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 macro-nutrients uptake and nitrogen use efficiency in canola (*Brassica napus* L.) by co-application of bio and chemical nitrogen

Tahereh Sohrabi[1], Mohsen Movahhedi Dehnavi[2]*, Amin Salehi [3], Hamidreza Balouchi[4], Fatemeh Ebrahimi[5]

1 MSc student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: t137165@gmail.com
2 Corresponding Author, Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Movahhedi1354@yu.ac.ir
3 Associated Professor,Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: aminsalehi@yu.ac.ir
4 Professor,Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Balouchi@yu.ac.ir
5 PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: Ebrahimi71420@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-2-9
Accepted: 2024-6-7

Keywords:
Biofertilizer
Canola
Nitrogen
Remobilization
Yield

ABSTRACT

Background and objectives: Canola (*Brassica napus* L.) is an oilseed crop, which due to the high percentage of oil quality, cultivation extension is considered. Nitrogen is one of the most important nutrients and the key factor to achieve optimal yield in rapeseed. Considering nitrogen leaching in the soil and resulted environmental pollution, the use of biofertilizers, especially nitrogen-fixing bacteria, play an important role in enhancing nutrient uptake and nitrogen use and uptake efficiencies. Therefore, the aim of this research was to investigate the improvement of absorption of macronutrients and nitrogen efficiency indicators under the influence of chemical and biological nitrogen fertilizer management.

Materials and methods: A field experiment as split plots based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the research station of the Faculty of Agriculture, Yasouj University located in Deshtrum in 2019. The main factor was nitrogen fertilizer at 6 levels (zero, 25, 50, 75, 100 and 125 kg ha^{-1} of pure nitrogen from the urea source) and the sub factor was biofertilizer containing *Azotobacter* and *Azospirillium* bacteria at two levels (application and non- application). The uptake of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in seeds and shoot was measured and the nitrogen efficiency indices were calculated.

Results: The highest seed nitrogen, phosphorus and potassium percentage obtained from the combined application of nitrogen fertilizer + bacteria. The combined application of chemical and biological nitrogen fertilizer increased grain yield. The highest seed yield (8790.60 kg ha^{-1}) was obtained in the treatment of 125 kg ha^{-1} of nitrogen and the application of biofertilizer. The nitrogen use efficiency decreased with the increase of nitrogen levels, and the maximum (40.92 kg ha^{-1}) was obtained from the treatment of no

application of bacteria and also nitrogen. The nitrogen uptake efficiency increased significantly with the use of nitrogen fertilizer and the use of bacteria. The maximum nitrogen remobilization (89.79%) was obtained from the application of 125 kg ha^{-1} of nitrogen and no application of biofertilizer, and the lowest was obtained from the treatment of no application of nitrogen and application of biofertilizer (74.46%).

Conclusion: Considering the superiority of the 125 kg ha^{-1} of nitrogen along with biofertilizer in terms of seed yield and percentage of absorbed nutrients, it seems that these amounts of nitrogen fertilizer with the use of biofertilizer are recommendable to achieve proper yield in the examined and also similar areas. Also, the results showed that for most of the investigated traits, applying of biofertilizer could reduce the consumption of chemical nitrogen fertilizer by supplying some part of the nitrogen (ca. 50 Kg/ha) needed by canola.

Cite this article: Sohrabi, T., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., Balouchi, H.R. Fatemeh Ebrahimi. 2024. Improving macro-nutrients uptake and nitrogen use efficiency in canola (*Brassica napus* L.) by co-application of bio and chemical nitrogen *Crop Production Journal*, 17 (2), 89-106.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.22046.2611
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف و شاخص‌های کارایی نیتروژن کلزا (*Brassica napus* L.) با مصرف همزمان کود زیستی و شیمیایی نیتروژنه

طاهره سهرابی[۱]، محسن موحدی‌دهنوی[۲]*، امین صالحی[۳]، حمیدرضا بلوچی[۴]، فاطمه ابراهیمی[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: t137165@gmail.com
[۲] استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: movahhedi1354@mail.yu.ac.ir
[۳] دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: aminsalehi@yu.ac.ir
[۴] استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: balouchi@yu.ac.ir
[۵] دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: ebrahimi71420@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۸

واژه‌های کلیدی:
انتقال مجدد
عملکرد
کلزا
کود زیستی
نیتروژن

چکیده

سابقه و هدف: کلزا (*Brassica napus* L.) از جمله گیاهان روغنی است که به واسطه درصد بالای روغن با کیفیت، توسعه کشت آن مورد توجه می‌باشد. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی و عامل کلیدی دستیابی به عملکرد مطلوب در کشت کلزا است. با توجه به آبشویی نیتروژن در خاک و آلودگی محیط زیست حاصل از آن، استفاده از کودهای زیستی، به ویژه انواع باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، نقش مهمی در افزایش جذب عناصر غذایی و کارایی مصرف و جذب نیتروژن دارد. لذا هدف از این تحقیق بررسی بهبود جذب عناصر پرمصرف و شاخص‌های کارایی نیتروژن تحت تأثیر مدیریت کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج واقع در منطقه دشتروم در سال ۱۳۹۹ انجام شد. عامل اصلی کود نیتروژنه در ٦ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره) و عامل فرعی کود زیستی حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) بودند. جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه و اندام هوایی اندازه‌گیری و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن محاسبه گردید.

یافته‌ها: بیشترین درصد عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه از تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژنه و زیستی حاصل گردید. کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه (۸۷۹۰/٦۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کاربرد کود زیستی به‌دست آمد. کارآیی استفاده از نیتروژن با افزایش سطوح نیتروژن کاهش یافت و بیشترین آن (۴۰/۹۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) از تیمار عدم کاربرد باکتری و عدم کاربرد نیتروژن حاصل گردید. کارایی جذب نیتروژن با مصرف کود نیتروژنه و کاربرد باکتری بطور معنی‌داری افزایش یافت. حداکثر انتقال مجدد نیتروژن

(۸۹/۷۹ درصد) از تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و عدم کاربرد کود زیستی و کمترین آن از تیمار عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد کود زیستی (۷٤/٤٦ درصد) به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به برتری سطح ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن به‌همراه کود زیستی از لحاظ عملکرد دانه و درصد عناصر جذب شده، چنین به نظر می‌رسد که این مقادیر کود نیتروژنه به همراه کاربرد کود زیستی برای حصول عملکرد مناسب در منطقه مورد آزمایش و مناطق مشابه قابل توصیه باشد. همچنین نتایج نشان داد با توجه به اکثر صفات مورد بررسی، کاربرد کود زیستی توانست با تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز کلزا (حدود ۵۰ کیلوگرم در هکتار)، مصرف کود شیمیایی نیتروژنه را کاهش دهد.

