Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Improving quantitative and qualitative yield of canola by *Pseudomonas fluorescens* accompanied with chemical fertilizer

Mozhgan Sadeghi[1], Mohsen Movahhedi Dehnavi[2*], Alireza Yadavi[3], Hooshang Farajee[4]

[1] MSc Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: mozh.sadeghii1845@gmail.com
[2] Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Movahhedi1354@yu.ac.ir
[3] Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Yadavi@yu.ac.ir
[4] Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: H.Farajee@yu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/10/16
Revised: 2022/12/21
Accepted: 2023/02/09

Keywords:
Biological fertilizer
Canola
Pseudomonas
Oil
Yield

ABSTRACT

Background and objectives: Canola (*Brassica napus* L.) is one of the important oil plants in temperate regions, which has great value for humans and livestock as a producer of oil and meal. Phosphorus plays an important role in improving the quality and quantity of oilseeds, including rapeseed. Sufficient sources of phosphate are needed by the plant for earlier development and rooting and more foliage production in a short period of time. Considering the stabilization of phosphorus in the soil, the increase in the price of chemical fertilizers and environmental pollution, the use of biological fertilizers, especially the types of phosphorus-dissolving bacteria, play an important role in solving these problems. Therefore, the objective of this research was to investigate the role of phosphorus biofertilizer containing *Pseudomonas fluorescens* bacteria in improving the quantitative and qualitative yield of canola under the influence of chemical phosphorus fertilizer management.

Materials and methods: A factorial field experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the research station of the Faculty of Agriculture of Yasouj University located in Deshtrum region in 2019. The first factor was triple superphosphate fertilizer at 6 levels (zero, 25, 50, 75, 100 and 125 kg/ha of pure phosphorus) and the second factor included phosphorus biological fertilizer containing *Pseudomonas fluorescens* bacteria at two levels (application and non-application). The traits of yield components, seed and biological yield, and seed oil and protein were evaluated. The traits of yield components, seed and biological yield, and seed oil and protein were evaluated. Yield components, seed and biological yield, and seed oil and protein were evaluated.

Results: The results showed that phosphorus and bacteria chemical fertilizers had a significant effect on all investigated traits. The interaction of phosphorus chemical fertilizer and bacteria was also significant on all investigated traits except harvest index. The highest

plant height (124.93 cm), number of lateral branches (4), leaf chlorophyll index (74.20), seed yield (5887 kg/ha) and biological yield (19411.4 kg/ha) were obtained in the treatment of 125 kg/ha of phosphorus and bacterial application. Also, with the consumption of 125 kg/ha of phosphorus fertilizer and the use of bacteria, the highest percentage and oil yield was obtained. Also, the results showed that there is no significant difference between the treatment of application of 50 kg of phosphorus fertilizer + bacteria and the treatments of application of higher levels of phosphorus fertilizer (75, 100 and 125 kg) alone.

Conclusion: Considering the superiority of 125 kg of phosphorus fertilizer along with bacteria in terms of grain yield, oil percentage and oil yield, it seems that these amounts of phosphorus fertilizer as well as the use of bacteria can be used to achieve proper yield in the experimental and also similar areas. Also, the results show that using bacteria can reduce the consumption of phosphorus chemical fertilizers.

Cite this article: Sadeghi, M., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A.R. Farajee H. 2023. Improving quantitative and qualitative yield of canola by Pseudomonas fluorescens accompanied with chemical fertilizer. *Crop Production Journal*, 16 (1), 153-176.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.20606.2533
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تـولیـد گیـاهـان زراعـی
شـاپـا چـاپـی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳

بهبود عملکرد کمی و کیفی کلزا با استفاده از باکتری *Pseudomonas fluorescens* به همراه کود شیمیایی فسفره

مژگان صادقی[۱]، محسن موحدی‌دهنوی[۲*]، علیرضا یدوی[۳]، هوشنگ فرجی[٤]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج،یاسوج، ایران، رایانامه: mozh.sadeghii1845@gmail.com
[۲] استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: movahhedi1354@yu.ac.ir
[۳] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه:yadavi@yu.ac.ir
[٤] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: h.Farajee@yu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۷/۲٤
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۹/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۱/۲۰

واژه‌های کلیدی:
روغن
عملکرد
کلزا
Pseudomonas

چکیده

سابقه و هدف: کلزا (*Brassica napus* L.)، یکی از گیاهان مهم در مناطق معتدل است که به‌عنوان تولیدکننده روغن و کنجاله ارزش فراوانی برای انسان و دام دارد. فسفر در بهبود کیفیت و کمیت دانه‌های روغنی از جمله کلزا نقش مهمی دارد. منابع کافی فسفات برای توسعه و ریشه‌دهی زودتر و تولید شاخساره بیش‌تر در مدت زمان کوتاه مورد نیاز گیاه است. با توجه به تثبیت این عنصر مغذی در خاک، افزایش قیمت و آلودگی محیط زیست ناشی از کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای زیستی به ویژه انواع باکتری‌های حل‌کننده فسفر نقش مهمی در رفع اینگونه مشکلات دارند. لذا هدف از این پژوهش بررسی نقش کود زیستی فسفره حاوی باکتری *Pseudomonas fluorescens* در بهبود عملکرد کمّی و کیفی کلزا تحت تأثیر مدیریت کود فسفره شیمیایی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج واقع در منطقه دشتروم در سال ۱۳۹۹ انجام شد. عامل اول کود سوپرفسفات‌تریپل در ٦ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص) و عامل دوم شامل کود زیستی فسفره حاوی باکتری *Pseudomonas fluorescens* در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) بودند. صفات اجزای عملکرد، عملکرد دانه و زیستی و روغن و پروتئین دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کود شیمیایی فسفره و باکتری تأثیر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد بررسی داشت. برهم‌کنش کود شیمیایی فسفره و باکتری نیز بر تمام صفات مورد بررسی به‌جز شاخص برداشت معنی‌دار بود. بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۲٤/۹۳ سانتی‌متر)، تعداد شاخه جانبی (٤)، شاخص کلروفیل برگ (۷٤/۲۰)، عملکرد دانه (۵۸۸۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۱۹٤۱۱/٤ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و کاربرد باکتری به‌دست آمد. همچنین، با مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و کاربرد باکتری بیش‌ترین

درصد و عملکرد روغن حاصل شد. همچنین، نتایج نشان داد در اکثر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری بین تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفره + باکتری با تیمارهای کاربرد سطوح بالاتر کود فسفره (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم) به‌تنهایی وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به برتری سطح ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره به‌همراه باکتری از لحاظ عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن چنین به نظر می‌رسد که این مقادیر کود فسفره و همچنین کاربرد باکتری برای حصول عملکرد مناسب در منطقه مورد آزمایش و مناطق مشابه قابل پیشنهاد باشد. همچنین، نتایج نشان داد که با کاربرد باکتری می‌توان مصرف کودهای شیمیایی فسفره را کاهش داد.

استناد: صادقی، م.، موحدی‌دهنوی، م.، یدوی، ع.ر.، فرجی، ه. (۱٤۰۲). بهبود عملکرد کمی و کیفی کلزا با استفاده از باکتری *Pseudomonas fluorescens* به همراه کود شیمیایی فسفره. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱٦ (۱)، ۱۷٦-۱۵۳.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20606.2533

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

با افزایش جمعیت و بهبود سطح تغذیه و جایگزین شدن روغن نباتی به‌جای روغن حیوانی نیاز به توسعه کمی و کیفی دانه‌های روغنی رو به افزایش است (۱). گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی و از تیره چلیپائیان بوده که به‌دلیل قابلیت کشت در نقاط مختلف، درصد بالای روغن، کیفیت مناسب روغن (درصد اسیدهای چرب غیراشباع بیش از ۹۰) و نیز استفاده از کنجاله آن در تغذیه دام، مورد توجه قرار دارد (۲). دانه‌های ریز و کروی شکل کلزا به‌طور متوسط دارای ٤٠ تا ٤٥ درصد روغن بوده و محتویات روغن و پروتئین دانه کلزا در ارقام مختلف متفاوت است و ترکیبات دیگری مانند گلوکوزینولات‌ها، فنل‌ها، اسید فیتیک، سلولز و قندها نیز در دانه‌های کلزا یافت می‌شود (۳). ریشه‌های خوشه‌ای (Cluster roots) کلزا سبب مقاومت این گیاه به کمبود فسفر می‌شود. نیاز کلزا به فسفر بیش‌تر از گندم و جو بوده و بخش اعظم فسفر دانه‌های آن در آندوسپرم قرار دارد (٤). میزان سطح زیر کشت و تولید کلزا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در ایران به ترتیب ۱۸۳٤۳۱ هکتار و ۲۹۵۱۲۳ تن و در استان کهگیلویه و بویر احمد ۱۸۸۱ هکتار با تولید ۲۵۵۲ تن گزارش شده است (۵).

