



Effect of nitrification inhibitor nitrapyrin and different levels of nitrogen fertilizer on biological yield and nitrogen harvest index in Canola

Seyyede Fahimeh Safdari¹ | Fatemeh Bena Kashani^{2✉} | Azam Borzouei³ | Seyed Farhad Saberali⁴

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Aburaihan Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: f.safdari@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Aburaihan Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: benakashani@ut.ac.ir
3. Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran. E-mail: aborzouei@aeoi.org.ir
4. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: saberali@modares.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 18 May 2025
Received in revised form
13 August 2025
Accepted 10 September 2025
Published online 29 September 2025

ABSTRACT

Objective: Nitrogen plays a pivotal role in modern agriculture as a key determinant of crop productivity, particularly in oilseed crops like rapeseed (*Brassica napus* L.). However, nitrogen use efficiency (NUE) in agricultural systems remains alarmingly low, with significant nitrogen losses occurring through nitrification, leaching, and volatilization processes. These losses not only represent economic waste but also contribute to serious environmental concerns, including groundwater contamination and greenhouse gas emissions. This study was designed to comprehensively evaluate the effects of different nitrogen fertilizer levels combined with the nitrification inhibitor nitrapyrin on growth parameters, yield components, and nitrogen use efficiency of two commercially important rapeseed genotypes under the warm and humid agro-climatic conditions of Pakdasht, Tehran province.

Method: The experiment was conducted as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications during the 2021-2022 growing season. The main factor included two rapeseed genotypes (Roshana and Zafar), while the sub-factor consisted of five urea fertilizer levels (0, 50, 100, 150, and 200 kg ha⁻¹) with and without nitrapyrin (2-chloro-6-trichloromethyl pyridine). Measured traits included seed yield, biological yield, harvest index, plant height, and other morphological characteristics.

Results: The study revealed several important findings: (1) Nitrogen application up to 150 kg ha⁻¹ significantly improved all growth and yield parameters, with diminishing returns observed at higher application rates; (2) Nitrapyrin application consistently enhanced nitrogen use efficiency by 18-22% across all nitrogen levels; (3) The combination of 150 kg N ha⁻¹ with nitrapyrin produced optimal results, increasing seed yield by 23.5% (3542 kg ha⁻¹) compared to the same nitrogen level without inhibitor; (4) Biological yield showed an 11.2% improvement with nitrapyrin use; (5) The inhibitor extended nitrogen availability in the ammonium form by 3-4 weeks, better matching crop demand; (6) Environmental nitrogen losses were reduced by 28-35% with nitrapyrin application. (7) Grain nitrogen percentage and harvest index were significantly influenced by varying nitrogen fertilizer levels. Increasing nitrogen application rates led to a rise in both harvest index and grain nitrogen concentration. However, shoot nitrogen content remained unaffected by the different nitrogen treatments.

Conclusions: This research demonstrates that the judicious combination of moderate nitrogen fertilization (150 kg ha⁻¹) with nitrapyrin represents an optimal management strategy for rapeseed production in warm, humid environments. The treatment balanced crop nutritional requirements with environmental protection, improving nitrogen use efficiency while reducing potential pollution. These findings have significant implications for sustainable nitrogen management protocols in oilseed production systems, particularly in regions facing similar climatic challenges and environmental concerns. Future research should investigate long-term soil health impacts and economic feasibility of this approach across different agro-ecosystems.

Keywords:

Rapeseed
Nitrogen management
Nitrapyrin
Seed yield
Sustainable agriculture

Cite this article: Safdari, S. F., Bena Kashani, F., Borzouei, A., & Saberali, S. F. (2025). Effect of nitrification inhibitor nitrapyrin and different levels of nitrogen fertilizer on biological yield and nitrogen harvest index in Canola. *Journal of Crops Improvement*, 27 (3), 437-449. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.395503.2932>





تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپرین و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد زیستی و شاخص برداشت نیتروژن در کلزا

سیده فهیمه صفدری^۱ | فاطمه بناکاشانی^۲ | اعظم برزوئی^۳ | سید فرهاد صابرعلی^۴

۱. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان - دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: f.safdari@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان - دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: benakashani@ut.ac.ir
۳. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران. رایانامه: aborzouei@aeoi.org.ir
۴. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: saberali@modares.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
هدف: نیتروژن از عناصر حیاتی در کشاورزی است که نقش تعیین کننده‌ای در افزایش عملکرد گیاهان زراعی دانه روغنی مانند کلزا (<i>Brassica napus</i>) دارد. با این حال، کارایی پایین مصرف نیتروژن و هدررفت آن از طریق فرایندهای نیتریفیکاسیون و آبشویی، چالش‌های جدی در کشاورزی پایدار ایجاد نموده است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپرین بر عملکرد اجزای عملکرد دو ژنوتیپ کلزا در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب پاکدشت تهران انجام شد. روش پژوهش: آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارها شامل دو ژنوتیپ کلزا (روشنا و ظفر) به عنوان عامل اصلی و ترکیبی از پنج سطح کود اوره (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد و عدم کاربرد نیتراپرین (۲-۶-تری کلرو متیل پیریدین) به عنوان عامل فرعی بود. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، ارتفاع بوته و سایر ویژگی‌های مورفولوژیک بودند. یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش سطح نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار موجب بهبود معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی گردید. کاربرد نیتراپرین نیز به‌طور میانگین باعث افزایش ۲۰ درصدی عملکرد دانه و ۸ درصدی عملکرد زیستی شد. بیش‌ترین عملکرد دانه (۳۵۴۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه نیتراپرین حاصل شد. این نتایج نشان‌دهنده نقش مؤثر نیتراپرین در کاهش فرایند نیتریفیکاسیون و افزایش کارایی مصرف نیتروژن می باشد. همچنین درصد نیتروژن دانه و شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن قرار داشت. با افزایش سطوح نیتروژن شاخص برداشت و غلظت نیتروژن دانه افزایش یافت، اما محتوای نیتروژن اندام هوایی تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن قرار نگرفت. نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با نیتراپرین به عنوان یک راه‌کار مدیریتی مؤثر برای دستیابی به حداکثر عملکرد کلزا در شرایط مشابه توصیه می‌شود. این روش ضمن تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه، از طریق کاهش تلفات نیتروژن، گامی مؤثر در جهت کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست محسوب می‌گردد.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷ کلیدواژه‌ها: کلزا مدیریت نیتروژن نیتراپرین عملکرد دانه کشاورزی پایدار