استناد: سهرابی، طاهره؛ موحدی‌دهنوی، محسن؛ صالحی، امین؛ بلوچی، حمیدرضا؛ ابراهیمی، فاطمه. (۱٤۰۳). بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف و شاخص‌های کارایی نیتروژن کلزا (*Brassica napus* L.) با مصرف همزمان کود زیستی و شیمیایی نیتروژنه. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷(۲)، ۱۰٦-۸۹.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.22046.2611

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. از جمله گیاهان دانه روغنی یکساله و از خانواده Brassicaceae می‌باشد. کلزا به‌علت داشتن صفاتی مانند ترکیب مناسب اسیدهای چرب روغن در ارقام اصلاح شده و توانایی جوانه‌زنی در دماهای پایین، امکان کشت در بیشتر نقاط کشور ایران را داراست (۱). سطح زیر کشت این گیاه در جهان ۲٤ میلیون هکتار، در ایران ۱۱۱۲۳۵ هکتار (۲) و در استان کهگیلویه و بویراحمد حدود ۵۳۰ هکتار می‌باشد (۳).

کلزا جهت دستیابی به حداکثر رشد و عملکرد نیاز فراوانی به نیتروژن دارد و غالباً به‌عنوان گیاهی با نیاز بالای نیتروژن معرفی می‌شود (٤). نیاز کلزا به نیتروژن به میزان قابل توجهی بیشتر از مقداری است که در بیشتر خاک‌ها بصورت طبیعی تأمین می‌شود؛ لذا کاربرد کودهای نیتروژن‌دار برای تولید عملکرد بهینه کلزا ضروری است (۵). بخشی از کل نیاز نیتروژن زراعت کلزا به پتانسیل ژنتیکی آن جهت جذب نیتروژن و استفاده از آن برای تولید دانه بستگی داشته و بخشی نیز به عوامل محیطی وابسته است؛ که تأمین کامل نیتروژن مورد نیاز منجر به نزدیک شدن گیاه به پتانسیل ژنتیکی عملکرد می‌گردد (٦).

در پژوهش چاخرلو و همکاران (۲۰۱۹) بیشترین عملکرد دانه کلزا در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کمترین عملکرد دانه در تیمار ٦۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به ترتیب با مقادیر ٤/٤۵ و ۰/۵۹ تن در هکتار بدست آمد. کارآیی مصرف نیتروژن عامل بسیار مهمی در مدیریت نیتروژن برای تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود (۷). محققین بیان کرده‌اند که کودهای نیتروژنه توسط گیاه به صورت مؤثر استفاده نمی‌شود و کارآیی مصرف آن‌ها پایین است. آن‌ها پایین بودن کارآیی مصرف نیتروژن را به دلیل هدر رفت آن از طریق آبشویی، تصعید آمونیاک، رواناب سطحی و غیره دانستند (۸). نتایج پژوهشی روی گیاه کلزا نشان داد که افزایش مصرف کود نیتروژنه، موجب کاهش کارآیی استفاده از نیتروژن گردید و بیشترین کارآیی استفاده از نیتروژن از تیمار عدم مصرف کودشیمیایی نیتروژنه به‌دست آمد (۹). میزان انتقال مجدد نیتروژن جذب شده از بخش‌های رویشی به دانه‌ها عامل مهمی در افزایش عملکرد کمی و کیفی کلزا است. پژوهشگران نشان دادند که با افزایش مصرف کود نیتروژنه، میزان انتقال مجدد نیتروژن ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به‌طوری که میزان انتقال مجدد نیتروژن در سطوح کودی ۱۲۰، ۲٤۰ و ۳٦۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌ترتیب ۱۰/۲۵، ۲۹/۱۰ و ۱۲/۲۱ میلی‌گرم بر گرم بود (۱۰).

یکی از راه‌های بهبود شاخص‌های کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه و کاهش تلفات آن، کاربرد همزمان کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه می‌باشد. کودهای زیستی متشکل از ریزجانداران مفیدی هستند که هر یک به منظور خاصی مانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و غیره تولید می‌شوند. این ریزجانداران معمولا در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌کنند (۱۱). از جمله کودهای زیستی که دارای ریزجانداران متعددی است، می‌توان به نیتروکسین اشاره نمود. باکتری‌های موجود در این کود زیستی، با تثبیت نیتروژن موجود در هوا و متعادل نمودن جذب عناصر پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه، ترشح اسیدهای آمینه، سیانید هیدروژن و سیدروفور را به عهده دارد و موجب رشد و توسعه‌ی ریشه و قسمت‌های هوایی گیاه می‌گردد. نیتروکسین حاوی مجموعه‌ای از مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن از جنس *Azospirillum* و *Azotobacter* است که تعداد سلول زنده آن حدود 10^8 عدد در هر گرم ماده حامل از هر یک از

جنس‌های باکتری است. که این باکتری‌ها رشد و توسعه ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان را موجب می‌شود و علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پر مصرف و ریز مغذی مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، ترشح اسیدهای آمینه، انواع آنتی بیوتیک‌ها و سیدروفورها، موجب رشد و توسعه ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان و با حفاظت ریشه گیاهان از حمله عوامل بیماری‌زای خاکزی، موجب افزایش عملکرد و کیفیت برتر می‌گردد (۱۲).

در تحقیقی صفری و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند می‌توان با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی نیتروکسین از طریق افزایش درصد عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجب افزایش عملکرد دانه گیاه کلزا نسبت به شاهد شد (۱۳). محققان دیگری گزارش کردند استفاده از کودهای زیستی نیتروژنه به دلیل افزایش توسعه ریشه و افزایش جذب نیتروژن سبب افزایش انتقال مجدد نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن در گیاه کلزا می‌شود (۱٤).

با توجه به موارد اشاره شده، به‌نظر می‌رسد جهت افزایش کارآیی نیتروژن در زراعت کلزا، نیاز است تا مدیریت تغذیه به‌صورتی باشد تا در استفاده از نیتروژن جذب شده مؤثرتر عمل نمایند. با توجه به اینکه کاربرد کودهای زیستی نیتروژنه در کشت کلزا می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از کود شیمیایی نیتروژنه باشد و اثرات منفی کاربرد بی‌رویه کود شیمیایی را کاهش دهد، بنابراین هدف این پژوهش تعیین کارایی کود زیستی نیتروکسین در تلفیق با کود شیمیایی نیتروژنه در جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی و افزایش شاخص‌های کارایی نیتروژن در زراعت کلزا رقم نپتون در منطقه دشت روم، یاسوج می‌باشد.