مدیریت مصرف عناصر غذایی از جمله عواملی است که در کنار مدیریت مصرف آب، عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از عناصر پرمصرف و مورد نیاز گیاهان فسفر است. فسفر دومین عنصر محدودکننده بعد از نیتروژن در تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود که به دلیل تثبیت این عنصر در خاک، کمبود آن در بسیاری از خاک‌ها مشاهده می‌شود (٦). فسفر پس از جذب توسط گیاهان، نقش بارزی در فرآیند تولید و انتقال انرژی ایفا می‌کند و برای ساختن ترکیبات مختلفی از جمله نوکلئوتیدها، فسفولیپیدها، قندهای فسفردار و سایر ترکیبات فسفردار جهت انجام فعالیت فیزیولوژیکی گیاه استفاده می‌شود. میزان فسفر در دسترس گیاهان به‌وسیله عواملی نظیر اسیدیته خاک، کاتیون‌های محلول و تبادلی آهن، کلسیم و منیزیم و نوع ذرات خاک کنترل می‌شود (۷). برخی از پژوهش‌گران اهمیت کود فسفر بر صفات کلزا را گزارش کرده‌اند. پژوهش‌گران بیش‌ترین مقادیر در انواع کلروفیل (a، b و ab) گیاه کلزا را در تیمار کودی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر مشاهده کردند (۸). نتایج بررسی میرزاشاهی و نورقلی‌پور (۲۰۱٦) بر کلزا نشان داد که با استفاده از ١٦ کیلوگرم فسفر در هکتار عملکرد دانه به میزان ۲۸۵٦ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (۹). صفری عربی و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که کاربرد کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل با سطوح ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن هزار دانه گیاه کلزا در مقایسه با عدم مصرف کود فسفره افزایش یافت (۱۰). وانگ و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده نمودند با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم کود فسفره در هکتار بیش‌ترین درصد روغن دانه (٤٦/۷۰ درصد) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد ۹۰ کیلوگرم کود فسفره (٤٦/۲٦ درصد) نشان نداد (۱۱).

سودوموناس‌ها از فراوان‌ترین باکتری‌ها در خاک‌های کشاورزی هستند که مهم‌ترین آن‌ها *Pseudomonas fluorescens* می‌باشد. باکتری‌های سودوموناس توانایی زیادی در افزایش کارایی جذب فسفر داشته و به‌دلیل وسعت انتشار، تنوع گونه‌ای و مقاوم بودن در برابر تنش‌های محیطی، از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید گیاهان زراعی برخوردارند (۱۲). باکتری‌های سودوموناس گیاه به دو صورت غیر مستقیم و مستقیم بر رشد و نمو گیاهان اثر مفید دارند. در حالت غیر مستقیم، کاهش یا جلوگیری از

اثرات مضر پاتوژن‌های گیاهی توسط این باکتری‌ها از طریق رقابت برای کلونیزاسیون و اشغال فضاهای مناسب بر روی بافت ریشه، رقابت برای جذب عناصر غذایی مثل آهن از طریق تولید سیدروفورها، تولید و ترشح برخی متابولیت‌ها مثل آنتی بیوتیک‌ها و آنزیم‌ها می‌باشد (۱۳). از سوی دیگر در حالت مستقیم، باکتری‌های سودوموناس از طریق حل کردن فسفات‌های نامحلول، تثبیت نیتروژن، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورها، تولید تنظیم کننده‌های گیاهی مثل اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین و کم کردن اتیلن باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند (۱٤). به‌طور کلی، از بین باکتری‌ها، جنس متعلق به *Pseudomonas* قادر به حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول معدنی می‌باشد که از طریق انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی قابلیت جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهد (۱۵). وروکوندا و همکاران (۲۰۱٦) اظهار داشتند که تلقیح گیاهان با باکتری‌های حل‌کننده فسفات *Bacillus* spp. می‌تواند فسفر تثبیت شده در خاک را حل کند و به فرم فسفر قابل مصرف درآورد و در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد را افزایش دهد (۱٦). در پژوهشی مشاهده شد مصرف کودهای زیستی نیتروکسین + فسفاته بارور۱ (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفاته باسیلوس لنتوس و پسودوموناس پوتیدا) موجب افزایش تعداد دانه در ساقه و وزن دانه در بوته کتان روغنی شد (۱۷). پژوهش‌گران نتیجه گرفتند کاربرد کودهای زیستی از طریق افزایش توسعه ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه می‌شود (۱۸).

با توجه به نیاز بالای کلزا به کودهای فسفره و در عین حال اثرات مثبت کودهای زیستی در کاهش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و انحلال فسفات‌های نامحلول، استفاده از این ترکیبات می‌تواند به عنوان راهکاری در افزایش توسعه کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد گیاهان نقش مهمی ایفا کنند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف کاهش مصرف کودهای فسفره با بررسی اثر کود زیستی حاوی باکتری *Pseudomonas* بر عملکرد کمی و کیفی کلزا تحت تأثیر مقادیر مختلف کود فسفره شیمیایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در منطقه دشتروم واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان بویراحمد از استان کهگیلویه و بویراحمد با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳٤ دقیقه عرض شمالی، و ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۲۰۹۵ متر از سطح دریا انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار پیاده شد. کود شیمیایی فسفره در ٦ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص (P_2O_5) از منبع سوپرفسفات‌تریپل) به‌عنوان عامل اول و کود زیستی فسفره حاوی باکتری باکتری *Pseudomonas* در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) به‌عنوان عامل دوم بودند. رقم مورد استفاده، نپتون، از ارقام زمستانه مناسب مناطق معتدل سرد و سرد بود. در مرحله‌ی آماده‌سازی زمین پیش از کاشت، نمونه‌های مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی تهیه شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the soil.

بافت خاک (درصد) Soil texture	رس (درصد) Clay(%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand(%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon(%)	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن (درصد) N (%)	اسیدیته pH
لوم سیلتی	۲۲	۵۲	۲۲	۰/۹	۱۳۹	۱۲	۰/۰۷	۷/۲۳

هر کرت آزمایش دارای طول ۳ متر، عرض ۱/۸ متر و شامل ۳ پشته به فاصله ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود. روی هر پشته دو ردیف کشت صورت گرفت. بین هر دو کرت یک پشته نکاشت در نظر گرفته شد. میزان کود سوپرفسفات تریپل بر اساس سطوح مشخص شده در تیمارها توزیع شد. کود فسفره با ایجاد یک شیار در وسط ردیف در عمق ۱۰ سانتی‌متری اعمال شد. همچنین، کود سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با کود فسفره در شیار ایجاد شده اعمال گردید. کود نیتروژنه (٤۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره) در سه مرحله به صورت سرک همراه با آب آبیاری اعمال گردید. یک سوم آن در هنگام آبیاری سوم و یک سوم آن در هنگام شروع ساقه‌دهی و یک سوم دیگر در هنگام شروع غلاف‌دهی اعمال گردید. برای استفاده از باکتری، بذرها با باکتری *Pseudomonas fluorescens* با تراکم سلولی ۲×۱۰^{۷} CFU/ml تهیه شده از شرکت فن‌آوری زیستی طبیعت‌گرا آغشته و کشت انجام گرفت. اولین آبیاری بعد از کاشت در تاریخ ۱۸ شهریور ماه صورت گرفت. دومین آبیاری جهت تسریع در سبزشدن دو روز بعد از کاشت انجام گرفت. پس از آن بر اساس نیاز گیاه، درجه حرارت و شرایط جوی هر ۷ تا ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. عملیات دفع علف‌های هرز به صورت وجین دستی سه مرتبه در طی مراحل مختلف رشد گیاه انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی پنج بوته در مرحله غلاف‌بندی (چهارم تیرماه ۱۳۹۹) به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها برای هر کرت لحاظ شد. جهت اندازه‌گیری شاخص سبزینگی (SPAD)، در زمان گلدهی از هر بوته ۵ برگ انتخاب و میزان سبزینگی با دستگاه SPAD-502 ساخت شرکت مینولتا کشور ژاپن قرائت شد و میانگین آن‌ها به عنوان شاخص سبزینگی یادداشت شد. اجزای عملکرد مورد بررسی تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (ششم شهریور ۱۳۹۹) دو مترمربع از هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. درصد روغن دانه به‌وسیله دستگاه سوکسله با استفاده از پترولیوم بنزین محاسبه شد (۱۹).

از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن به‌دست آمد. درصد نیتروژن دانه از روش نووزاموسکی و همکاران (۱۹۷٤) اندازه‌گیری شد (۲۰) سپس درصد پروتئین دانه، از طریق حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه گیاه در عدد ٦/۲۵، محاسبه شد (۲۱). از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین دانه، عملکرد پروتئین به‌دست آمد. در نهایت تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها به‌روش LSD در سطح ۵ درصد انجام شد. جهت رسم شکل‌های مربوطه از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

برهم‌کنش کود فسفره و باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، شاخص کلروفیل، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و و زن هزار دانه در کلزا معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود فسفره و باکتری بر برخی صفات کلزا.

Table 1- Analysis of variance (mean squares) of the effect of phosphorus fertilizer and bacteria on some canola characteristics.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches per plant	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در خورجین Number of seed per pod	وزن هزار دانه 1000 seeds weight
تکرار Replication	2	4.94^{ns}	0.09^{ns}	0.04^{ns}	0.88^{ns}	0.21^{ns}	0.02**
کود فسفره (P) Phosphorus fertilizer (P)	5	1189.21**	7.83**	175.2**	414.66**	67.69**	2.32**
باکتری (B) Bacteria (B)	1	312.70**	3.18**	96.62**	844.87**	22.59**	0.90**
کود فسفره × باکتری P×B	5	27.25**	0.24*	4.92**	18.22**	2.14**	0.11**
خطا Error	24	3.12	0.11	1.18	1.28	0.30	0.005
ضریب‌تغییرات(درصد) C. V (%)		1.69	13.11	1.61	3.48	2.86	2.70

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

^{ns}, *, ** Show non-significant, significant at 5% and 1% probability level, respectively.