استناد: صفدری، سیده فهیمه؛ بناکاشانی، فاطمه؛ برزوئی، اعظم و صابرعلی، سید فرهاد (۱۴۰۴). تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپرین و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد زیستی و شاخص برداشت نیتروژن در کلزا. *به زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۳)، ۴۳۷-۴۴۹.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.395503.2932>



۱. مقدمه

گیاه کلزا^۱ از تیره چلیپاییان و یکی از مهم‌ترین محصولات دانه روغنی در ایران و جهان است که ۱۳ درصد از مصرف سرانه جهانی روغن را به خود اختصاص می‌دهد (چن^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). روغن کلزا سومین روغن پرمصرف در جهان پس از سویا و روغن پالم است (رامن^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). سطح زیر کشت کلزا در ایران در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ حدود ۱۸۰ هزار هکتار و تولید سالانه ۲۸۰ هزار تن بود (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۱).

یکی از مهم‌ترین عوامل مهم در افزایش عملکرد کلزا تعیین صحیح نیاز کودی آن به نیتروژن و بهترین زمان مصرف این عنصر غذایی است (دلبرت^۴ و همکاران، ۱۹۸۹). کلزا گیاه به دلیل نیاز تغذیه‌ای بالا و توانایی جذب قابل توجه نیتروژن از خاک، می‌تواند نقش مهمی در کاهش آبشویی نترات از سامانه‌های زراعی ایفا کند (امین‌پناه^۵ و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال، مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه نه تنها موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود، بلکه پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به دنبال دارد.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی به بررسی اثرات نیتروژن بر رشد و عملکرد کلزا پرداخته‌اند. نیتروژن، عملکرد کلزا را از طریق برخی پارامترهای رشد مانند تعداد شاخه و تعداد خورجین در هر گیاه و همچنین تولید بوته‌های قوی تر دارای ساقه‌های قطورتر و بلندتر و شاخص سطح برگ بیش‌تر افزایش می‌دهد (دوری و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش بی‌رویه در مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش هزینه و همچنین مصرف زیاد منابع فسیلی شده و از طرفی دیگر باعث ورود مقدار زیادی از نیتروژن به خاک، اتمسفر و آب‌های زیرزمینی می‌شود. تشدید استفاده از کودهای نیتروژن در چند سال اخیر و نیز در آینده اثر محدودکننده شدیدی روی تنوع میکروارگانیسم‌ها و کارکرد ریشه گیاهان زراعی دارد. وقتی نمی‌توان از مصرف مفرط نیتروژن اجتناب کرد باید ژنوتیپ‌هایی را پیدا کرد که قادر به جذب و انباشت غلظت‌های بالای نیتروژن باشند و یا این که به واسطه برخی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی خاص، کارایی مصرف نیتروژن بالایی داشته باشند. بنابراین، کاربرد به اندازه نیتروژن و استفاده از ژنوتیپ‌هایی که از نیتروژن به کار رفته استفاده بهینه‌ای نمایند، می‌تواند تأثیر به‌سزایی در افزایش عملکرد دانه کلزا داشته باشد (براتی^۶ و همکاران، ۲۰۱۹).

بخشی از آثار مخرب زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژن به صورت نیتروژن اکسید^۷ می‌باشد که خود از محصولات جانبی فرایند نیتریفیکاسیون (فرایند تبدیل آمونیوم به نترات توسط اکسیدکننده‌های آمونیاک) می‌باشد. در این خصوص بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون با مهار آنزیم‌های آمونیاک مونواکسیژناز ماندگاری آمونیوم در خاک را افزایش داده و علاوه بر افزایش جذب آن توسط گیاه از آبشویی آن نیز تا حدودی جلوگیری می‌کنند که علاوه بر افزایش عملکرد زراعی در حفظ محیط زیست نیز مؤثر می‌باشند (برزویی^۸ و همکاران، ۲۰۲۱). در واقع نیتراپیرین باکتری‌های اکسیدکننده آمونیاک^۹ مانند

1. *Brassica napus* L.