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، ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۲۰۹۵ متر از سطح دریا انجام گرفت. پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. عامل اصلی شامل کود نیتروژنه در ٦ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره) و عامل فرعی کود زیستی نیتروکسین، با تراکم سلولی 5×10^{7} CFU/ml حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم، در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) بودند. در مرحله‌ی آماده‌سازی زمین پیش از کاشت، نمونه‌های مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی تهیه شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

Physicochemical properties of the soil..Table 1

اسیدیته pH	نیتروژن (درصد) N (%)	پتاسیم (ppm) K (ppm)	فسفر (ppm) P (ppm)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	بافت خاک (درصد) Soil texture
7.23	0.09	139	12	0.9	26	52	22	لوم سیلتی Sandy loam

هر کرت فرعی آزمایش به طول ۳ متر و عرض ۱/۸ متر و دارای سه پشته بود که فاصله‌ی پشته‌ها ٦٠ سانتی‌متر و روی پشته‌ها دو ردیف کشت انجام شد. فاصله‌ی بذرها روی ردیف کاشت ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های فرعی ٦٠ سانتی‌متر، فاصله‌ی کرت‌های اصلی ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی تکرارها از یکدیگر ۱/۵ متر بود. همچنین کود سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با کود فسفره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل) در شیار ایجاد شده کنار بوته‌ها اعمال شد. تیمارهای کود نیتروژنه (از منبع اوره) به‌صورت یکنواخت اعمال شد. به‌صورتی که یک سوم کود در هنگام کاشت و دو سوم باقیمانده به صورت سرک در دو مرحله‌ی ساقه‌روی و قبل از گلدهی به بوته‌ها داده شد. کاشت بذر در تاریخ ۱۷ شهریور ماه سال ۱۳۹۹ انجام گرفت. برای استفاده از باکتری، بذرها به کود نیتروکسین تهیه شده از شرکت مهرآسیا، آغشته و کشت صورت گرفت. رقم مورد کشت نپتون، از ارقام زمستانه مناسب مناطق معتدل سرد و سرد با میانگین درصد روغن ٤٦ درصد و میانگین عملکرد بین ۳ تا ٤ تن بود (۱۵). اولین آبیاری بعد از کاشت در تاریخ ۱۷ شهریور ماه و دومین آبیاری جهت تسریع در سبز شدن سه روز بعد از کاشت انجام شد. پس از آن بر اساس نیاز گیاه، درجه حرارت و شرایط جوی هر ۷ تا ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز با سه مرتبه وجین دستی در مرحله چهار برگی، شروع رشد ساقه، و شروع گلدهی انجام گرفت.

اندازه‌گیری نیتروژن اندام هوایی در دو مرحله غلاف‌بندی (BBCH 71) و رسیدگی فیزیولوژیک (BBCH 89) و همچنین به همراه فسفر و پتاسیم در دانه انجام گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن به روش نوزومسکی و همکاران (۱۹۷٤) انجام گرفت (١٦).

میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ٦٦٠ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. جهت اندازه‌گیری درصد فسفر با استفاده از روش امامی (۱۹۹٦) میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ٤٢٠ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت شد (۱۷). سنجش درصد پتاسیم از روش پیترسون و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین شد (۱۸). برای تعیین عملکرد دانه دو مترمربع از هر واحد آزمایش با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. شاخص‌های مختلف کارآیی نیتروژن از جمله کارآیی مصرف نیتروژن (رابطه ۱)، کارآیی جذب نیتروژن (رابطه ۲)، کارایی استفاده از نیتروژن (رابطه ۳) و انتقال مجدد نیتروژن (رابطه ٤) با استفاده از روابط پیشنهادی توسط لوپز-بلیدو و آل (۲۰۰۵) انجام شد (۱۹):

رابطه ۱: $$NUE = \frac{Wg}{Nf}$$

رابطه ۲: $$N_{UPt}E = \frac{Ng}{Nf}$$

رابطه ۳: $$N_{ut}E = \frac{Wg}{Nt}$$

رابطه ٤: $$NR = ((N_{ant} - N_{mat})/N_{ant})*100$$

در این روابط NUE کارآیی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)؛ Nf: مقدار نیتروژن مصرفی به صورت کود بر حسب کیلوگرم بر هکتار و Wg: وزن دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. N_{Upt} E کارآیی جذب نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)؛ Ng: کل نیتروژن جذب شده توسط دانه (کیلوگرم) می‌باشد. N_{ut}E کارآیی استفاده از نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) و Nt: کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم) می‌باشند. NR انتقال مجدد نیتروژن به درصد، N_{ant} مقدار نیتروژن در ماده خشک در مرحله گل‌دهی (گرم در متر مربع)، N_{mat} مقدار نیتروژن در ماده خشک گیاهی در مرحله رسیدگی است. در نهایت تجزیه

آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.2 نجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L. S. Means انجام شد. جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر تیمارهای کود نیتروژنه، کود زیستی و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال خطای یک درصد بر درصد نیتروژن در مرحله غلاف‌بندی، درصد نیتروژن کاه و کلش، درصد فسفر دانه، درصد پتاسیم دانه و عملکرد دانه معنی‌دار شد، اما برهم‌کنش کود نیتروژنه و کود زیستی بر درصد نیتروژن دانه معنی‌دار نشد. اثرات اصلی کود نیتروژنه و کود زیستی در سطح احتمال خطای یک درصد بر کارآیی مصرف نیتروژن و کارآیی جذب نیتروژن دانه معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش کود نیتروژنه و کود زیستی در سطح احتمال خطای یک درصد بر کارایی استفاده از نیتروژن و انتقال مجدد نیتروژن در کلزا معنی‌دار شد (نتایج تجزیه واریانس نشان داده نشده است).

درصد نیتروژن در مرحله غلاف‌بندی: مقایسه میانگین نشان از افزایش درصد نیتروژن مرحله غلاف‌بندی در هر دو سطح باکتری با افزایش در سطوح نیتروژن دارد. در هر دو سطح کاربرد و عدم کاربرد باکتری بیشترین درصد نیتروژن مرحله غلاف‌بندی به‌ترتیب با میانگین ۱/۰ و ۰/۸۲ درصد به تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن نیز به‌ترتیب با میانگین ۰/۳۵ و ۰/۲۵ درصد به تیمار عدم کاربرد نیتروژن تعلق داشت (شکل ۱).

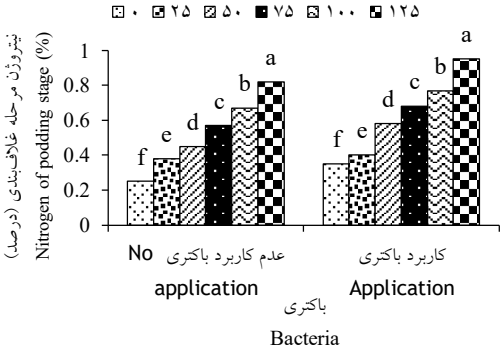
درصد نیتروژن کاه و کلش: نتایج مشابهی با درصد نیتروژن در مرحله غلافبندی بدست آمد، بطوریکه در هر دو سطح کاربرد و عدم کاربرد باکتری، تفاوت معنی‌داری بین پنج سطح بالاتر از مصرف نیتروژن وجود داشت؛ ولی بین سطح صفر و ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌دار نبود. بیشترین درصد نیتروژن کاه و کلش (٦/٤ درصد) مربوط به تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در شرایط کاربرد باکتری بود. در شرایط عدم کاربرد باکتری بیشترین و کمترین درصد نیتروژن کاه و کلش به‌ترتیب با میانگین ۵/۳٦ و ۱/٤۳ درصد مربوط به تیمار ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تیمار عدم کاربرد نیتروژن بود. همچنین نتایج نشان داد مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن+باکتری از نظر میزان نیتروژن کاه و کلش، میانگین عددی نزدیک به کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن به‌تنهایی داشته است (شکل ۲).