ارتفاع بوته: بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۲٤/۹۳ سانتی‌متر) از تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار + باکتری *Pseudomonas fluorescens* حاصل شد که با تیمار مصرف ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار + عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* اختلاف ۵/۳۹ درصدی نشان داد. همچنین، کم‌ترین ارتفاع بوته (۷۹/۲٦ سانتی‌متر) از تیمار عدم کاربرد کود فسفره و باکتری *Pseudomonas fluorescens* حاصل شد که با تیمار عدم کاربرد کود فسفره + کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* اختلاف ۵/۷٦ درصد نشان داد (شکل ۱). همچنین، نتایج نشان داد تا سطح کاربرد ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار اثر باکتری مشهودتر بود و پس از آن در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار تفاوت معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد باکتری وجود نداشت.

مصرف مقادیر بالاتر کودهای شیمیایی با گسترش سطح ریشه و جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی، رشد رویشی گیاه را تحریک کرده که در نتیجه دوره رشد رویشی افزایش می‌یابد (۲۲). در نتایج حاصل از آزمایش یوسف‌پور و همکاران (۲۰۱۳) روی گیاه آفتابگردان مشاهده شد با افزایش کود شیمیایی فسفره، ارتفاع گیاه افزایش یافته است. آن‌ها بیان داشتند با کاربرد کود فسفره سطح برگ و سطح فتوسنتز کننده گیاه افزایش و میزان آسیمیلات‌هایی را که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، افزایش می‌دهد و در نهایت ارتفاع گیاه به واسطه تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها افزایش می‌یابد که نتایج این پژوهش با آن هم‌سو بود (۲۳).

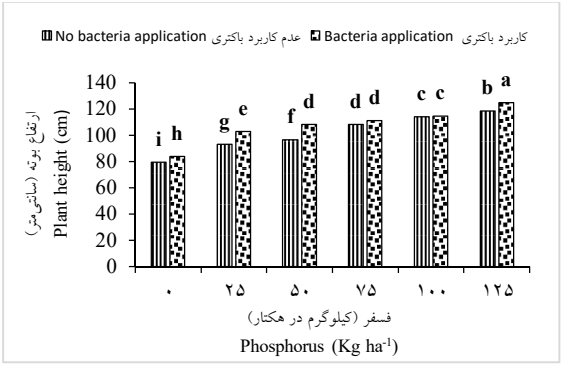
ارتفاع بیش‌تر در گیاهان نشان‌دهنده سطح فتوسنتزکننده و تولید مواد متابولیکی بیش‌تر است که موجب افزایش عملکرد در گیاه می‌شود. اثر باکتری *Pseudomonas fluorescens* بر افزایش رشد ساقه و ریشه به تولید اکسین و جیبرلین تعمیم داده می‌شود (۲٤). بهبود ارتفاع گیاه با کاربرد کودهای زیستی به این دلیل است که باکتری‌های محرک رشد ریشه مواد مغذی بیش‌تری را برای گیاه فراهم و تولید اکسین را تحریک کرده و مانع از تولید اتیلن می‌شوند، بنابراین با حذف این ماده، مقدار اتیلن در گیاه کاهش‌یافته و به تبع آن، از اثرات منفی آن بر ارتفاع کاسته می‌شود (۲۵).

تعداد شاخه جانبی: در شرایط کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* با افزایش سطوح کود فسفره، تعداد شاخه جانبی روند افزایشی نشان داد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی (٤/۸۰) در تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم فسفره در هکتار و کم‌ترین آن (۱/۲٦) از تیمار عدم کاربرد کود فسفره به‌دست آمد که با یکدیگر اختلاف ۲/۸ برابری نشان دادند (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که در شرایط عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی (٤ عدد) از تیمار مصرف ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار و کم‌ترین آن از تیمار عدم مصرف کود فسفره (۰/۹) مشاهده شد (شکل ۲).

جزایری و همکاران (۲۰۱۹) اظهار نمودند که افزایش شاخه جانبی را می‌توان به رشد بیش‌تر اندام هوایی در تیمار مصرف کود فسفره نسبت داد. به‌گونه‌ای که با کاربرد کود فسفره به‌دلیل جذب و انتقال بهتر مواد غذایی پرمصرف مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم به گیاه و نقش این عناصر در رشد و توسعه گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی افزایش می‌یابد (۲٦). در پژوهشی کاربرد کود شیمیایی فسفره باعث افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاه کلزا شد (۲۷). اثرات مثبت باکتری‌های محرک رشد در افزایش انتقال عناصر غذایی و همچنین بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد پرورده در مخازن گیاه باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در بوته شده است. از طرفی، افزایش سطح سبز فتوسنتز کننده موجب تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک کننده رشد به مریستم جانبی را بیش‌تر کرده، در نتیجه، مجموعه این عوامل باعث تحریک بیش‌تر مریستم جانبی و افزایش تولید شاخه‌های فرعی در شرایط استفاده از باکتری محرک رشد می‌گردد (۲۸). افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاهان با کاربرد کودهای زیستی می‌تواند به‌دلیل افزایش در ارتفاع بوته و در نتیجه رشد رویشی بیش‌تر در گیاه باشد که حاصل بهبود جذب مواد غذایی نظیر فسفر، گوگرد و نیتروژن است. شاخه‌های جانبی چون منتهی به سرشاخه‌های گلدار می‌شوند، در نهایت اثر مثبتی در بالارفتن عملکرد دانه دارد (۲۹). در پژوهشی بر گیاه سویا گزارش شده است که باکتری‌های سودوموناس فلورسنس علاوه بر تأثیر بر ریشه‌زایی و رشد ریشه، تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی و رشد اندام‌های هوایی داشت (۳۰).

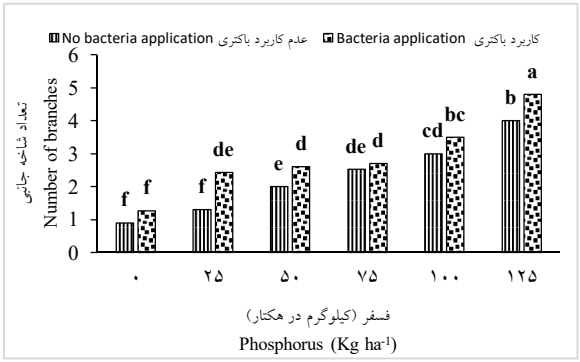
شاخص کلروفیل: بیشترین شاخص کلروفیل به‌میزان ۷٤/۲۰ به‌ترتیب در تیمارهای استفاده از ۱۲۵ و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره در هکتار به‌همراه کاربرد باکتری حاصل شد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند و کم‌ترین شاخص کلروفیل با میانگین ۵۸/۵٦ در تیمار عدم استفاده کود فسفره و عدم استفاده باکتری *Pseudomonas fluorescens* حاصل شد که با تیمار کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* + عدم کاربرد کود فسفره تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۳). مشخص شد در تیمار استفاده از باکتری + ۵۰ کیلوگرم کود فسفره در هکتار تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم کاربرد باکتری +

کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره وجود ندارد. می‌توان بیان نمود با کاربرد باکتری +۵۰ کیلوگرم کود فسفره به نتایجی نزدیک به کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره به تنهایی دست یافت و از این می‌توان تا حد ممکن استفاده از کود شیمیایی را کاهش داد.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای ارتفاع بوته در کلزا.

Figure 1- Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for plant height in canola.



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای تعداد شاخه جانبی در کلزا.

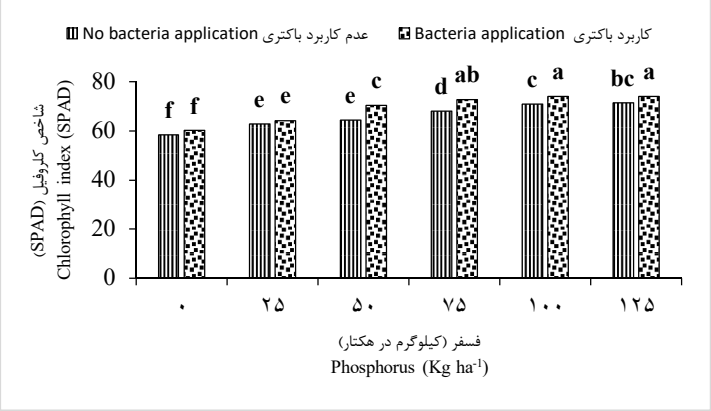
Figure 2- Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for number of branches in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

بالا بودن میزان کلروفیل با مصرف کود فسفر، می‌تواند به‌دلیل وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان کوددهی شده باشد. فسفر به‌عنوان حامل انرژی در طی فرآیند فتوسنتز عمل می‌نماید. جذب بالاتر مواد غذایی مانند فسفر، آهن و روی باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ می‌شود (۳۱). کود شیمیایی فسفر می‌تواند موجب دسترسی بیش‌تر گیاه به نیتروژن شود، به همین دلیل جذب و انتقال نیتروژن به برگ‌ها افزایش یافته و در نتیجه سنتز کلروفیل بیش‌تر می‌شود (۲۳). در همین راستا رشیدی و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده نمودند کود فسفره به‌میزان ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلروفیل برگ ماش را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۲۰/۷۵ درصد و ۳۰/۰۹ درصد افزایش دادند (۳۲).

باکتری‌های محرک رشد توانایی تولید اکسین و قابلیت انحلال فسفات‌های معدنی و تولید سیدروفور را دارند، به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با استفاده از سازوکارهای ذکر شده در بالا بردن شاخص کلروفیل برگ مؤثر باشد. باکتری‌های حلال‌ساز فسفات موجب بهبود در جذب فسفر و افزایش رشد ریشه می‌شود. افزایش رشد ریشه نیز موجب افزایش تولید کلروفیل از طریق بهبود جذب عناصری مانند منیزیم، منگنز و روی می‌گردد (۳۳). در آزمایش لشکری و همکاران (۲۰۲۱) تلقیح گیاه ختمی با باکتری *Pseudomonas fluorescens* شاخص کلروفیل برگ را نسبت به تیمار بدون کاربرد باکتری شد (۳٤).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای شاخص کلروفیل در کلزا.

