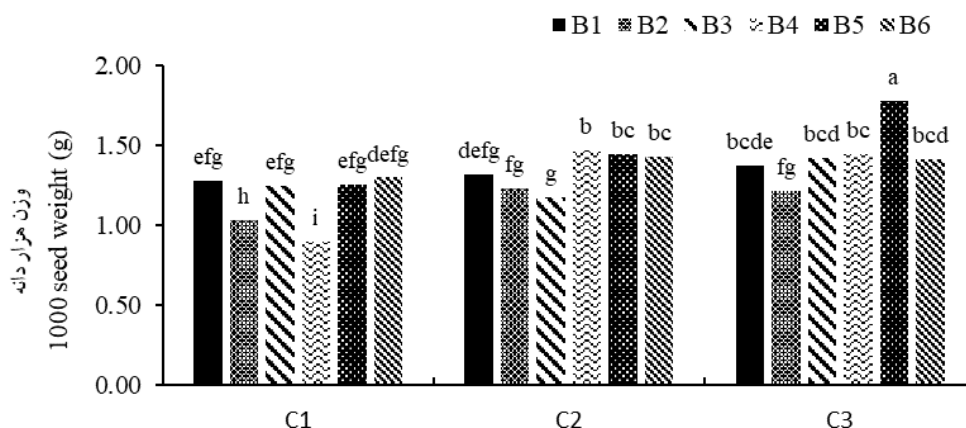
اثر کودهای زیستی و کودهای شیمیایی و برهمکنش آن‌ها بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سطح دوم کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای زیستی تیوباسیلوس، نیتروکسین + فسفات بارور ۲ و نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس باعث افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد 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

۳. گزارش شده است که استفاده از باکتری آزو سبیریلوم همراه با ۵۰ درصد کود کامل شیمیایی (براساس آزمون خاک) اثر مثبتی بر وزن هزار دانه کلزا دارد (Faraji and Arzanesh, 2013).



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک کاملینا در برهمکنش تیمارهای 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 ۲، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس
C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، 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



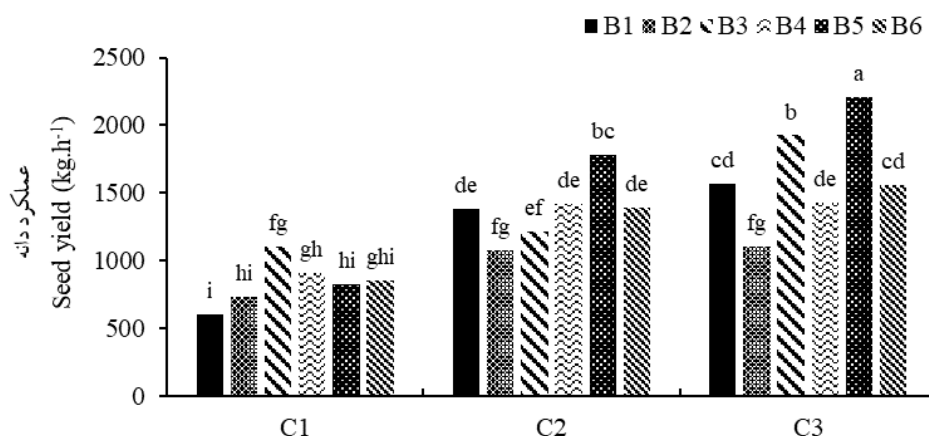
شکل ۳- مقایسه میانگین وزن هزار دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی
Fig. 3. Mean comparison of 1000 seed weight of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین، B3: فسفات بارور ۲، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس
C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، 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

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، ۲۹ 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 (۵۵۳/۳ کیلوگرم در هکتار) در سطح اول کود شیمیایی و سطح صفر کود زیستی به‌دست 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

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 به‌دست 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 سطوح 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) به‌طور محسوسی کاهش یافت، به‌طوری‌که 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+



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

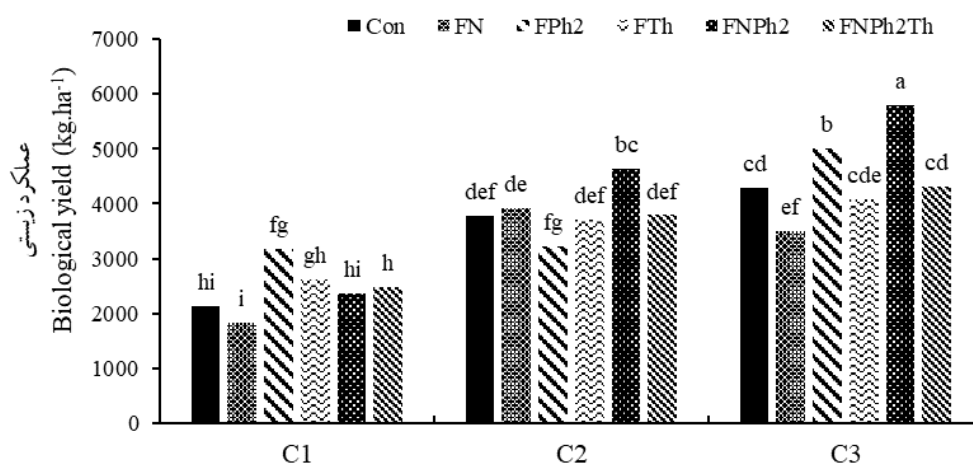
Fig. 4. Mean comparison of seed yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer

treatments

B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین، B3: فسفات بارور ۲، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: تیوباسیلوس + فسفات بارور ۲، C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، 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 تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش حلالیت فسفات توسط این باکتری‌ها باشد. به علاوه، این باکتری‌ها در فراهم‌سازی سایر مواد غذایی برای گیاه نیز مؤثر هستند (Bakhshae et al., 2014). این تأثیر ممکن است به علت افزایش میزان جذب نیتروژن و تولید تریپتوفان (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 منیزیم از کمپلکس‌های خاک شده و حلالیت فسفات خاک در حضور اسیدهای آلی تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Jones and Darrah, 1996).

فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس نداشت و عملکرد زیستی نسبت به شاهد ۲۳ درصد افزایش یافت، در حالی که در سطوح 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 ۶/۰۹ و ۲/۲۲ 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. در مجموع 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 مقادیر مختلف کود شیمیایی و تلفیق آن با نیتروکسین و فسفات بارور ۲،



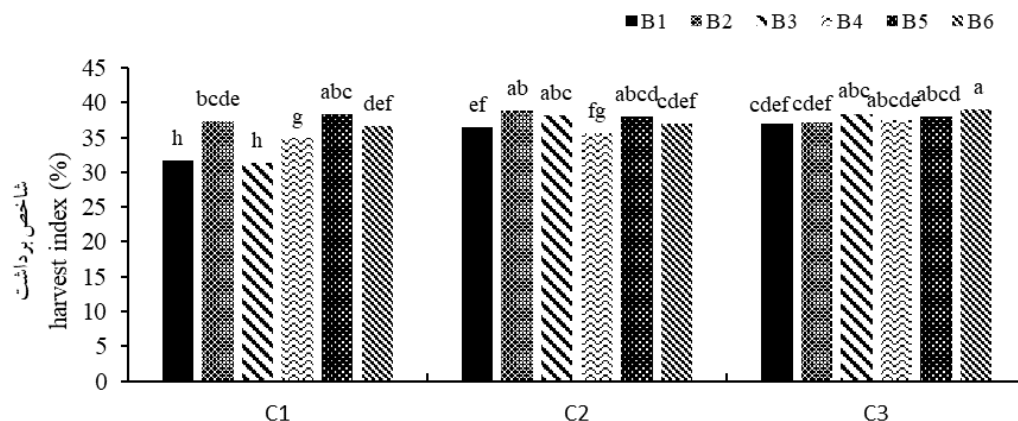
شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد زیستی کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

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

B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین، B3: فسفات بارور ۲، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس
C1: N0-P0-K0-S0 (شاهد)، 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

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 به دست آمد. افزایش در وزن کل گیاه به وسیله ریزوباکترها در اثر افزایش جذب عناصر غذایی و رشد بهتر گیاه می باشد که می تواند باعث افزایش شاخص برداشت شود. نتایج سایر آزمایش ها نشان داد که تیمارهای کود نیتروژن، تلقیح بذر با باکتری و برهمکنش آن ها بر شاخص برداشت کلزا اثر معنی داری داشت و برهمکنش بین تیمارها نیز نشان داد که با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با باکتری های ازتوباکتر و آزرسیلوم، شاخص برداشت نسبت به شاهد ۶/۲۹ درصد افزایش داشت. استفاده هم زمان از باکتری های حل کننده فسفات و ازتوباکتر باعث افزایش بیشتر عملکرد دانه کلزا نسبت به مصرف جداگانه آن ها شد که این موضوع مؤید هم افزایی اثر کاربرد توأم کودهای شیمیایی و زیستی است (Hassanzadeh and Javadi, 2014).