درصد نیتروژن دانه: نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) اثر نیتروژن نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه (۵/۸٦ درصد) از سطح نیتروژن ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن (۱/۷۷) از تیمار عدم کاربرد نیتروژن به‌دست آمد که افزایش ۲/۳ برابری با مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین اثر باکتری نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه (٤/۲۳ درصد) از تیمار کاربرد باکتری و کمترین آن نیز (۳/۲۱ درصد) از تیمار عدم کاربرد باکتری به‌دست آمد (جدول ۲).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد استفاده در تولید گیاهان می‌باشد و یک تا چهار درصد از وزن خشک بافت‌های گیاهی را تشکیل می‌دهد. افزایش کاربرد کود نیتروژنه باعث افزایش رشد ریشه و اندام‌های هوایی می‌شود و در نتیجه، جذب نیتروژن توسط این اندام‌ها نیز بیشتر می‌گردد. کاکابوکی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که محتوای نیتروژن زیست توده با افزایش مصرف کود افزایش پیدا کرد. همچنین با توجه به این که میزان نیتروژن اندام هوایی

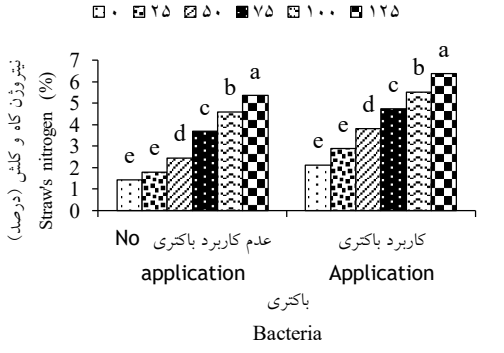
از حاصلضرب غلظت نیتروژن و ماده‌ی خشک تولیدی آن در واحد سطح به‌دست می‌آید، بنابراین، افزایش مصرف کود نیتروژنه با افزایش ماده خشک تولیدی کلزا در واحد سطح منجر به افزایش نیتروژن اندام هوایی کلزا شد (۲۰). نتایج پژوهش شاکری و همکاران (۲۰۱۲) روی گیاه کتان روغنی نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کود نیتروژنه بر میزان نیتروژن در برگ کتان روغنی در زمان گل‌دهی و رسیدگی معنی‌دار بوده است. افزایش نیتروژن دانه در سطوح بیشتر کود شیمیایی را می‌توان به افزودن کودهای شیمیایی مخصوصاً نیتروژن به خاک مزرعه و فراهم شدن این عنصر در خاک و بهبود جذب توسط گیاه نسبت داد (۲۱). کاربرد کود نیتروژنه مقدار واردات نیتروژن را از قسمت‌های رویشی به دانه در مقایسه با کربوهیدرات‌ها افزایش می‌دهد و باعث افزایش نیتروژن دانه می‌گردد (۲۲). مصرف کود زیستی در کنار کود شیمیایی نیتروژنه می‌تواند با اثرگذاری مثبت خود بر تثبیت زیستی نیتروژن تولید هورمون‌های رشد و افزایش میزان جذب و دسترسی به آب و مواد غذایی، موجب افزایش نیتروژن در اندام هوایی و دانه شود (۲۳).

درصد فسفر دانه: در شرایط عدم کاربرد باکتری با افزایش سطوح نیتروژن، درصد فسفر دانه نیز افزایش یافت به‌گونه‌ای که بیشترین درصد فسفر دانه (۲/۳۲ درصد) در سطح کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد که با سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر به‌ترتیب اختلاف ۸/۴۱، ۲۴/۰۶، ۳۳/۳۳، ۶۰ و ۹۸/۲۹ درصدی نشان داد (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که در شرایط کاربرد باکتری بیشترین درصد فسفر دانه (۲/۹۵ درصد) از کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود نیتروژنه در هکتار حاصل گردید که با سایر سطوح کاربرد نیتروژن اختلاف معنی‌داری نشان داد به‌طوری که با سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر به‌ترتیب اختلاف ۸/۰۵، ۲۱/۹۰، ۴۳/۲۰، ۵۹/۴۵ درصدی و ۱/۲ برابری مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای نیتروژن در مرحله غلاف‌بندی در کلزا.

Figure 1. Mean comparison of the effects of different levels of nitrogen at each bacteria level for nitrogen in podding stage in canola



شکل ۲- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای نیتروژن کاه و کلش در کلزا.

Figure 2. Mean comparison of the effects of different levels of nitrogen at each bacteria level for straw's nitrogen in canola

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح باکتری، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means comparison was done using L. S. Means procedure. At each level of bacteria, means with at least one common letter are not significantly different.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و باکتری برای درصد نیتروژن دانه در کلزا

Table 2. Mean comparison of the effect of nitrogen and bacteria for seed nitrogen percentage in canola

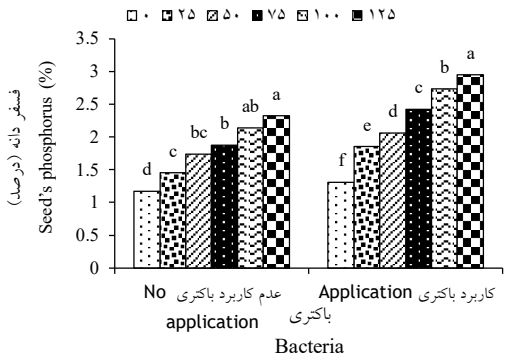
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg/ha)	نیتروژن دانه (درصد) Seed's nitrogen (%)
Test factors	
0	1.77 [f]
25	2.34 [e]
50	3.12 [d]
75	4.20 [c]
100	5.06 [b]
125	5.86 [a]
Bacteria	
کاربرد Application	4.23 [a]
عدم کاربرد No application	3.21 [b]

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری براساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشد.

Means with at least one common letter are not significantly different base on LSD procedure (p=0.05).