Figure 3 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for chlorophyll index in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

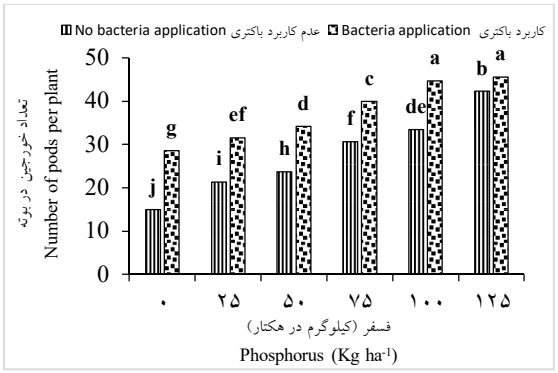
تعداد خورجین در بوته: بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب با میانگین‌های ٤٥/٥٣ و ١٥ مربوط به تیمارهای کاربرد ١٢٥ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه باکتری *Pseudomonas fluorescens* و تیمار عدم کاربرد کود فسفره و باکتری *Pseudomonas fluorescens* بود که با یکدیگر اختلاف ٢/٠٣ برابری نشان دادند. همچنین، بین تیمارهای کاربرد ١٢٥ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌همراه باکتری *Pseudomonas fluorescens* و کاربرد ١٠٠ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه باکتری *Pseudomonas fluorescens* از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ٤).

تعداد خورجین در بوته را می‌توان یکی از اجزای مهم تشکیل‌دهنده عملکرد دانه به‌حساب آورد، به این دلیل که در برگیرنده تعداد دانه‌ها و نیز تولیدکننده مواد پرورده مورد نیاز برای افزایش وزن دانه‌ها است (٣٥). به نظر می‌رسد کاربرد کود شیمیایی فسفره از طریق بهبود در میزان مواد غذایی در دسترس گیاه در خاک موجب افزایش گیاه به مواد غذایی می‌شود. در همین راستا در پژوهش توجه و همکاران (٢٠١٤) بر گیاه کلزا با افزایش سطح کاربرد فسفر، افزایش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته مشاهده شد (٢٧). باکتری‌های حلال‌ساز فسفر موجب ترشح اسید و آنزیم‌های فسفاتاز می‌شوند که از طریق افزایش جذب عناصر غذایی نظیر فسفر، آهن و روی و افزایش آن‌ها در برگ، باعث ساخت کلروفیل بیش‌تر می‌شود و از طریق بهبود فرایند فتوسنتز باعث افزایش رشد رویشی و تعداد غلاف در بوته می‌شوند (١٦). آرگاو (٢٠١٢) مشاهده نمود که تعداد غلاف در بوته گیاه سویا در تیمارهای کاربرد *Pseudomonas fluorescens* به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای عدم کاربرد افزایش یافت. وی تعداد غلاف در بوته را مهم‌ترین جزء عملکرد در تعیین میزان نهایی عملکرد دانه معرفی نمود (٣٦). در این پژوهش نیز بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* بوده است.

تعداد دانه در خورجین: بیشترین تعداد دانه در خورجین (٢٣/٩١) از تیمار کاربرد ١٢٥ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ١٢٥ کیلوگرم فسفر در هکتار و عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* (٢٣/٦٨) نشان نداد. کم‌ترین تعداد دانه در خورجین نیز از تیمار عدم کاربرد کود فسفره و

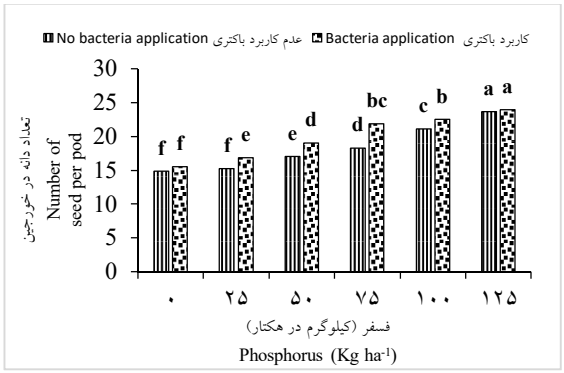
باکتری *Pseudomonas fluorescens* با میانگین ۱۴/۸۵ به‌دست آمد که با تیمار عدم کاربرد کود فسفره و کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* و همچنین تیمار کاربرد ۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار و عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۵).

در این پژوهش، مصرف کود فسفره در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* موجب افزایش تعداد دانه در خورجین شد. توجه و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که استفاده از کود فسفر باعث افزایش تعداد دانه در خورجین در کلزا شد (۲۷). استفاده از باکتری‌های محرک رشد، با فراهمی برخی مواد غذایی مهم از جمله نیتروژن و فسفر و ریزمغذی‌ها سبب بهبود صفت تعداد دانه در خورجین می‌شوند (۳۷). همچنین باکتری *Pseudomonas fluorescens* با افزایش رشد ریشه از طریق تولید هورمون‌های گیاهی همانند ایندول استیک اسید باعث اشغال حجم بیش‌تری از خاک شده و سطح جذب افزایش یافته (۳۸) و از این طریق نقش مثبتی در افزایش تعداد دانه در خورجین ایفا می‌کنند.



شکل ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای تعداد خورجین در بوته در کلزا.

Figure 4- Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for number of pods per plant in canola.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای تعداد دانه در خورجین در کلزا.

Figure 5- Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for number of seed per pod in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

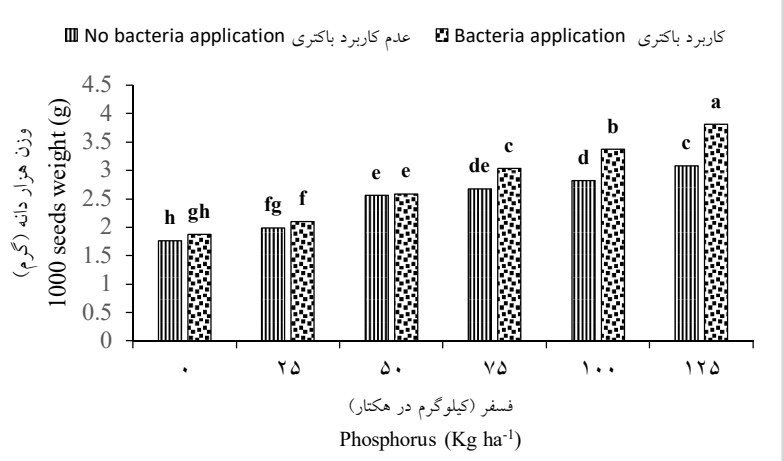
Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

وزن هزار دانه: کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه باکتری، بیش‌ترین وزن هزار دانه (۳/۸۱ گرم) را تولید کرد و در مقایسه با تیمار عدم کاربرد فسفر + عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens*، وزن هزار دانه را ۵۰/۶۵ درصد افزایش داد (شکل ٦). اثر معنی‌دار و مثبت باکتری از تیمار ۷۵ کیلوگرم فسفر به بالا بیشتر مشهود است.

وزن هزار دانه تحت تأثیر جریان مواد فتوسنتزی بعد از گرده افشانی قرار دارد. این مواد می‌توانند از فتوسنتز جاری گیاه و یا انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه‌ها، برگ‌ها و یا غلاف‌ها تأمین شوند و وزن هزار دانه یکی از اجزا اصلی عملکرد دانه کلزا بوده و کاهش یا افزایش آن می‌تواند نقش زیادی در کاهش یا افزایش عملکرد دانه داشته باشد (۳۹). با افزایش میزان فسفر محلول در گیاه، ذخیره فیتین بذر افزایش می‌یابد و نقش مهمی در اندازه و وزن بذر دارد. گزارش شده است که افزایش سطح فسفر موجب افزایش وزن هزار دانه در گیاه کلزا شد (۲۷). باکتری *Pseudomonas fluorescens* با تولید یک سری از مواد (مانند فیتوهورمون‌ها، سیدروفور، آنزیم ACC-دآمیناز و...) با تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط توسط گیاه، باعث افزایش رشد گیاه و وزن هزار دانه

می‌شود (٤٠). نتایج پژوهش رضایی چیانه و دباغ محمدی (٢٠١٣) نیز نشان داد که وزن هزاردانه گیاه دارویی زنیان در تیمار تلفیقی کودهای شیمیایی با زیستی نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد.

بنابراین باکتری‌های محرک رشد به‌عنوان تولیدکننده هورمون‌های محرک رشد می‌توانند در افزایش وزن هزاردانه باشند (٤١).



شکل ٦- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای وزن هزار دانه در کلزا.