2. Chen

3. Raman

4. Delbert

5. Aminpanah

6. Barati

7. N2O

8. Borzouei

9. Ammonia oxidizing bacteria (AOB)

نیتروزوموناس را هدف قرار می‌دهد و با غیرفعال کردن سیستم مونواکسیژناز آمونیاک^۱ از نیتریفیکاسیون جلوگیری می‌کند (ونلی^۲ و همکاران، ۱۹۹۲). در نتیجه بازدارنده نیتریفیکاسیون اولین مرحله نیتریفیکاسیون، اکسیداسیون آمونیوم به نیتريت را مهار می‌کند (ودوارد^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده از مهارکننده‌های نیتریفیکاسیون^۴ یک استراتژی برای کاهش هدررفت نیتروژن و افزایش راندمان مصرف نیتروژن^۵ در سیستم‌های کشاورزی است (آبالوس^۶ و همکاران، ۲۰۱۴). این ترکیبات شیمیایی با کاهش فعالیت باکتری‌های نیترات‌ساز، تبدیل آمونیوم به نیترات را در خاک کند می‌کنند (بارت^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، استفاده از کودهای از پیش ترکیب‌شده با بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون با هدف بهبود هماهنگی بین عرضه نیتروژن و تقاضای محصول، افزایش کارایی مصرف نیتروژن، کاهش تلفات نیترات و افزایش عملکرد انجام می‌شود (لدها^۸ و همکاران، ۲۰۰۵). نیتراپیرین (۲-کلرو-۶-تری‌کلرو متیل پیریدین) یک مهارکننده نیتریفیکاسیون تجاری پرکاربرد است که نشان داده شده است که باعث افزایش حفظ نیتروژن خاک و عملکرد در محصولات مختلف می‌شود. به‌طور متوسط، کاربرد نیتراپیرین منجر به افزایش ۷ درصدی عملکرد محصول و افزایش ۲۸ درصدی حفظ نیتروژن خاک می‌شود، حالی‌که در حالی‌که آبشویی نیتروژن را ۱۶ درصد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را ۵۱ درصد کاهش می‌دهد (ولت^۹ و همکاران، ۲۰۰۴). نیتراپیرین به‌عنوان ترکیب آلی و مهارکننده فرایند نیتریفیکاسیون با کودهای نیتروژن کلاته می‌شود و طول مدت نگهداری آمونیوم در محیط ریشه را افزایش می‌دهد (بهندری^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰). کاربرد این ماده می‌تواند موجب افزایش شاخص برداشت نیتروژن، سطح برگ، وزن خشک گیاه و عملکرد دانه شود (مقدم^{۱۱} و همکاران، ۱۴۰۴). یک متاآنالیز جهانی از آزمایش‌های میدانی گزارش داد که نیتراپیرین میانگین عملکرد دانه را برای گندم، ۲ درصد و برای ذرت ۹ درصد افزایش داده است (اشمیت^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۲؛ کياتو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به اهمیت مدیریت بهینه نیتروژن در کشت کلزا و نقش بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپیرین بر رشد و عملکرد دو ژنوتیپ کلزا طراحی و اجرا شد.

۳. روش‌شناسی پژوهشی

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت، استان تهران در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ با هدف بررسی تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون در ترکیب با سطوح مختلف کود اوره بر صفات مورفولوژیکی و محتوی نیتروژن دانه کلزا انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد.

در این مطالعه ارقام کلزا در دو سطح (روشنا و ظفر) به‌عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. روشنا یک ژنوتیپ

1. Ammonia Monooxygenase
2. Vannelli
3. Woodward
4. Nitrification inhibitor
5. Nitrogen use efficiency
6. Abalos
7. Barth
8. Ladha
9. Wolt
10. Bhandari
11. Moghadam
12. Schmidt
13. Qiao

موتانت است که با اشعه گاما پرتوتابی شده و در سال ۱۳۹۹ معرفی شده است. ظفر یک ژنوتیپ رایج زیر کشت در منطقه می‌باشد. تیمار کودی در ده سطح به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد که از ترکیب پنج سطح کودی (شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره (N=۴۵٪) در هکتار) با مصرف و عدم مصرف بازدارنده نیتروفیکاسیون نیتراپیرین حاصل گردید. بازدارنده نیتروفیکاسیون (نیتراپیرین) طی دو مرحله در فصل رشد همراه با کود اوره و آب ترکیب شد و بر روی سطح خاک محلول‌پاشی شد؛ مرحله اول پس از روزت و همزمان با ساقه‌دهی و مرحله دوم قبل از گلدهی است. مقدار استفاده از بازدارنده ۰/۳۵ گرم به‌ازای یک کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشد که این مقدار باید با کود اوره ترکیب شود (برزویی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). عملیات آماده‌سازی زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار و دو دیسک عمود برهم و ماله‌کشی (تسطیح زمین) در پاییز انجام گردید. براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه کودی، کود پتاس به میزان ۷۵ کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم و فسفر به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات‌تریپل مورد استفاده قرار گرفت. در ضمن، تیمار کودی نیتروژن به سه قسمت مساوی تقسیم شد، به‌طوری‌که یک قسمت به‌صورت پایه و دو قسمت دیگر به‌صورت سرک در ابتدای مراحل ساقه رفتن و قبل از گلدهی اعمال گردید. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به طول شش متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی متر بود. میزان هشت کیلوگرم بذر در هکتار از ارقام مختلف کلزا در ۲۲ مهرماه کشت شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به وضعیت رطوبتی خاک و شرایط محیطی انجام گرفته و در طی دوره رشد کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