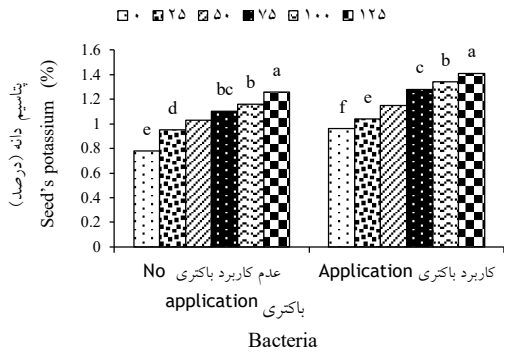
فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد و تکثیر گیاهان است و برای ذخیره‌سازی و انتقال انرژی، حفاظت و انتقال کدهای ژنتیکی به کار می‌رود و تأثیر مهمی در ساخت کربوهیدرات‌ها دارد (۲٤). به‌نظر می‌رسد افزایش سطح برگ گیاه به‌دلیل افزایش نیتروژن در سامانه‌های تلفیقی منجر به تولید بیشتر آسیمیلات برای گیاه شده که در نتیجه این امر مواد فتوسنتزی بیشتری جهت رشد ریشه فراهم شده است. با گسترش سامانه ریشه گیاه، حجم بیشتری از خاک در دسترس ریشه جهت جذب فسفر که تمایل زیادی به تثبیت دارد، قرار گرفته و در نتیجه میزان جذب آن در سامانه‌های تغذیه تلفیقی نسبت به سامانه‌های شیمیایی و بدون کود افزایش یافته است (۲۰). افزایش جذب فسفر در اثر تلقیح گیاه توسط باکتری، را می‌توان به ترشح تنظیم‌کننده‌های رشد و توسعه سامانه ریشه‌ای و امکان دسترسی و جذب بهتر این عناصر غذایی برای گیاه نسبت داد (۲۵).

درصد پتاسیم دانه: مقایسه میانگین نشان‌داد با افزایش در سطوح نیتروژن، درصد پتاسیم دانه روندی افزایشی داشته اما در شرایط کاربرد باکتری درصد پتاسیم دانه مشهودتر بود. در شرایط کاربرد باکتری بیشترین درصد پتاسیم دانه (۱/٤۱ درصد) از تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین درصد پتاسیم دانه (۰/۹٦ درصد) نیز از تیمار عدم کاربرد کود نیتروژنه حاصل گردید. در شرایط عدم کاربرد باکتری بیشترین (۱/۲٦ درصد) و کم‌ترین (۰/۷۸ درصد) درصد پتاسیم دانه به‌ترتیب از تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عدم کاربرد نیتروژن حاصل گردید که با یکدیگر اختلاف ٦۱/۳۵ درصدی نشان دادند (شکل ٤).



شکل ۳- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای فسفر دانه در کلزا

Figure 3. Mean comparison of the effects of different levels of nitrogen at each level of bacteria for seed's phosphorus in canola.



شکل ٤- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای پتاسیم دانه در کلزا

Figure 4. Mean comparison of the effects of different levels of nitrogen at each level of bacteria for seed's potassium in canola.

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L. S. Means انجام شده و در هر سطح باکتری، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means comparison was done using L. S. Means procedure. At each level of bacteria, means with at least one common letter are not significantly different.

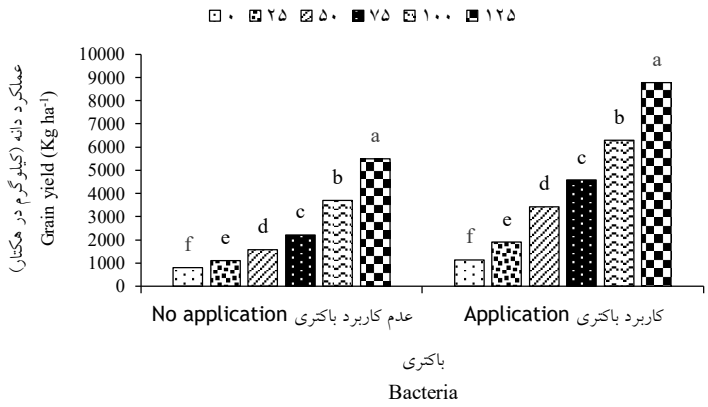
افزایش میزان نیتروژن بر روی جذب سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم اثر گذاشته و در مواردی موجب تشدید جذب عناصر غذایی می‌گردد (۲۰). نتایج این تحقیق با پژوهش شاکری و همکاران (۲۰۱۲) بر کنجد مطابقت دارد، به‌طوریکه آن‌ها نیز نشان دادند با کاربرد نیتروژن، درصد پتاسیم برگ افزایش یافت. باکتری‌های محرک رشد می‌توانند با تولید پروتون، سیدروفورها و تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های فلزی در رهاسازی پتاسیم از کانی‌ها مؤثر باشند. کودهای زیستی علاوه‌بر در دسترس قرار دادن نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه، از طریق افزایش رشد رویشی گیاه و به دنبال آن توسعه ریشه باعث بهبود جذب و افزایش فراهمی پتاسیم می‌شوند (۲۱).

عملکرد دانه: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در هر شش سطح از مصرف نیتروژن (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) کاربرد باکتری بالاترین میزان عملکرد دانه را داشت. بیشترین عملکرد دانه (۸۷۹۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در شرایط کاربرد باکتری بود که با عملکرد دانه در سایر سطوح نیتروژن تفاوت معنی‌داری را نشان داد. این در حالی است که کمترین عملکرد دانه (۱۱۳۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژنه) بود (شکل ۵). در شرایط عدم کاربرد باکتری، مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه باعث افزایش ۵/۸ برابری عملکرد نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژنه) شد (شکل ۵).

بررسی روند تغییرات عملکرد دانه نشان می‌دهد که با افزایش نیتروژن، عملکرد دانه در هر دو سطح از باکتری افزایش پیدا کرد. افزایش در عملکرد با افزایش مصرف نیتروژن، به دلیل وظایف متعدد این عنصر در فرآیندهای حیاتی گیاه از جمله افزایش رشد رویشی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، افزایش در تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در گیاه، افزایش تولید ماده خشک ذخیره‌ای و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌باشد (۲٦). در پژوهش چاخرلو و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیشترین عملکرد دانه کلزا در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (٤/٤٥ تن در هکتار) و کمترین

عملکرد دانه در تیمار ٦٠ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (۰/۵۹ تن در هکتار) به‌دست آمد (۷). نیتروژن از طریق افزایش رشد شاخه‌های جانبی و تعداد غلاف‌های گیاه عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۲۰).

پژوهشگران نشان دادند که کاربرد باکتری‌های همیار تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق تولید هورمون‌های تحریک‌کننده رشد گیاه نیز می‌توانند سبب افزایش عملکرد دانه در گیاهان شوند (۲۷). در واقع افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، نشان از توانایی تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات و ساخت و ترشح برخی مواد زیستی فعال مانند اکسین‌ها و جیبرلین توسط باکتری‌ها می‌باشد که در نهایت افزایش رشد و عملکرد را موجب می‌شود (۲۸). در آزمایش نصراله‌زاده و احمد (۲۰۱۸) روی آفتابگردان حداکثر عملکرد بذر به میزان ۳۱۷۲/۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار مصرف کود زیستی نیتروکسین به دست آمد (۲۹). همچنین گزارش شد که تلقیح بذر سویا با آزوتوباکتر، عملکرد آن را به میزان ۱/۹۲ تا ۲ درصد در مقایسه با بذور بدون تلقیح افزایش داد (۱۲).