شاخص برداشت نشان دهنده توانایی گیاه برای انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه ها 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 معنی داری بر شاخص برداشت کاملینا داشتند. نتایج برش دهی نشان دهنده تفاوت معنی دار 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 میانگین ها 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 معنی دار بود. نیتروکسین در سطح اول و دوم کود شیمیایی باعث افزایش معنی دار 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

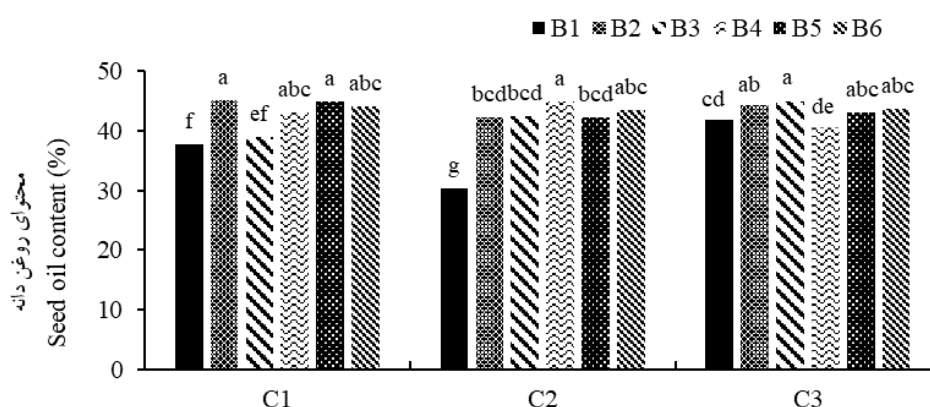
B1: بدون تلقیح (شاهد)، B2: نیتروکسین، B3: فسفات بارور ۲، B4: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس
C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، C2: N₅₀-P₅₀-K₄₀-S₁₀₀، C3: N₁₀₀-P₁₀₀-K₈₀-S₂₀₀
B1, No inoculation (Control); B2, Nitroxin; B3, Phosphate (Barvar2); B4, *Thiobacillus*;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

بدون کود زیستی شد و بیشترین میزان 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 معنی داری داشت. در تیمار نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس عملکرد روغن افزایش ۱۴/۷ درصدی در مقایسه با شاهد داشت که البته معنی دار 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 ۱۹/۰۹ درصد نسبت به شاهد بدون کود زیستی شد که البته با تیمارهای تیوباسیلوس و نیتروکسین + فسفات بارور ۲ + تیوباسیلوس تفاوت معنی داری نداشتند. در سطح دوم کود شیمیایی، مصرف هر پنج کود زیستی باعث افزایش ۳۹/۲ تا ۴۸/۲ 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 معنی دار 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

نیترژن، تولید پروتئین افزایش و سنتز 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 تیمار ترکیبی نیتروکسین + فسفات بارور ۲، برتری عملکرد روغن مشاهده شد که با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد (Gryndler *et al.*, 2008).

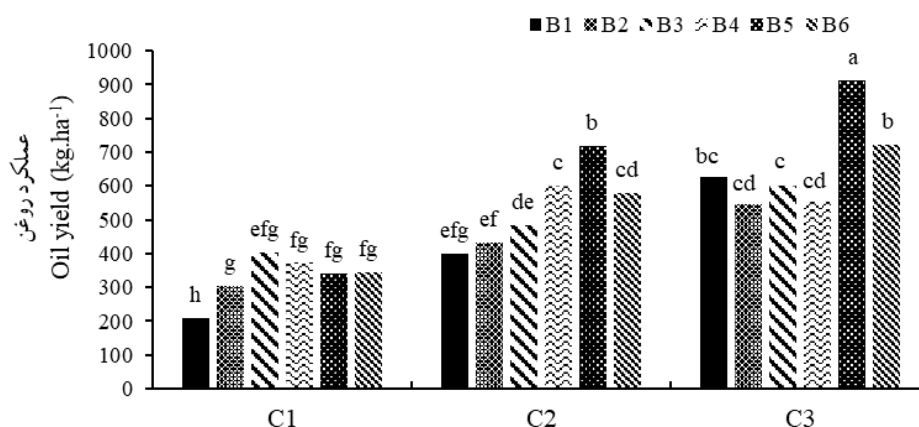
شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به رابطه معکوس محتوای روغن دانه و نیترژن، افزایش پیش ماده‌های پروتئینی مانند کود نیترژن، باعث افزایش محتوای پروتئین دانه و کاهش روغن دانه می‌شوند. در همین رابطه نتایج مشابه توسط جانکووسکی (Jankowski *et al.*, 2019) گزارش شده است که با افزایش مصرف کود نیترژن، محتوای روغن دانه کاملاً 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: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: تیوباسیلوس + نیتروکسین + فسفات بارور ۲. C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، 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



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: تیوباسیلوس، B5: نیتروکسین + فسفات بارور ۲، B6: تیوباسیلوس + نیتروکسین + فسفات بارور ۲. C1: N₀-P₀-K₀-S₀ (شاهد)، 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

نتیجه گیری

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 می رسد که بین باکتری های 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

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، می تواند 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 می باشد، سپاسگزاری می شود.

منابع مورد استفاده

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>
- Bakhshaie, 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

- 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? *Bioresorce 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 multilocal 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 Jeliakov, 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 Product*, 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-fixers, 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>