Figure 6 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for 1000 seeds weight in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

عملکرد دانه: برهم‌کنش کود فسفره و باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین در کلزا معنی‌دار شد اما برهم‌کنش آن‌ها برای شاخص برداشت کلزا معنی‌دار نشد (جدول ٢). در شرایط کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* با افزایش سطوح فسفر، عملکرد دانه نیز افزایش یافت به‌گونه‌ای که بیش‌ترین عملکرد دانه (٥٨٨٧ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد ١٢٥ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد که با تیمار عدم کاربرد کود فسفره اختلاف ٦/٢ برابری نشان داد (شکل ٧). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که در شرایط عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* بیشترین عملکرد دانه (٣٦٠٣/١ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کاربرد ١٢٥ کیلوگرم کود فسفره در هکتار حاصل شد که با سطح عدم کاربرد کود فسفره اختلاف ٤/٩ برابری مشاهده شد (شکل ٧). افزایش مصرف کود فسفره به واسطه افزایش قدرت رویشی و زایشی گیاه، اجزای عملکرد و تولید بذر بیش‌تر موجب افزایش عملکرد دانه در کلزا می‌شود. همچنین، می‌توان گفت که فسفر از عناصر ضروری غذایی است که باعث ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی در گیاه، تسریع در رشد و رسیدگی محصول و افزایش گلدهی می‌گردد، به‌همین دلیل تأثیر مستقیمی بر عملکرد دانه گیاه دارد و وجود آن به مقدار کافی و در حد نیاز جهت بالا بردن عملکرد دانه، ضروری است (٤٢). وانگ و همکاران (٢٠٢١) در پژوهشی روی کلزا مشاهده کردند کاربرد کود فسفره در سطح ١٢٠ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم کاربرد شد (١١). افزایش عملکرد دانه به‌واسطه افزایش مصرف فسفر در گیاه گلرنگ بهاره (٤٣) نیز گزارش شده است. در این پژوهش نیز فسفر از طریق افزایش رشد شاخه‌های جانبی (شکل ٢) و تعداد غلاف‌های گیاه (شکل ٤) عملکرد دانه را افزایش داده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود فسفره و باکتری بر صفات عملکردی در کلزا.

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of the effect of phosphorus fertilizer and bacteria on yield traits in rapeseed.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت HI	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
تکرار Replication	2	1360.65^{ns}	1241868.1^{ns}	10.18^{ns}	1.53^{ns}	1992.32^{ns}	0.04^{ns}	18.77^{ns}
کود فسفره (P) Phosphorus fertilizer (P)	5	14949515.09**	118544715.2**	238.12**	228.79**	2191269.39**	413.39**	2340828.12**
باکتری (B) Bacteria (B)	1	21554771.42**	170188418.6**	58.06**	1509.32**	6292535.60**	224.68**	3646764.58**
کود فسفره × باکتری P×B	5	1063170.29**	6126280.3**	17.67^{ns}	16.11**	404478.89**	8.84**	307197.78**
خطا Error	24	16333.7	889304.6	10.81	1.59	1341.60	1.34	3382.12
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		4.69	9.69	12.16	4.23	3.91	4.34	6.72

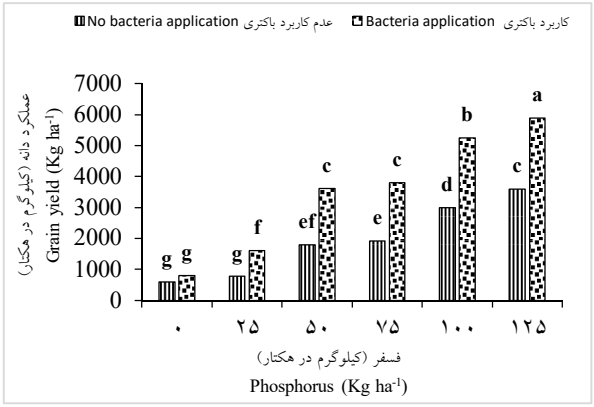
* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

^{ns},*, ** Show non-significant, significant at 5% and 1% probability level, respectively.

حلالیت فسفات‌های غیرقابل حل توسط میکروارگانیزم‌ها بواسطه تولید اسیدهای آلی، کلات کردن اگزواسیدها از قندها و واکنش‌های تبادلی در محیط رشد ریشه افزایش یافته، که این واکنش‌ها از سازوکارهای این میکروارگانیزم‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه می‌باشد (٤٤). همانند نتایج پژوهش حاضر، رضاپورکویشاهی و همکاران (٢٠١٤) گزارش دادند بیش‌ترین عملکرد دانه لوبیا قرمز محلی با کاربرد سویه ١٦٨ باکتری حل‌کننده فسفات سودوموناس پوتیدا به‌دست آمد (٤٥). کاربرد تیمارهای باکتری *Pseudomonas fluorescens* با افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه گیاه کلزا شد.

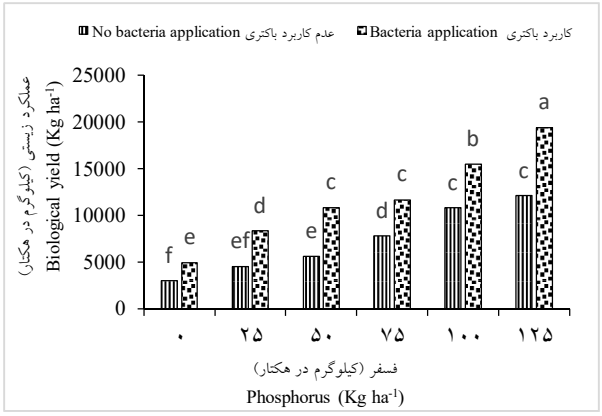
عملکرد زیستی: کم‌ترین میزان عملکرد زیستی در سطح عدم مصرف فسفر و باکتری *Pseudomonas fluorescens* با ٢٩٨٠/٢ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و با مصرف فسفر در سطح ١٢٥ کیلوگرم در هکتار به‌همراه کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* بیش‌ترین عملکرد زیستی به میزان ١٩٤١١/٤ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* عملکرد زیستی به‌صورت روند صعودی افزایش یافت. همچنین، بین تیمارهای کاربرد ٥٠ و ٧٥ کیلوگرم کود فسفره به‌همراه کاربرد باکتری با تیمارهای کاربرد ١٠٠ و ١٢٥ کیلوگرم فسفر و عدم کاربرد باکتری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ٨).

همانطور که اشاره شد، در پژوهش حاضر، مصرف کود فسفره موجب افزایش عملکرد زیستی گیاه کلزا شد که علت آن، دسترسی آسان‌تر ریشه‌ها به فسفات بوده است (٤٦). در پژوهش کاظم علیلو و همکاران (٢٠١٦) با اضافه کردن کود فسفر و افزایش مقادیر آن، عملکرد زیستی آفتابگردان افزایش یافت به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن مربوط به بالاترین سطح کود فسفره بود. آن‌ها نتیجه گرفتند افزایش عملکرد زیستی با توجه به نقش فسفر در ذخیره و انتقال انرژی، فعالیت برخی آنزیم‌ها، فتوسنتز، تنفس سلولی، ساخت ساکاروز و نشاسته، انتقال کربوهیدرات‌ها، همچنین افزایش قطر و طول ریشه، افزایش ریشه‌های خوشه‌ای و سطح تماس ریشه قابل توجیه است (٤٧). تأمین شرایط جدید برای ریزوسفر به کمک تغییر اسیدیته ناشی از اثرات باکتری *Pseudomonas fluorescens*، نه تنها تأمین فسفر قابل جذب را بهبود بخشیده است، بلکه موجب تنظیم رشد برای گیاه شده نیز است (٤٨). باکتری‌های حل‌کننده فسفات به جذب بیش‌تر نیتروژن و فسفر توسط گیاه کمک می‌کنند. بنابراین، با توجه به اثر مثبت نیتروژن و فسفر در عملکرد زیستی و تشکیل گل و دانه‌بندی، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین فسفر کافی برای گیاه، یکی از راهکارهای افزایش عملکرد زیستی محسوب می‌شود. دلیل دیگر را می‌توان به نقش بسیار مهم فسفر در تأمین انرژی در ساختار ATP دانست، زیرا برای تثبیت نیتروژن انرژی زیادی مورد نیاز است (٤٩). افزایش عملکرد زیستی نخود با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر و سطوح فسفر معدنی گزارش شده است که این افزایش می‌تواند به خاطر افزایش فعالیت متابولیکی فسفر در گیاه باشد (٤١). در ارتباط با نقش مثبت باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش شده است که این باکتری‌ها با سنتز هورمون‌های گیاهی باعث افزایش رشد گیاه شده و مراحل اولیه رشد گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در نتیجه ریشه حجم بیش‌تری از خاک را اشغال می‌کند و سطح جذب فسفر افزایش می‌یابد (٥٠).



شکل ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای عملکرد دانه در کلزا.

Figure 7 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for grain yield in canola.



شکل ۸- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای عملکرد زیستی در کلزا.

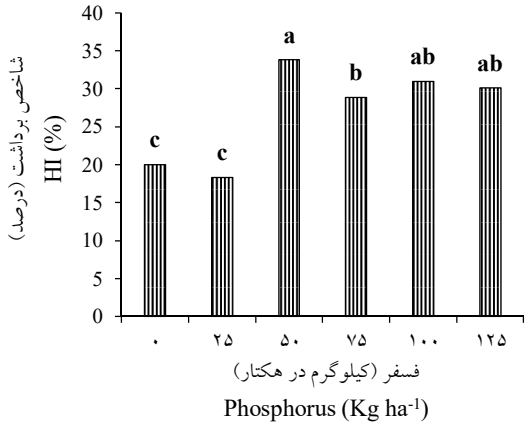
Figure 8 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for biological yield in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

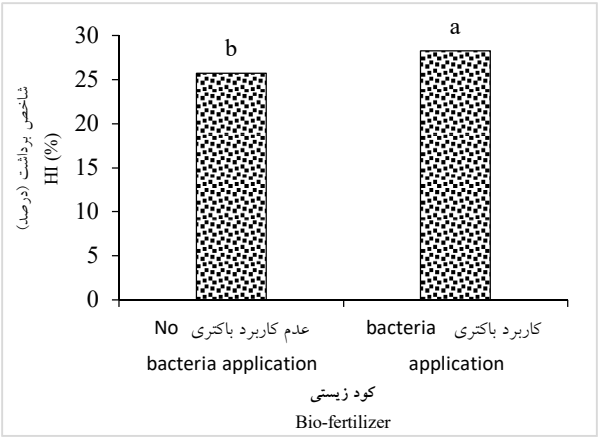
شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای کود فسفره و باکتری هر یک به تنهایی در سطح احتمال خطای یک درصد بر شاخص برداشت در کلزا معنی‌دار شد اما برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیش‌ترین شاخص برداشت (۳۳/۸۰ درصد) از تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و کم‌ترین آن نیز (۱۸/۳۵ رصد) از تیمار کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌دست آمد که با تیمار عدم کاربرد فسفر تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۹). نتایج اثر باکتری *Pseudomonas fluorescens* بر شاخص برداشت نشان داد با کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* شاخص برداشت افزایش یافت، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین درصد شاخص برداشت (۲۸/۲۹ درصد) متعلق به تیمار کاربرد باکتری و کم‌ترین آن (۲۵/۷۵ درصد) از تیمار عدم کاربرد باکتری به‌دست آمد که با یکدیگر اختلاف ۹/۸۶ درصد نشان دادند (شکل ۱۰).