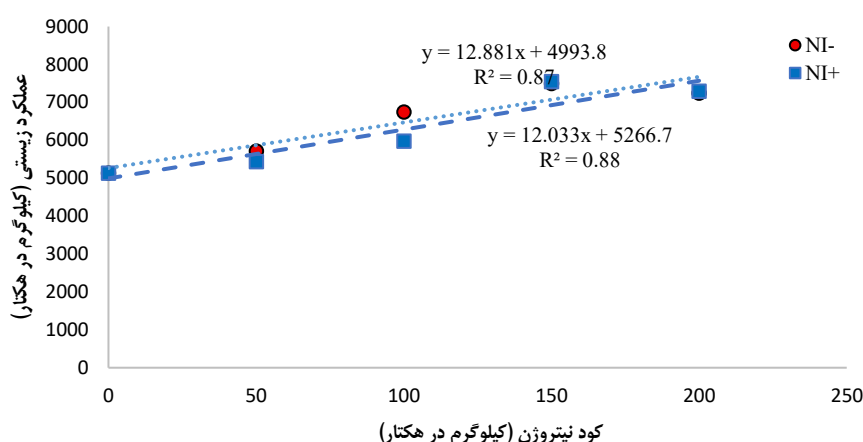
بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)
لومی شنی رسی	۴/۳	۷/۲	۰/۴۷	۰/۰۵	۱۰/۴	۲۸۹/۲

صفات موردبررسی در این آزمایش شامل ارتفاع بوته، متوسط وزن خشک بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه در بوته، طول خورجین، درصد نیتروژن در دانه و اندام هوایی و شاخص برداشت نیتروژن بود. در مرحله برداشت پس از حذف اثر حاشیه معادل نیم متر مربع برداشت شد و پس از قراردادن نمونه‌های برداشت شده در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت با استفاده از ترازو عملکرد زیستی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و میانگین ۱۰ بوته به‌عنوان اندازه‌گیری نهایی منظور شد. غلظت نیتروژن در اندام هوایی و در دانه نیز به‌روش تیتراسیون و با استفاده از دستگاه کج‌لدال اندازه‌گیری شد (وسترمن^۲، ۱۹۹۰). میزان نیتروژن در اندام هوایی و دانه از حاصلضرب وزن خشک اندام هوایی در غلظت نیتروژن تعیین گردید. شاخص برداشت نیتروژن نیز با تقسیم میزان نیتروژن دانه بر میزان نیتروژن اندام هوایی محاسبه شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه از محل پایین ساقه برش داده شد و به‌وسیله کولیس اندازه‌گیری انجام شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در انتهای دوره رشد از کف تا بالای گل آذین به‌وسیله متر اندازه‌گیری صورت گرفت. به‌منظور تجزیه آماری، پس از آزمون نرمال‌بودن خطای آزمایشی داده‌ها، تجزیه واریانس و تجزیه رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. میانگین داده‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار^۳ و در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. نمودارها نیز به‌وسیله نرم‌افزار اکسل^۴ (نسخه ۲۰۱۶) رسم شد.

۴. نتایج پژوهش

۴.۱. عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف کود نیتروژن و بازدارنده نیتریفیکاسیون تأثیر معنی‌داری بر میزان تولید ماده خشک در اندام‌های هوایی کلزا داشت، با این وجود ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک نداشت (جدول ۲). افزایش سطوح مختلف کود نیتروژن سبب افزایش ماده خشک گردید، اما بین تیمار کودی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. ترکیب بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپیرین به کود اوره موجب افزایش هشت درصدی عملکرد زیستی نسبت به زمانی که کود اوره به‌تنهایی استفاده شد، گردید (شکل ۱).



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و نیتراپیرین بر عملکرد زیستی کلزا

۴.۲. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و نیتراپیرین قرار داشتند. هم‌چنین برهم‌کنش ژنوتیپ و بازدارنده بر میزان عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد ژنوتیپ روشنا، ۱۷ درصد عملکرد بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ ظفر داشت (جدول ۳). هم‌چنین بازدارنده نیتریفیکاسیون موجب افزایش ۲۰ درصدی عملکرد دانه کلزا شد. نیتروژن اثر افزایش‌دهی بر عملکرد دانه کلزا داشت و افزایش سطوح مختلف کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه گردید. اما بین تیمار کودی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

۴.۳. ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نیتراپیرین و سطوح مختلف کود نیتروژن بر ارتفاع بوته کلزا معنی‌دار بود، درحالی‌که تأثیر ژنوتیپ و اثر متقابل نیتراپیرین و کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته در هر دو ژنوتیپ مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن و کم‌ترین ارتفاع بوته در هر دو ژنوتیپ مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). کاربرد نیتراپیرین به‌همراه کود اوره اثر فزاینده و مثبت در ارتفاع بوته داشت. به‌صورتی که موجب افزایش شش درصدی ارتفاع کلزا نسبت به کاربرد کود اوره به‌تنهایی شد.

تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپیرین و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد ... / سیده فاطمه صفدری و همکاران ۴۴۳

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و نیتراپیرین بر صفات دو ژنوتیپ کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد شاخه فرعی	طول خورجین	میزان نیتروژن دانه	میزان نیتروژن اندام هوایی	شاخص برداشت نیتروژن
تکرار	۲	۴۵۰۳۳۹	۱۳۷۶۳۸/۸۶	۱۰۷/۷۹	۰/۳۸۸	۰/۹۳۰	۱/۰۴۷	۰/۲۵۱	۰/۶۰۴	۰/۶۶۹
ژنوتیپ	۱	۱۳۲۸۷۹۶**	۵۷۴۰/۳۹ ^{ns}	۱۸/۲۲ ^{ns}	۳۴/۳۴**	۰/۴۷ ^{ns}	۱/۰۹۳ ^{ns}	۰/۲۵۳ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۴۶۵ ^{ns}
خطای اول	۲	۵۱۴۲۵۱	۳۹۵۲۷۹	۴۲/۲۷	۴۶/۷۴	۲/۹۳	۰/۷۷	۰/۲۰۱	۰/۳۲	۰/۴۵
کود نیتروژن	۴	۱۰۱۶۲۳۳**	۱۱۷۹۵۰۰۰**	۷۰۰/۴۲	۶/۰۵**	۳۳/۸۹**	۰/۲۴۱ ^{ns}	۷/۱۸۶*	۰/۴۹۰ ^{ns}	۰/۱۰۰۰**
بازدارنده نیتریفیکاسیون	۱	۵۹۱۸۵۲ ^{ns}	۹۶۳۳۳۶**	۱۹۶/۰۳*	۰/۰۰۱ ^{ns}	۹/۱۸*	۰/۰۳۵ ^{ns}	۶/۱۷ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۱۳۰ ^{ns}
ژنوتیپ×کود نیتروژن	۴	۱۰۳۲۷۶ ^{ns}	۱۲۷۰۸ ^{ns}	۳۰/۲۷ ^{ns}	۰/۹۵ ^{ns}	۴/۲۶۷ ^{ns}	۰/۳۷۸ ^{ns}	۰/۹۷۰ ^{ns}	۰/۱۹۲ ^{ns}	۰/۸۹۳ ^{ns}
ژنوتیپ×بازدارنده نیتریفیکاسیون	۱	۸۷۴۸۰۰**	۱۸۷۵۰۰ ^{ns}	۵۰/۰۲ ^{ns}	۵/۳۳ ^{ns}	۴/۶۸۷ ^{ns}	۰/۲۰۰ ^{ns}	۰/۴۹۸ ^{ns}	۲/۷۳ ^{ns}	۰/۳۷۹ ^{ns}
کود نیتروژن×بازدارنده نیتریفیکاسیون	۳	۱۴۰۳۲ ^{ns}	۴۴۲۷۷**	۳/۴۰ ^{ns}	۶/۲۷۷ ^{ns}	۱/۲۸۹ ^{ns}	۱/۹۳۷ ^{ns}	۰/۵۱۹ ^{ns}	۰/۰۶۴ ^{ns}	۰/۵۱۹ ^{ns}
ژنوتیپ×کود نیتروژن×بازدارنده نیتریفیکاسیون	۳	۱۷۷۶۹۱ ^{ns}	۵۲۵۰۰ ^{ns}	۴/۲۹۸ ^{ns}	۳/۶۱۱ ^{ns}	۰/۵۷۶ ^{ns}	۰/۰۹۶ ^{ns}	۰/۶ ^{ns}	۰/۵۶۴ ^{ns}	۰/۴۴۱ ^{ns}
خطای دوم	۱۶	۱۴۶۶۶۳	۸۴۳۷۶۰	۴۶/۷۴	۰/۳۴	۳/۶۱	۰/۴	۰/۶۳	۰/۷۷۳	۰/۳۰۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۶۱	۴/۳	۵/۲۲	۳۴	۱۱/۲	۱۹/۲۲	۲۱/۴۲	۳۱/۳۹	۲/۴۲

*, ** و *** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری می باشد.

Effect of Nitrification Inhibitor Nitrapyryn and Different Levels of Nitrogen Fertilizer on Biological Yield and Nitrogen Harvest Index in Canola.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین صفات مختلف دو ژنوتیپ کلزا تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و کاربرد بازدارنده نیتراپیرین

ژنوتیپ	سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی متر)
	NI+	NI-	NI+	NI-	NI+
صفر	۱۲۵۰	-	۵۸۳	۱۱۰/۳e	۲/۳۳ a
۵۰	۱۳۱۵c	۲۱۱۶ ab	۵۷۰۰ ed	۱۱۴/۳ed	۴/۳۳d
۱۰۰	۱۹۰۸bc	۲۰۰۵ab	۶۷۳۳bc	۱۱۲۳cd	۷/۳۳c
۱۵۰	۲۱۳۵ab	۲۶۲۵a	۷۵۰۰ ab	۱۳۲/۶c	۹/۶ab
۲۰۰	۱۹۰۳bc	۲۵۸۴a	۷۱۶۶bc	۱۳۳ ab	۱۳۴ a
صفر	۱۰۹۱d	-	۵۸۳۰ e	۱۰۱ c	۲/۳e
۵۰	۱۴۲۱bc	۱۰۵۶ab	۵۷۳۳cd	۱۱۴/ bc	۴/۶ad
۱۰۰	۱۶۹۱cd	۱۴۹۱cd	۶۷۶۶b	۱۲۱ ab	۷/۳۳cd
۱۵۰	۱۸۸۸abc	۱۶۹۳abc	۷۷۳۳ a	۱۲۲ ab	۱۰/۳ ab
۲۰۰	۲۱۰۲a	۱۹۵۶ab	۷۹۰۰ ab	۱۲۸a	۱۲a

میانگین های هر ستون که دارای حروف مشترک می باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

NI+ : با کاربرد بازدارنده، NI-: بدون کاربرد بازدارنده.