شکل ۵- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای عملکرد دانه در کلزا. مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح باکتری، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Figure 5. Mean comparison of the effects of different levels nitrogen levels at each level of bacteria for grain yield in canola. Means comparison was done using L.S. Means procedure and at each level of bacteria, means with at least one common letter are not significantly different.

کارآیی مصرف نیتروژن: نتایج نشان داد با افزایش سطوح نیتروژن مصرفی از کارآیی مصرف نیتروژن کاسته شد. به‌گونه‌ای که بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن (٦٠/٠٨ کیلوگرم بر کیلوگرم) به تیمار کاربرد ۲۵ کیلوگرم نیتروژن و کم‌ترین آن (٤٥/٣٠ کیلوگرم بر کیلوگرم) به تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مرتبط بود. همچنین مشخص گردید با کاربرد باکتری، نسبت به تیمار عدم کاربرد، به کارآیی مصرف نیتروژن ۱/۳ برابر افزوده شد (جدول ۲).

کاهش در کارآیی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف آن در گیاهان زراعی مختلف مشاهده شده است. این واکنش گیاه بر اساس قانون بازده نزولی قابل توضیح است، ضمن اینکه به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش کارآیی مصرف نیتروژن، فزونی سرعت از دست رفتن عنصر مذکور در مقادیر بالای مصرف باشد. این کاهش می‌تواند تأکیدی بر این مسأله باشد که رابطه مصرف کود نیتروژنه و افزایش عملکرد گیاه خطی نیست (۹). نتایج پژوهش لطیفی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی گیاه کنجد نشان داد که افزایش مصرف کود نیتروژنه، موجب کاهش کارآیی مصرف نیتروژن گردید و بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن از تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمد (۳۰). عامری و

همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که استفاده از کود نیتروژنه، باعث کاهش کارآیی مصرف نیتروژن می‌گردد، به این دلیل که وجود نیتروژن زیاد در اندام هوایی باعث تحریک رشد رویشی شده و در نتیجه سهم نیتروژن اختصاص یافته به عملکرد اقتصادی کاهش یافته و در نتیجه کارآیی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد. به طور کلی زمانی که گیاه به عناصر غذایی نیاز دارد، در برابر افزایش آن‌ها واکنش مثبت نشان می‌دهد، و با رفع تدریجی نیاز گیاه، واکنش آن به مقادیر بیشتر کود کاهش می‌یابد. بنابراین کارآیی مصرف عناصر غذایی با رفع نیاز گیاه کمتر می‌شود (۳۱).

به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی علاوه بر فراهم کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه به دلیل افزایش رشد اندام هوایی موجب افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه منجر به دستیابی به بیشترین کارایی مصرف این عنصر در گیاه می‌شود. در تحقیقی بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروژن در تیمار تلقیح بذر با کود زیستی نیتروژنه مشاهده شد (۱۱).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و باکتری برای کارایی مصرف و جذب نیتروژن در کلزا

Table 2. Mean comparison of the effect of nitrogen and bacteria for nitrogen use and uptake efficiency in canola

عامل‌های آزمایش Test factors		
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg/ha)	کارآیی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) Nitrogen use efficiency (kg/kg)	کارآیی جذب نیتروژن دانه (کیلوگرم بر کیلوگرم) Seed nitrogen uptake efficiency (kg/kg)
25	60.08 [a]	1.49 [d]
50	57.15 [ab]	1.70 [cd]
75	50.13 [bc]	1.98 [c]
100	49.99 [bc]	2.58 [b]
125	45.30 [c]	3.42 [a]
Bacteria		
کاربرد Application	67.88 [a]	3.13 [a]
عدم کاربرد No application	37.17 [b]	1.34 [b]

میانگین‌ها در هر تیمار و هر ستون با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد ندارند.

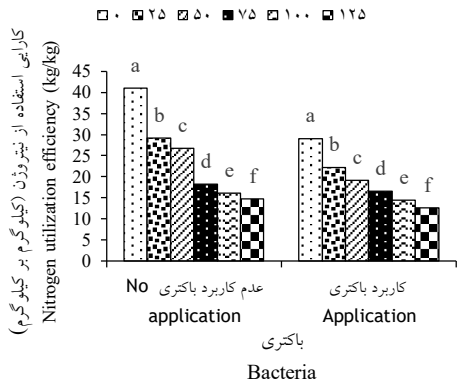
Means with at least one common letter are not significantly different base on LSD procedure (p=0.05).

کارآیی جذب نیتروژن دانه: با افزایش در سطوح نیتروژن به کارآیی جذب نیتروژن دانه افزوده شد. نتایج اثر کود نیتروژنه نشان داد بیشترین کارآیی جذب نیتروژن دانه با میانگین ۳/٤۲ کیلوگرم بر کیلوگرم از تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۱/٤۹ کیلوگرم بر کیلوگرم از تیمار عدم کاربرد نیتروژن حاصل شد که با یکدیگر اختلاف ۱/۳۰ برابری داشتند (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین کارآیی جذب نیتروژن دانه (۳/۱۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) از تیمار کاربرد باکتری و کمترین آن نیز (۱/۳٤ کیلوگرم بر کیلوگرم) از تیمار عدم کاربرد باکتری به‌دست آمد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول ۲).

به‌طورکلی، کارآیی جذب نشان‌دهنده توان گیاه در استفاده از نیتروژن پراکنده در محیط است (۸). به عبارت دیگر کارآیی جذب نیتروژن، مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه از واحد نیتروژن مصرفی است که از تقسیم کل نیتروژن جذب شده توسط دانه به

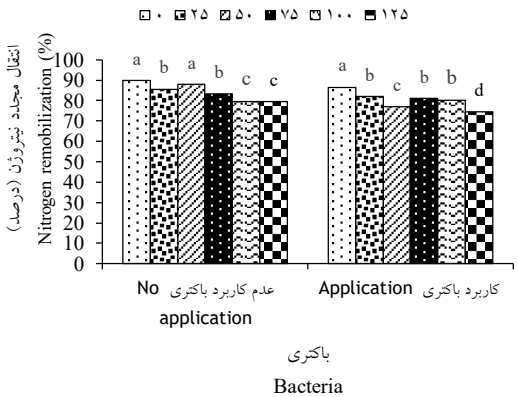
مقدار نیتروژن مصرف شده به صورت کود بدست می‌آید. احتمالاً افزایش کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطوح نیتروژن به کار برده شده ناشی از افزایش رشد ریشه‌ها و در نتیجه بهبود شرایط فیزیکی- شیمیایی - زیستی خاک و جذب بهتر نیتروژن توسط گیاه می باشد (۱۰).