ایجاد تعادل در مصرف عناصر غذایی می‌تواند ضمن افزایش رشد رویشی در رشد زایشی نیز مؤثر باشد. ایجاد مقصد فراوان (دانه)، موجب می‌شود فرآورده‌های فتوسنتزی تولیدی حاصل از رشد رویشی به موقع به دانه‌ها منتقل شده و در نهایت باعث افزایش شاخص برداشت می‌شود (۲۲). به نظر می‌رسد با توجه به افزایش بیش‌تر عملکرد دانه (شکل ۷) نسبت به عملکرد زیستی (شکل ۸) تحت تأثیر سطوح کود فسفره، شاخص برداشت در مقادیر بالاتر کود فسفاته افزایش یافته باشد. در پژوهشی روی گیاه گلرنگ مشاهده شد کاربرد کود زیستی سودوموناس فلورسنس نسبت به تیمار شاهد شاخص برداشت را ۱/۵۵ برابر افزایش داد. آن‌ها بیان نمودند دلیل افزایش شاخص برداشت احتمالا می‌تواند ناشی از افزایش بیش‌تر عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد باکتری سودوموناس فلورسنس نسبت به عملکرد زیستی بوده باشد (۲۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر کود فسفره برای شاخص برداشت در کلزا.

Figure 9 - Mean comparison of the effect of phosphorus fertilizer for harvest index in canola.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر باکتری برای شاخص برداشت در کلزا.

Figure 10 - Mean comparison of the effect of bacteria for harvest index in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

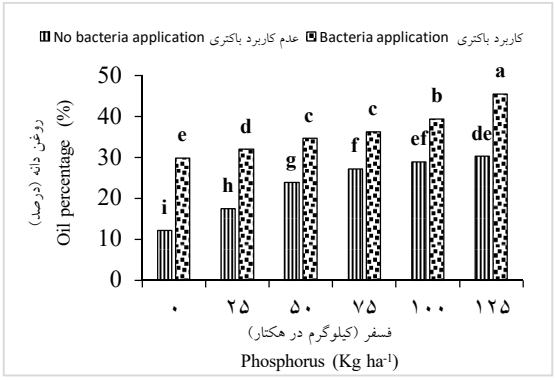
درصد روغن: بیشترین درصد روغن کلزا (٤٥/٤١ درصد) حاصل تلفیق ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار و باکتری *Pseudomonas fluorescens* می‌باشد و کم‌ترین آن نیز (۱۲/۱۷ درصد) از تیمار عدم کاربرد کود فسفره و باکتری *Pseudomonas fluorescens* حاصل شد. همچنین مشاهده شد بین تیمارهای کاربرد ۲۵ کیلوگرم کود فسفره به‌همراه کاربرد باکتری و کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره به‌تنهایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۱). در واقع کاربرد تلفیقی باکتری *Pseudomonas fluorescens* با تمامی سطوح کود شیمیایی فسفره موجب اثر مثبت بر درصد روغن نسبت به عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* شد.

افزایش درصد روغن از اهداف اصلی تولید دانه‌های روغنی است. در پژوهش نصراله‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) بیش‌ترین درصد روغن دانه کنجد در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل مشاهده شد و کم‌ترین درصد روغن دانه نیز به تیمار شاهد تعلق داشت (۵۱).

به نظر می‌رسد اثرات مثبت باکتری *Pseudomonas fluorescens* از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید آسیمیلات بیش‌تر و بهبود رشد شده که در نهایت موجب افزایش درصد روغن دانه کلزا در مقایسه با تیمار عدم تلقیح شده است. این نتایج با نتایج حاصل از بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی به صورت تلفیقی بر عملکرد روغن دانه آفتابگردان که اثر افزایشی معنی‌داری داشتند (۲۳)، مطابقت دارد. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی در افزایش درصد روغن کلزا نسبت به کودهای شیمیایی برتری دارد. این نتایج می‌تواند تا اندازه‌ای کشاورزان را در استفاده از کودهای زیستی و به نوعی کشاورزی آلی ترغیب نماید.

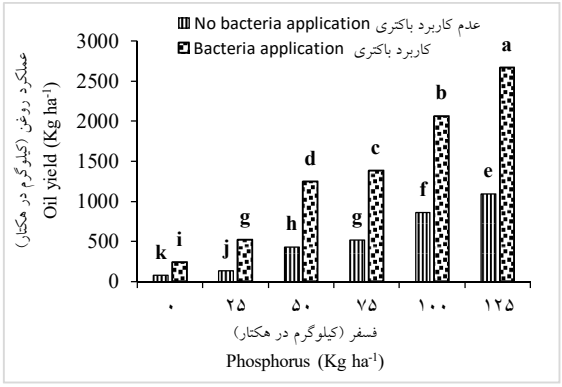
عملکرد روغن: در شرایط کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* با افزایش سطوح فسفر، عملکرد روغن نیز افزایش یافت به‌گونه‌ای که بیش‌ترین عملکرد روغن (۲٦۷۳/۲۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد که با تیمار عدم کاربرد کود فسفره اختلاف ۱۰/۱۲ برابری نشان داد (شکل ۱۲). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که در شرایط عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* بیش‌ترین عملکرد روغن دانه (۱۰۸۹/۳۷

کیلوگرم در هکتار) از تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار حاصل شد که با سطح عدم کاربرد کود فسفره اختلاف ۱۳/۸۳ برابری نشان داد (شکل ۱۲). با توجه به همبستگی بالایی که بین عملکرد دانه و روغن وجود دارد می‌توان بیان داشت که لازمه تولید عملکرد روغن مطلوب، عملکرد دانه مطلوب است. بنابراین کاربرد کود زیستی به همراه کود شیمیایی فسفره، می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و روغن در کلزا شود. باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند فسفر قابل دسترس در خاک را به‌وسیله آبکافت فسفر از ترکیب‌های غیر آلی به علت اسیدی کردن خاک و یا تراوش آنزیم‌های فسفاتاز افزایش دهند (۵۲). به نظر می‌رسد بالا رفتن جذب فسفر در هنگام مرحله گلدهی باعث افزایش گرده‌افشانی در گیاه شده، چرا که فسفر نقش مهمی در گرده افشانی گیاهان دارد. بنابراین فسفر از راه افزایش اجزای عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه و در نهایت روغن شده است (۴۳).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای درصد روغن در کلزا.

Figure 11 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for oil percentage in canola.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای عملکرد روغن در کلزا.

Figure 12 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for oil yield in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

درصد پروتئین دانه: با افزایش میزان کود فسفره، درصد پروتئین دانه نیز افزایش یافت و کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره در هکتار به‌همراه باکتری *Pseudomonas fluorescens* دارای بیش‌ترین درصد پروتئین دانه (۳۸/۶۰ درصد) بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره در هکتار به‌همراه باکتری نشان نداد. همچنین کم‌ترین درصد پروتئین (۱۱/۸۷ درصد) نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد کود فسفره و باکتری *Pseudomonas fluorescens* بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین تیمار کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفره به‌همراه باکتری با تیمارهای کاربرد ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره وجود ندارد و این نشان‌دهنده آن است که می‌توان با کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفره + باکتری به نتایجی نزدیک به کاربرد سطوح بالای کود فسفره دست یافت و از این طریق میزان مصرف کود شیمیایی را کاهش داد (شکل ۱۳).