ادامه جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین صفات مختلف دو ژنوتیپ کلزا تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و کاربرد بازدارنده نیتراپیرین

ژنوتیپ	سطوح کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	تعداد شاخه فرعی	طول خورجین (سانتی متر)	میزان نیتروژن دانه (درصد)	میزان نیتروژن اندام هوایی (درصد)	شاخص برداشت نیتروژن (درصد)
	NI+	NI-	NI+	NI-	NI+	NI-
صفر	۴/۶۶e	-	۴/۱a	۲/۴d	-	۲/۴d
۵۰	۷/۶bcd	۵/۶cd	۴/۶a	۲/۶cd	۳ab	۲/۹cd
۱۰۰	۸abc	۶/۶cd	۴/۳a	۳/۵bc	۲/۸ab	۳/۵bc
۱۵۰	۱۰/۳۳ab	۹/۳abc	۵a	۴/۵a	۲/۵b	۳/۹b
۲۰۰	۱۰/۶a	۹abc	۴/۳a	۴/۵۳a	۲/۷ab	۴/۲ab
صفر	۵/۳۳c	-	۴/۱a	۲/۳c	-	۲/۳c
۵۰	۷abc	۵/۶۶bc	۴/۶a	۴/۹a	۲/۶a	۲/۹bc
۱۰۰	۸abc	۸/۶۶ab	۴/۳a	۴/۵a	۲/۳۶a	۲/۳bc
۱۵۰	۸abc	۷/۶۶abc	۵a	۴/۵a	۳/۵a	۴/۵a
۲۰۰	۹/۶a	۱۰a	۴/۳a	۴/۲a	۲/۹a	۴/۱ab

میانگین های هر ستون که دارای حروف مشترک می باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

NI+ : با کاربرد بازدارنده، NI-: بدون کاربرد بازدارنده.

۴.۴. قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که قطر ساقه تحت تأثیر سطوح مختلف کودی قرار گرفت. به‌علاوه تأثیر ژنوتیپ‌های مختلف بر میزان قطر بوته کلزا معنی‌دار بود (جدول ۲). اما تأثیر مصرف نیتراپرین و همچنین اثر متقابل آن‌ها در میزان قطر ساقه معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که در هر دو ژنوتیپ بیش‌ترین و کم‌ترین قطر ساقه به‌ترتیب مربوط به مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره و تیمار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که ژنوتیپ روشنا ۲۰ درصد قطر ساقه بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ ظفر داشت (جدول ۳).

۴.۵. تعداد شاخه فرعی و طول خورجین

تعداد شاخه فرعی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن قرار داشت. همچنین نیتراپرین و ژنوتیپ‌های مختلف بر تعداد شاخه کلزا تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). همچنین اثر متقابل عامل‌ها نیز با یکدیگر اختلافی معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که در هر دو ژنوتیپ بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد شاخه به‌ترتیب مربوط به مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره و تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد میزان نیتروژن در طول خورجین در شرایط مصرف سطوح مختلف کود نیتروژن و نیتراپرین و ژنوتیپ‌های مختلف افزایش معنی‌داری را باعث نشد (جدول ۲).

۴.۶. میزان نیتروژن دانه و اندام هوایی

درصد نیتروژن دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن قرار داشت، اما کاربرد نیتراپرین و ژنوتیپ‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت. همچنین اثر متقابل عامل‌ها با یکدیگر اختلافی معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). غلظت نیتروژن دانه با ۸۷ درصد افزایش از ۲/۳ درصد در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به ۴/۴۷ درصد در سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن رسید (جدول ۳). همچنین، نتایج نشان داد میزان نیتروژن در اندام هوایی در شرایط مصرف سطوح مختلف کود نیتروژن و نیتراپرین و ژنوتیپ‌های مختلف افزایش معنی‌داری را باعث نشد (جدول ۲).

۴.۷. شاخص برداشت نیتروژن

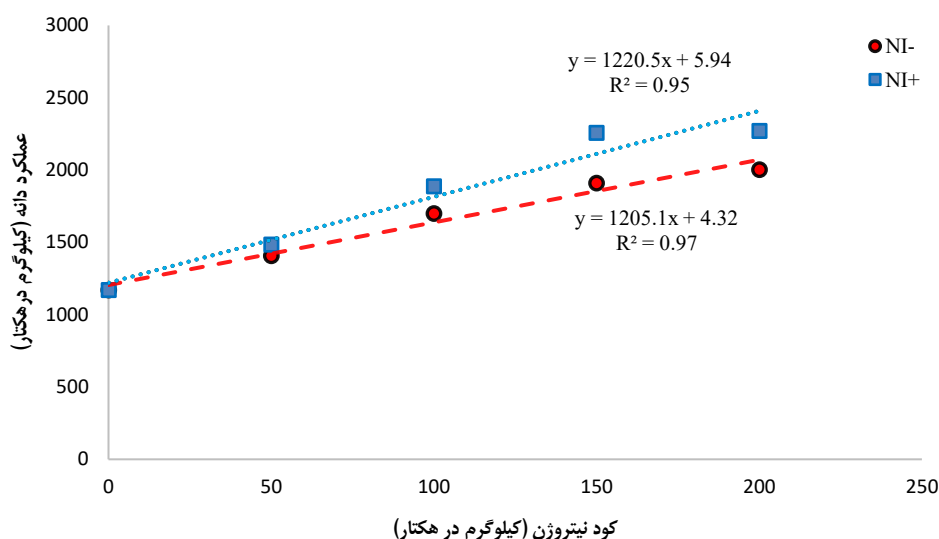
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت نیتروژن کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن قرار داشت، اما این صفت تحت تأثیر کاربرد نیتراپرین و ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تغییر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر متقابل عامل‌ها با یکدیگر اختلافی معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت نیتروژن در هر دو ژنوتیپ مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن است و کم‌ترین شاخص برداشت نیتروژن در هر دو ژنوتیپ مربوط به تیمار شاهد است (جدول ۳).