کارایی استفاده از نیتروژن: بیشترین کارآیی استفاده از نیتروژن (۴۰/۹۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) از تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژنه) در شرایط عدم کاربرد باکتری به‌دست آمد، که با سایر سطوح از نیتروژن در این سطح تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ٦). کمترین کارآیی استفاده از نیتروژن (۱۲/۵۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) مربوط به سطح کودی ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در تیمار کاربرد کود زیستی نیتروژنه بود. به طور کلی، با کاهش مصرف نیتروژن و عدم کاربرد باکتری، کارآیی استفاده از نیتروژن افزایش یافت. نصراله‌زاده و احمد (۲۰۱۸) بیان کردند که کارآیی استفاده از نیتروژن ممکن است بخاطر هدر رفت آن از طریق تصعید، دی‌نیتریفیکاسیون، آبشویی، جذب نیتروژن و یا عدم استفاده مؤثر از آن، کاهش یابد (۲۹). لی و همکاران (۲۰۲۳) نیز دلیل کاهش کارآیی استفاده نیتروژن در سطوح بالاتر کود نیتروژنه را تلفات نیتروژن به حالت-های مختلف دانست. گزارشات زیادی مبنی بر کاهش کارآیی استفاده از نیتروژن در سطوح بالای مصرف نیتروژن وجود دارد (۸). نتایج حاصل از پژوهش کاکابوکی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با افزایش سطح مصرف نیتروژن از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارآیی استفاده از نیتروژن در کینوا به‌ترتیب از ۱۱/۶۹ کیلوگرم بر کیلوگرم به ۸/۵۱ کیلوگرم بر کیلوگرم کاهش پیدا کرد (۲۰).



شکل ٦- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای کارآیی استفاده از نیتروژن در کلزا

Figure 6. Mean comparison of the effects of different levels of nitrogen at each bacteria level for nitrogen utilization efficiency in canola



شکل ۷- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در هر سطح باکتری برای انتقال مجدد نیتروژن در کلزا

Figure 7. Mean comparison of the effects of different levels of nitrogen at each bacteria level for nitrogen remobilization in canola

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح باکتری، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means comparison was done using L.S. Means procedure and at each level of bacteria, means with at least one common letter are not significantly different.

انتقال مجدد نیتروژن: نتایج نشان از یک روند صعودی- نزولی انتقال مجدد نیتروژن در هر دو سطح کاربرد و عدم کاربرد باکتری دارد، اما به‌طور کلی با افزایش در سطوح نیتروژن از انتقال مجدد نیتروژن

کاسته شده است. در شرایط عدم کاربرد باکتری ابتدا در سطح کاربرد ۲۵ کیلوگرم نیتروژن از انتقال مجدد کاسته و مجددا در سطح کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن به انتقال مجدد افزوده شد و پس از آن روند نزولی مشاهده گردید. در شرایط عدم کاربرد باکتری، کم‌ترین و بیشترین درصد انتقال مجدد به‌ترتیب با میانگین ۷۹/۳۸ و ۸۹/۷۹ درصد به تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عدم کاربرد نیتروژن مرتبط بود. در شرایط کاربرد باکتری نیز بیشترین درصد انتقال مجدد با میانگین ۸٦/۵۲ درصد به تیمار عدم کاربرد نیتروژن و کم‌ترین آن (۷٤/٤٦ درصد) در شرایط کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مرتبط بود (شکل ۷). اگر تقاضای نیتروژن توسط گیاه بیشتر از مقدار نیتروژن جذب شده توسط ریشه باشد، ذخایر قبلی نیتروژن در بافت‌های رویشی به‌سرعت به‌سمت دانه انتقال می‌یابد (۲۰). پس از مرحله گرده‌افشانی، غلظت نیتروژن در برگ‌ها و همینطور فعالیت متابولیکی به‌دلیل پیشرفت پیری کاهش می‌یابد، در این زمان فرایند انتقال مجدد اتفاق می‌افتد و برگ‌های مسن‌تر نیتروژن خود را به‌صورت اسیدهای آمینه به‌دست آمده از تجزیه پروتئین‌ها به اندام‌های جوان در حال رشد مانند برگ‌های جوان و دانه منتقل می‌نمایند (۹). احتمالاً در این پژوهش ذخایر قبلی گیاه به اندازه کافی صورت گرفته است و همین موضوع موجب کاهش درصد انتقال مجدد در کلزا گردیده است.

نتایج حاصل از پژوهش اسکجورینگ و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که با افزایش مصرف کود نیتروژنه (از ۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، میزان انتقال مجدد نیتروژن از ساقه، برگ و غلاف‌ها به دانه‌ها تا ۸۰ درصد فزایش یافت (۳۲). ژان و همکاران (۲۰۲۳) گزارش دادند که گرچه میزان مصرف کود تأثیر معنی-داری بر میزان انتقال مجدد نیتروژن نداشت، اما بیشترین میزان انتقال مجدد در بالاترین سطح از مصرف کود مشاهده شد (۹).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه افزایش مصرف کود نیتروژنه تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، درصد عناصر پر مصرف، عملکرد دانه و کارایی جذب نیتروژن کلزا، رقم نپتون، را افزایش می‌دهد. همچنین مشخص شد افزایش سطوح کود نیتروژنه به‌همراه باکتری موجب کاهش انتقال مجدد نیتروژن و کارایی استفاده از نیتروژن می‌شود. با وجودی که افزایش سطوح کود نیتروژنه کارایی مصرف نیتروژن را کاهش داد، اما کاربرد باکتری موجب افزایش آن شد. بعلاوه نتایج با تأکید بر عملکرد دانه، نشان می‌دهد مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به همراه کود زیستی نیتروکسین، در شرایط آزمایش باعث بهبود صفات زراعی و دستیابی به بالاترین عملکرد در کلزا می‌شود. همچنین نتایج اکثر صفات مورد بررسی نشان داد می‌توان با کاربرد کود زیستی نیتروکسین مصرف کود شیمیایی نیتروژنه را تا حدود ۵۰ کیلوگرم در هکتار کاهش داد.

References

1. Jahandideh, M., Barani Mutlaq, M., Dardipour, A., & Ghorbani Nasrabadi, R. (2018). The effect of humic acid on the availability of phosphorus fertilizer and some physiological traits of rapeseed. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, *23*(6), 884-873.
2. FAO. (2022). Food outlook, Biannual Report on Global Food Markets. Available in: https://openknowledge.fao.org/items/8631452d-c58c-4aa6-8bce-c5fe7bafa02c
3. Iran Agricultural Statistics. (2021). Ministry of Agriculture-Jahad, Planning

and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center.