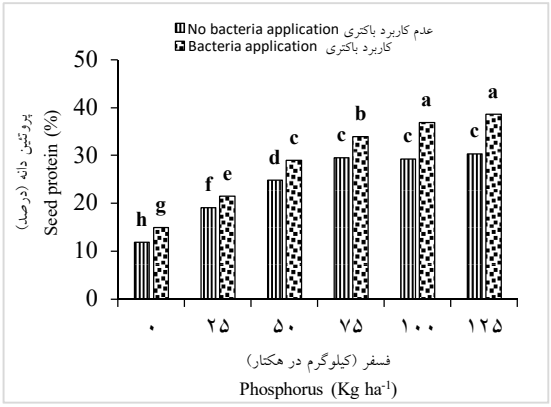
از آنجایی که واحد ساختاری پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه هستند و با توجه به نقش اساسی نیتروژن در ساختمان اسیدهای آمینه، با کاربرد کود فسفر جذب و انتقال نیتروژن در گیاه نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه سبب افزایش پروتئین دانه می‌شود (۵۳). پژوهشی روی گیاه کلزا نشان داد با افزایش سطوح کود فسفره،

افزایش معنی‌دار درصد پروتئین مشاهده شد (۲۷). کاربرد کود زیستی فسفره در تشکیل و ثبات خاکدانه‌های خاک نقش مهمی را داشته و در نتیجه هدایت هیدرولیتیکی خاک بهبود یافته و باعث توسعه سامانه ریشه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده است. می‌توان بیان داشت که تیمارهای کود زیستی و یا تیمارهایی با میزان فسفر محلول بیش‌تر به علت جذب و فراهمی بیش‌تر نیتروژن در ساختار خود، میزان پروتئین بیش‌تری را دارا هستند (٤٥). این نتایج با یافته‌های جهاندیده و همکاران (۲۰۱۸) روی گیاه کلزا مطابقت داشت (۸). همچنین نتایج پژوهش قنبری و همکاران (۲۰۱٦) بر گیاه سویا نشان داد بیش‌ترین درصد پروتئین دانه از تیمار کاربرد توأم باکتری *Pseudomonas fluorescens* و ازتوباکتر (٤١/٠٦ درصد) و کم‌ترین آن (۳۵/۵۱ درصد) از تیمار شاهد حاصل شد. آن‌ها بیان داشتند کاهش در ساخته شدن RNA ناشی از میزان فسفر غیر کافی، روی ساخته شدن پروتئین تأثیر می‌گذارد و با تأمین فسفر کافی برای گیاه از طریق کاربرد باکتری حل‌کننده فسفر می‌توان درصد پروتئین را افزایش داد (٥٤).

عملکرد پروتئین: در شرایط کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* با افزایش سطوح فسفر، عملکرد روغن دانه نیز افزایش یافت به‌گونه‌ای که بیش‌ترین عملکرد روغن دانه (۲۲۷۲/۳۵ کیلوگرم در هکتار) در سطح کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد و پس از آن تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره قرار گرفت. همچنین نتایج نشان‌دهنده آن است که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفره به‌همراه کاربرد باکتری با تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره به‌تنهایی وجود ندارد (شکل ١٤).

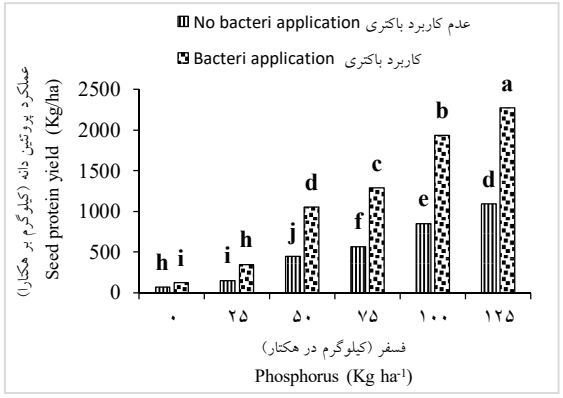
عملکرد پروتئین از حاصلضرب عملکرد دانه و درصد پروتئین است، لذا افزایش عملکرد پروتئین با افزایش مصرف کود فسفره و مصرف کود زیستی قابل انتظار است. در این پژوهش با افزایش سطوح فسفر، درصد پروتئین (شکل ۱۳) و عملکرد دانه (شکل ۱۲) افزایش یافته است و این امر سبب شد که عملکرد پروتئین نیز افزایش یابد. بهامین و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده نمودند با مصرف سوپرفسفات تریپل، بیشترین عملکرد پروتئین در ذرت به مقدار ٦٣٩/٤ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (٥٥). نتایج پژوهش یوسفی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل حداکثر عملکرد پروتئین دانه (٤٧/٤٢ گرم در متر مربع) را در گیاه جو به خود اختصاص داد (٤٠).

کودهای زیستی همانند باکتری سودوموناس فلورسنس سبب افزایش سطح تماس ریشه با خاک و در نتیجه جذب بیش‌تر عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر به وسیله گیاه می‌شود که این امر سبب تأمین بهتر انرژی و بهبود سنتز پروتئین دانه در گیاهان می‌شود و با افزایش درصد پروتئین دانه، عملکرد پروتئین افزایش می‌یابد (٤٥). نتایج آزمایش احمدپور ابنوی و همکاران (۲۰۱۸) بر گیاه گلرنگ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد پروتئین دانه حاصل تلفیق ۵۰ درصد از کودهای فسفره شیمیایی و زیستی و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد بود (۲۹).



شکل ۱۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای درصد پروتئین دانه در کلزا.

Figure 13 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for seed protein percentage in canola.



شکل ۱۴- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفره و باکتری برای عملکرد پروتئین دانه در کلزا.

Figure 12 - Mean comparison of the interaction of phosphorus fertilizer and bacteria for seed protein yield in canola.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on LSD (5%) test.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد کود فسفره، صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا را تحت تأثیر قرار داد و با افزایش سطوح کود فسفره به صفات مورد مطالعه افزوده شد. همچنین، با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت، اثر باکتری *Pseudomonas fluorescens* نیز بر صفات مورد مطالعه مثبت و در بیش‌تر موارد معنی‌دار بود و در شرایط کاربرد کود فسفره به‌همراه باکتری *Pseudomonas fluorescens* صفات مورد مطالعه افزایش یافت. مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به همراه باکتری *Pseudomonas fluorescens*، در شرایط آزمایش باعث بهبود صفات اقتصادی در کلزا می‌شود و بیش‌ترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی، درصد روغن دانه از این سطح تیماری حاصل می‌شود. همچنین، نتایج پژوهش نشان داد کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* موجب بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد کلزا شده است. نظر به عملکرد روغن و پروتئین، مصرف کود زیستی + ۵۰ کیلوگرم کود فسفره عملکردی برابر با ۱۲۵ کیلوگرم کود فسفره به تنهایی تولید کرده است. با توجه به ضرورت تولید گیاهان روغنی مانند کلزا در کشور و لزوم توجه به کشت این گیاهان در نظام‌های کم‌نهاده، به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد می‌توانند در کاهش مصرف کودهای فسفره سهم به‌سزائی ایفا نماید.

References

1.Yantai, G., Harker, K.N., Kutcher, H.R., Gulden, R.H., Irvine, B., May, W.E. and O'Donovan, J.T. 2015. Canola seed yield and phenological responses to plant density. Can. J. Plant Sci. 96: 2. 151-159.

2.Jaberi, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R. and Abdollahi, A. 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. Sci. Agric. 12: 3. 144-148.

3.Wang, Y., Hou, Y., Chen, C. and Zhou, M.G. 2014. Detection of resistance in *Sclerotinia sclerotiorum* to carbendazim and dimethachlon in Jiangsu Province of China. Australasian Plant Pathol. 43: 307–312.

4.Shane, M.W. and Lambers, H. 2005. Cluster roots: A curiosity in context. Plant Soil. 274: 101-125.

5-Iran Agricultural Statistics. 2021. Ministry of Agriculture-Jahad, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. (In Persian).

6.Galindo-Castaneda, T., Brown, K.M. and Lynch, J.P. 2018. Reduced root cortical burden improves growth and grain yield under low phosphorus availability in maize. Plant cell environ. 41: 7. 1579-1592.

7.Taiz, L., Zeiger, E, Moller, I.M. and Murphy, A. 2015. Plant physiology and development, Sunderland, MA: Sinauer Associates.

8.Jahandideh, M., Barani Mutlaq, M., Dardipour, A. and Ghorbani Nasrabadi, R. 2018. The effect of humic acid on the availability of phosphorus fertilizer and some physiological traits of rapeseed. Water Soil J. (Agric. Sci. Ind.). 23: 6. 884-873. (In Persian)

9.Mirzashahi, K. and Noorgholipour, F. 2016. Yield response of rapeseed cultivars to phosphorus fertilization and its efficiency in North Khuzestan. Iranian J. Soil Res. 31:3. 352-339. (In Persian)

10.Safari Arabi, M., Lak, Sh., Madhaj, A., Ramzanpour, M.R. and Mobaser, H.R. 2017. Investigating the effect of phosphate solubilizing bacteria on the yield and phosphorus content of leaves and seeds of rapeseed cultivars. Crop Physiol. J. 10: 38. 133-144. (In Persian)

11.Wang, L., Zheng, J., You, J., Li, J., Qian, C., Leng, S., Yang, G. and Zuo, Q. 2021. Effects of phosphorus supply on the leaf photosynthesis, and biomass and phosphorus accumulation and partitioning of canola (*Brassica napus* L.) in Saline Environment. Agron. 11: 1-4.

12.Saharan, B.S. and Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. Life Sci. Med. Res. 21: 1-30.

13.Zahir, Z.A., Arshad, M. and Khalid, A., 2006. Phytohormones: Microbial production and applications, in: Andrew S. Ball, E.F., Norman Uphoff, Hans Herren, Olivier Husson, Mark Laing, Cheryl Palm, Jules Pretty, Pedro Sanchez, Nteranya Sanginga, Janice Thies (Ed.), Biological approaches to sustainable soil system, 1st ed. CRC Press, Boca Raton, pp. 207-220.

14. Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldan, A. and Azcon, R. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. J Plant Physiol. 174: 87-96.

15.Zhu, J., Li, M. and Whelan, M. 2018. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. Sci. Total Environ. 612: 522-537.

16.Vurukonda, S.S., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and Skz, A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiol. Res. 184: 13-24.

17.Motalebizadeh, B. and Hassanzadeh Ghort-Tapeh, A.A. 2014. Investigating the effect of biofertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of different lines of linseed (*Linum usitatissimum* L.). J. Crop Prod. Proc. 5:16. 291-302. (In Persian)

18.Daneshvar, F. and Khojajnejad, Gh. 2014. Effect of application of biological fertilizers on yield potential and yield components of safflower (*Cartahamus tinctorius* L.) under different irrigation regimes. J. Irrig. Water Eng. 16: 59-69. (In Persian)

19.Johnson, C.M. and Ulrich, A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Calif. Agric. Exp. Study Bull. 766: 52-78.