۵. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کود نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار همراه با بازدارنده نیتروفیکاسیون نیتراپرین، تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد زیستی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و سایر شاخص‌های رشد کلزا داشته است. این یافته‌ها با مطالعات پیشین که نشان داده‌اند نیتروژن نقش کلیدی در رشد رویشی و زایشی گیاهان دارد،

همخوانی دارد (اوبور^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که مصرف بهینه نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) نیازهای تغذیه‌ای کلزا را برآورده کرده و افزایش بیش‌تر آن نه تنها بهبود محسوسی در عملکرد ایجاد نکرد، بلکه می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست شود. این موضوع با پژوهش‌های قبلی که بر وجود یک حد بهینه برای مصرف نیتروژن تأکید دارند، مطابقت دارد (امین‌پناه و همکاران، ۲۰۱۳).

مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش سطح نیتروژن خاک، عملکرد دانه به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافت. پژوهش‌گران مختلف گزارش دادند که عملکرد دانه کلزا با افزایش میزان کود نیتروژن افزایش می‌یابد، که با نتایج ما سازگار است (لین^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ال-سلیمانی^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). عملکرد دانه با افزایش میزان کود اوره به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین، یک رابطه مثبت قوی بین ترکیب نیتراپیرین و کود نیتروژن وجود دارد که عملکرد دانه را به‌صورت خطی افزایش می‌دهد (شکل ۲). در متاآنالیز انجام‌شده توسط آبالوس و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی اثربخشی کود نیتروژن در افزایش بهره‌وری محصول، نتایج نشان داد که استفاده از کود نیتروژن عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (میانگین ۷/۵ درصد). با این حال، اثربخشی کود نیتروژن به عوامل محیطی و مدیریتی مطالعات ارزیابی شده بستگی داشت. به‌طور کلی، در این مطالعه افزایش مقدار نیتروژن منجر به افزایش تجمع عملکرد زیستی می‌شود. به‌طور مشابه، عملکرد زیستی به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر میزان و رقم کود نیتروژن قرار گرفت.



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و نیتراپیرین بر عملکرد دانه کلزا

استفاده از نیتراپیرین به‌عنوان بازدارنده نیتریفیکاسیون، با کاهش سرعت تبدیل آمونیوم به نیترات، فراهمی نیتروژن را برای گیاه افزایش داد و منجر به بهبود جذب نیتروژن و در نتیجه افزایش عملکرد دانه (۲۰ درصد) و عملکرد زیستی (هشت درصد) شد. این نتایج با یافته‌های برزویی و همکاران (۲۰۲۱) و رن^۴ و همکاران (۲۰۲۰) همسو است که نشان دادند بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون با حفظ نیتروژن در فرم آمونیومی، جذب آن را توسط ریشه تسهیل کرده و از هدررفت

آن از طریق آشنوبی جلودگی می‌کنند. از طرفی گزارش شده است که بهبود عملکرد گیاه در شرایط کاربرد نیتراپرین می‌تواند به دلیل انرژی مصرفی کمتر در جذب آمونیوم نسبت به نترات برای گیاه باشد (داوار^۱ و همکاران، ۲۰۱۱؛ زمان^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، نیتراپرین با بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کارایی فتوسنتز^۳ و کاهش تنش اکسیداتیو، رشد گیاه را افزایش می‌دهد (رن و همکاران، ۲۰۲۰).

افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه در پاسخ به مصرف نیتروژن را می‌توان به نقش این عنصر در سنتز هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین نسبت داد (اوبور و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، نیتروژن با تحریک رشد رویشی و افزایش سطح برگ، فتوسنتز و تولید آسمیلات‌ها را بهبود بخشید که این امر به نوبه خود سبب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و عملکرد دانه شد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۶). این نتایج با گزارش‌های صداقت و همکاران (۱۳۹۱) و اریسمن^۴ و همکاران (۲۰۰۴) مبنی بر ارتباط مثبت بین رشد رویشی و پتانسیل عملکرد محصول، همخوانی دارد.