4. Bakhsandeh, A. M., Hamdi Shangri, A., Qurina, M., & Fathi, Q. A. (2015). Investigating the effect of planting delay and nitrogen levels on seed yield, morphological traits and chlorophyll index of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Ahvaz weather conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *6*, 69-75.
5. Dabighi, Kh., Fateh, A., & Ayneband, A. (2016). Effect of different green manure crops and nitrogen sources on grain yield, oil content and some qualitative traits of canola (*Brassica napus*) var. 401. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, *29*(2), 137-154.
6. Fazli-Kakhki, S. F., Goldani, M., Soleimani Far, F., & Beykzadeh, N. (2022). Response of Two Rapeseed Cultivars (*Brassica napus* L.) in Terms of Growth Indices, Yield and Yield Components to Method of Nitrogen Fertilizer Application in Gonbad-e Qabus Plain. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16*(62), 255-270.
7. Chakherloo, M., Basharat, S., & Reza Vardinjad, V. (2019). Effect of nitrogen and salinity on irrigation water yield and productivity at different soil moisture levels. *Applied Soil Research*, *8*(4), 116-130.
8. Li, J., Zhou, Y., Gu, H., Lu, Z., Cong, R., Li, X., & Lu, J. (2023). Synergistic effect of nitrogen and potassium on seed yield and nitrogen use efficiency in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *European Journal of Agronomy*, *148*, 126875.
9. Zhan, N., Xu, K., Ji, G., Yan, G., Chen, B., Wu, X., & Cai, G. (2023). Research Progress in High-Efficiency Utilization of Nitrogen in Rapeseed. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(9), 7752.
10. Lou, H., Zhao, B., Peng, Y., El-Badri, A. M., Batool, M., Wang, C., & Zhou, G. (2023). Auxin plays a key role in nitrogen and plant density-modulated root growth and yield in different plant types of rapeseed. *Field Crops Research*, *302*, 109066.
11. Hosseini, S. M. A., Taslimi, A., Karmi, Y. A., & Dastfal, A. (2019). The Effect of Nitrogen Biofertilizers on Yield and Yield Components of Two Wheat Cultivars (Chamran and Shiroodi). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(8), 1927-1936.
12. Ghanbari, M., Mokhtasi Bidgoli, A., Talebi Siah Saran, P., Pirani, H., & Karamniya, S. (2016). Evaluating the efficiency of *Azotobacter* in combination with *Pseudomonas putida* phosphate dissolving bacteria in soybean (*Glycine max* Merr.) under different irrigation regimes. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 13*(52), 189-210.
13. Safari, M. R., Dadashi, M. R., Faraji, A., & Armin, M. (2023). Effect of biofertilizer and drought stress on quantitative and qualitative traits in some winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Romanian Agricultural Research*, *40*, 1563-1578.
14. Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability - a review. *Molocule*, *21*, 1-17.
15. Gholami, M., Kuchakzadeh, A., & Siadat, S. A. (2022). Evaluation the nutrient content of different rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under the effect of *Azotobacter* and irrigation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(1), 27-38.
16. Novozamsky, I., Van Eck, R., Van Schouwenburg, J. C. H., & Walinga, I. (1974). Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, *22*, 3-5.
17. Emami, A. (1996). Plant analysis methods. Publication of Research Organization, Agricultural Extension Training, No. 982. *Publications of Soil and Water Research Institute*. *1*, 126 p.
18. Peterson, J. R., Flanagan, J., & Shmact, K. T. (2002). PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. *Trans ASAE*, *45*(6), 1859-1867.
19. Bingham, I. J., Karley, AJ., White, P. J., Thomas, W. T. B., & Russell, J. R.

(2012) Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *European Journal of Agronomy*, *42*, 49-58.

20. Kakabouki, I. P., Hela, D., Roussis, I., Papastylianou, P., Sentras, A. F., & Bilalis, D. J. (2018). Influence of fertilization and soil tillage on nitrogen uptake and utilization efficiency of quinoa crop (*Chenopodium quinoa* Wild.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 18*, 220-235.
21. Shakeri, A., Amini Dehaghi, M., Tabatabai, A., & Modares Sanavi, A. M. (2012). The effect of chemical and biological fertilizers on yield, yield components, oil percentage and protein content of sesame cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 22*,71-82.
22. Rastgo, B., Ebadi, A., & Permon, Q. (2013). Investigating the effect of nitrogen consumption on yield and composition of safflower seed reserves. *Crop Physiology*, *6*(21), 85-102.
23. Pedraza, R. O., Bellone, C. H., Bellone, S. C. D., Sorte, P. M. F. B., & Teixira, K. R. D. S. (2009). *Azospirillium* inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *Eourpean Journal of Soil Biology, 45*, 36-43.
24. Sattarzadeh, E., Yarnia, M., Khalilvand Behrooznia, E., Mirshekari, B., & Rashidi, V. (2023). Investigation of the possibility of reducing the effects of low irrigation of lavender (*Lavandula officinalis* L.) using biofertilizers and phosphorus through changes in some morphological and biochemical characteristics. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 22*, 44-52.
25. Bakhtiari, M., Ganjali, H. R., Mehraban, A., & Ebrahimi, A. (2016). Investigating the effects of nitrogen and phosphorus application on quantitative and qualitative yield of safflower in Sistan region. *New Findings in Agriculture*, 10, 241-253.
26. Pandiaraj, T., Selvaraj, S., & Ramu, N. (2015). Effects of crop residue management and nitrogen fertilizer on soil nitrogen and carbon content and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) in two cropping systems. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 249-260.
27. Tawhidi Moghadam, H.R., Ghoshaqi, F., Zakari, A., & Hadi, H. (2008). Evaluation of *Azospirillum* and *Azotobacter* with nitrogen chemical fertilizer utilization on yield of fodder maize (*Zea mays* L.). *Dynamic Agriculture*, 5, 355-349.
28. Esitken, A., Yildiz, H. E., Ercisli, S., Donmez, M. F., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effect of plant growth promoting bacteria on yield, growth and nutrient content of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124, 62-66.
29. Nasrollahzadeh, A., & Ahmad, Gh. (2018). The effect of application using nitragin and nitroxin biofertilizers on reduce the use of nitrogen chemical fertilizer in sunflower cultivation (*Helianthus annuus* L.). *Environment Conservation Journal*, 19, 39-46.
30. Latifi, H., Khorram-Del, S., Nasiri-Mahlati, M., & Farzaneh Belgerdi, M. R. (2017). Effect of nitrogen fertilizer and plant density on seed yield and oil yield of sesame using a central composite design. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 25(3), 125-140.
31. Ameri, A.A., Nasiri-Mahlati, M., & Rizvani-Moghadam, P. (2016). The effect of different amounts of nitrogen and density on the efficiency of nitrogen use, flower yield and effective ingredients of marigold. *Iranian Agricultural Research Journal*, 5(2), 315-325.
32. Schjoerring, J.K., Bock, J.G.H., Gammelvind, L., Jensen, C. R., & Mogensen, V.O. (1995). Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation. *Plant and Soil,* 177, 255–264.