20. Novozamsky, I., Van Eck, R., Van Schouwenburg, J.C.H. and Walinga, I. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. Neth. J. Agric. Sci. 22: 3-5.

21.Emami, A. 1375. Plant Analysis methods. Publication of Research Organization, Agricultural Extension Training, No. 982. Publications of Soil and Water Research Institute. 1: 126 p.

22. Bakhtiari, M., Ganjali, H.R., Mehraban, A. and Ebrahimi, A. 2016. Investigating the effects of nitrogen and phosphorus application on quantitative and qualitative yield of safflower in Sistan region. J. New Find. Agri. 10: 4. 253-241. (In Persian)
23. Yusufpour, Z., Yadavi, A.R., Balouchi, H.R. and Faraji, H. 2013. Investigating the yield and some physiological, morphological and phenological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under the influence of nitrogen and phosphorus biological and chemical fertilizers. J. Agroecol. 6: 3. 519-508. (In Persian)
24. Gutierrez-Manero, F.J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouachi, J., Tadeo, F.R. and Talon, M. 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Plant Physiol. 111: 206-211.
25. Mandal, A., Patra, A.K., Sinjh, D., Swarup, A. and Ebhin Masto, R. 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stage. Biores. Technol. 98: 3585-3592.
26. Jazayeri, S.J., Mousavinik, S.M., Bahraini-Najad, B. and Ghanbari, S.A. 2019. The effect of organic and chemical fertilizers on growth indicators, yield and yield components of medicinal plant guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in different plant densities. Hortic. Plant Nut. 3: 1. 104-87. (In Persian)
27. Tavajjoh, M., Karimian, N.A., Rounaghi, A.M., Yatharbi, J., Hamidi, R. and Olama, V. 2014. Effect of phosphorus and boron levels on yield, yield components and seed quality of two canola cultivars under greenhouse conditions. Sci. Tech. Greenhouse Cult.. 6: 24. 112-99. (In Persian)
28. Saydi, Z., Fateh, E. and Ayneband, A. 2017. Effect of different sources of nitrogen and organic fertilizers on yield and yield components of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). J. Agroec. 9: 115-128. (In Persian)
29. Ahmadpour Abnoi, S., Ramroudi, M., Golvi, M. and Shamsuddin Saeed, M. 2018. The effect of biological and chemical phosphorus fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation conditions. J. Agri. Sci. Sustain. Pro. 29: 1. 284-269. (In Persian)
30. Wahyudi A., Indri Astuti R. and Giyanto, H. 2011. Screening of *Pseudomonas* sp. isolated from rhizosphere of soybean plant as plant growth promoter and bio-control agent. Am. J. Agric. Biol. Sci. 6 : 1. 134-141.
31. Zafar, M., Abbasi, M.K., Khan, M.A., Khaliq, A., Sultan, T. and Aslam, M. 2012. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nodulation and nutrient accumulation of lentil under controlled conditions. Pedosphere. 22: 848-859.
32. Rashidi, M., Abbasi, N.A. and Zare, M.J. 2017. Effect of chemical and biological phosphorus fertilizers on accumulation of elements, chlorophyll content, seed yield and root growth of three local populations of mung bean. J. Crop Ecophysiol. 12: 4. 650-631. (In Persian)
33. Khan, H.U., Link, W., Hocking, T. and Stoddard, F. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). Plant and Soil. 292: 205-217.
34. Lashkari, M., Mahmoudi, S., Alikhani, H. and Sayari Zahan, M.H. 2021. Effect of *Pseudomonas fluorescence* strains and humic acid on some morphological and physiological traits of marshmallow (*Althaea officinalis* L.). Ir J. Hortic. Sci. 52: 3. 619-632. (In Persian)
35. Hamzaei, J. and Salimi, F. 2013. Root colonization percentage, yield and yield components of milk thistle seed (*Silybum marianum*) affected by mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer. J. Agri. Sci. Sustain. Prod. 24: 4. 85-96. (In Persian)
36. Argaw, A. 2012. Evaluation of co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and Phosphate solubilizing

Pseudomonas spp. effect on soybean (*Glycine max* L. Merr.) in Assossa area. J. Agric. Sci. Technol. 14: 1. 213-224.

37. Manem, R., Pazaki, A.R. and Abdzadeh Gohari, A. 2017. Effect of combined application of growth promoting bacteria and levels of vermicompost on quantitative and qualitative yield of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.). J. Crop Ecophysiol. 12: 4. 615-630. (In Persian)
38. Patten, C.L. and Glick, B.R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of the host plant root system. Appl. Environ. Microbiol. 68: 3795-3801.
39. Abdullapour, H., Tohidi-Njadev A. and Pasandipour, A. 2021. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the morphophysiological characteristics and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). J. Crop Ecophysiol. 15: 1. 57-72. (In Persian)
40. Zabihi, H., Savabeghi, A., Khavazi, K., and Ganjeali, A. 2009. Effect of application of Pseudomonas fluorescents on yield and yield components of wheat under different soil salinity levels. Water and Soil, 23: 1. 199-208. (In Persian).
41. Rezaei Chianeh, A. and Dabagh Mohammadi Nasab, A. 2013. Evaluation of the use of combined biological and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative performance of fenugreek strip cultivation. J. Agroecol. 6: 3. 584-594.
42. Lafond, G.P., Irvine, B., Johnston, A.M., May, W.E., McAndrew, D.W., Shirtliffe, S.J. and Stevenson, F.C. 2008. Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax. Can. J. Plant Sci. 88: 19. 485-500.
43. Heshmati, S., Amini Dehaghi, M. and Fathi Amirkhiz, K. 2016. The effect of phosphorus and chemical fertilizers application on grain yield, oil yield and fatty acids of spring safflower (ILL 111) under water shortage conditions. Iranian J. Agric. Sci. 48: 1. 159-169. (In Persian)
44. Mirvat, E., Haggag, M., Tawfik, M.M., and Amal, G.A. 2015. Effect of Zn, Mn, and organic manures applications on yield, yield components and chemical constituents of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in newly sandy soil. Int. J. ChemTech Res. 8: 4. 2120- 2130.
45. Rezapour Koishahi, T., Ansari, M.H. and Mustafavirad, M. 2014. The effect of some strains of phosphate solubilizing bacteria on the yield and important agronomic characteristics of local beans of Gilan in different amounts of phosphorus fertilizer. J. Crops Improv. 17: 3. 801-714. (In Persian)
46. Rehim, A., Hussain, M., Hussain, S., Noreen, S., Dogan, H., Zia-Ul-Haq, M. and Ahmad, S. 2016. Band-application of phosphorus with farm manure improves phosphorus use efficiency, productivity, and net returns of wheat on sandy clay loam soil. Turk. J. Agric. For. 40: 3. 319-326.
47. Kazem Alilou, S., Najafi, N.A., Rihani-Tabar, A. and Ghaffari, M. 2016. Effect of combined use of phosphorus fertilizer and sewage sludge on chlorophyll index and some characteristics of sunflower growth under water stress conditions. J. Soil Manag. Sust. Prod. 7:4. 1-18. (In Persian)
48. Koocheki, A.R. Rouhi, A. and Nurbakhsh, F. 2014. The effect of biological fertilizers on the components of yield, yield and oil percentage of three cultivars of fall rapeseed (*Brassica napus* L.). J. Agroecol. 7: 2. 168-178. (In Persian).
49. Kuroha, T., Tokunaga, H., Kojima, M., Ueda, N., Ishida, T., Nagawa, S., Fukuda, H., Sugimoto, K. and Sakakibara, H. 2009. Functional analyses of lonely guy cytokinin-activating enzymes reveal the importance of the direct activation pathway in *Arabidopsis*. The Plant. Cell. 21: 3152-3169.
50. Aris, T.W., Rika, I.A. and Giyanto, A. 2011. Screening of *Pseudomonas* sp. isolated from rhizosphere of soybean plant as plant growth promoter and bio-control agent. Am. J. Agric. Biol. Sci. 6 : 1. 134-141.

51Nasrollahzadeh Assal, A., Jalili, F. and Valizadegan, A. 2013. The effects of nitrogen (nitroxine) and phosphorus (fertilizer phosphate 2) biofertilizers on the yield and percentage of sesame seed oil. J. Res. Crop Sci. 6: 24. 11-97. (In Persian)

52.Akmakc, C.I.R., Donmez F., Aydin A. and Ahin F.S. 2006. Growth promotion of plants by plant growth promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Soil Biol. Biochem. 38: 1482-1487.

53.Amir Yousefi, M. and Sharifi, P. 2016. The effect of nitrogen fertilizer and *Azospirillum brazilensis* biofertilizer on some characteristics of wheat in Jozan region of Isfahan. J. Crop Prod. Process. 7: 4. 29-43. (In Persian)

54.Ghanbari, M., Ghodsi Bidgoli, A., Talebi Siah Saran, P., Pirani, H. and Karmenya, S. 2016. Evaluating the efficiency of *Azotobacter* in combination with *Pseudomonas putida* phosphate dissolving bacteria in soybean (*Glycine max* Merr.) under different irrigation regimes. J. Appl. Res. Plant Ecophysiol. 5: 1. 189-210. (In Persian)

55.Bahamin, S., Koocheki, A.R., Nasiri Mahalati, M. and Beheshti, A.R. 2018. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on the quantitative and qualitative yield of corn under drought stress conditions. Env. Stress. Crop Sci. 12: 1. 123-139. (In Persian)