شاخص برداشت نیتروژن به عنوان معیاری برای کارایی انتقال نیتروژن به دانه که در این مطالعه با افزایش مصرف نیتروژن بهبود یافت. فنودی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در یک مطالعه دو ساله مزرعه‌ای نشان دادند که افزایش میزان مصرف کود نیتروژن در کلزا موجب افزایش نیتروژن خاک و افزایش شاخص برداشت نیتروژن در ارقام مختلف کلزا شد. این بهبود می‌تواند ناشی از افزایش فراهمی نیتروژن در خاک و کارایی بالاتر ارقام جدید کلزا در جذب و انتقال این عنصر به دانه‌ها باشد (ویلیامز^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص برداشت با افزایش اختصاصی نیتروژن به خورجین‌ها در کلزا و کاهش هدرروی نیتروژن از طریق مصرف به موقع آن افزایش پیدا می‌کند (یحیی^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، نتایج نشان داد که خاک منطقه پاکدشت از نظر نیتروژن فقیر است، بنابراین مصرف کود نیتروژن به‌ویژه در ترکیب با نیتراپرین، با جبران این کمبود، نقش مهمی در افزایش عملکرد و کیفیت دانه ایفا می‌کند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نتایج این پژوهش نشان داد که بازدارنده نیتریفیکاسیون نیتراپرین تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد زیستی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی کلزا داشت. عملکرد زیستی، ارتفاع بوته، قطر بوته، تعداد شاخه فرعی، میزان نیتروژن دانه و شاخص برداشت نیتروژن کلزا با افزایش میزان کود نیتروژن افزایش یافت. مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار منجر به تولید حداکثری دانه و عملکرد زیستی شد. بنابراین این میزان کود نیتروژن نیازهای نیتروژن گیاه را تأمین کرده و حد مطلوب میزان مصرف نیتروژن در کلزا می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد مصرف نیتراپرین همراه کود اوره موجب افزایش ۲۰ درصدی عملکرد دانه و افزایش هشت درصدی ارتفاع و عملکرد زیستی شد. این مطالعه نشان داد که در شرایط گرم و مرطوب پاکدشت استان تهران، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با نیتراپرین، راه‌کاری مؤثر برای دستیابی به عملکرد مطلوب کلزا است. این روش نه تنها نیازهای تغذیه‌ای گیاه را برآورده می‌کند، بلکه با کاهش هدررفت نیتروژن، از آلودگی محیط‌زیست نیز جلوگیری می‌نماید. بنابراین، استفاده از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون مانند نیتراپرین در کنار مدیریت بهینه کود نیتروژن، می‌تواند به عنوان یک راهبرد پایدار برای افزایش عملکرد کلزا در مناطق با شرایط مشابه توصیه شود.

1. Dawar
2. Zaman
3. Erisman
4. Williams
5. Yahbi

۷. تشکر و قدردانی

از تمام عزیزانی که ما را در این پژوهش یاری و کمک کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

دوری، سهام؛ مرادی تلاوت، مهدی؛ سیادت، علی و بخشنده، عبدالوهاب (۱۳۹۵). تأثیر محلولپاشی نیتروژن بر عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) و شاخص‌های کارایی جذب و مصرف نیتروژن در تاریخ‌های مختلف کاشت. نشریه پژوهش‌های زراعی/ایران، ۱۴(۳)، ۴۸۴-۴۹۳.

صداقت، مزده؛ رزمجو، جمشید و امام، یحیی (۱۳۹۱). اثر تقسیم کود نیتروژن در مراحل رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۲(۶)، ۱۴۴-۱۳۱.

فنودی، فرزاد؛ خزاعی، حمید؛ کافی، محمد و گلدانی، مهدی (۱۳۹۱). بررسی اثر مقدار نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن ارقام جو در شرایط مشهد و دامغان. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۰(۳)، ۷۴-۵۹.

لطفی، هادی؛ برزگر، طاهر؛ قهرمانی، زمان و ربیعی، ولی (۱۳۹۶). بررسی رشد و عملکرد کلزا در شرایط کم‌آبی و سطوح مختلف کود نیتروژن. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۷(۴)، ۱۲۳-۱۱۱.

مقدم، حسین؛ اشکان، جلیلیان؛ زرگران، محمد؛ شهبازی، نیما و امینی، فاطمه (۱۴۰۴). تأثیر نیتراپیرین بر عملکرد ذرت و سورگوم علوفه‌ای در کشت خالص و مخلوط در شرایط متفاوت خاک‌ورزی. نشریه علوم زراعی گیاهان/ایران، ۵۶(۱)، ۸۵-۷۱.

وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۱). آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

References

- Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobenaa, A., Guardiaa, G., & Vallejoa, A. (2014). Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture Ecosystems and Environment Journal*, 189, 136-144.
- Al-Solaimani S. G., Alghabari, F., Zahid, & Ihsan, M.Z. (2015). Effect of different rates of nitrogen fertilizer on growth, seed yield, yield components and quality of canola (*Brassica napus* L.) under arid environment of Saudi Arabia. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 6 (4), 268-274.
- Aminpanah, H. (2013). Effect of nitrogen rate on seed yield, protein and oil content of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Acta Agriculturae Slovenica*, 101(2), 183-190.
- Barth, G., Otto, R., Almeida, R. F., Cardoso, E. J. B. N., Cantarella, H., & Vitti, G. C. (2019). Conversion of ammonium to nitrate and abundance of ammonium-oxidizing-microorganism in Tropical soils with nitrification inhibitor. *Scientia Agricola*, 77(4), e20180370.
- Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., & Karimian, N. (2015). Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid Mediterranean climate. *Agronomy and Soil Science*, 61, 15-32.
- Bhandari, M., Ma, Y., Men, M., Wu, M., Xue, C., Wang, Y., Li, Y., & Peng, Z. (2020). Response of winter wheat yield and soil N₂O emission to nitrogen fertilizer reduction and nitrpyrin application in North China plain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(4), 554-565.
- Borzouei, A., Mander, U., Teemusk, A., Sanz-Cobena, A., Zaman, M., Kim, D.G., Muller, C., Kelestanie, A.A., Amin, P.S., Moghiseh, E., Dawar, K., & Pérez-Castillo, A.G. (2021). Effects of the nitrification inhibitor nitrpyrin and tillage practices on yield-scaled nitrous oxide emission from a maize field in Iran. *Pedosphere*, 8 (19), 526-541.

- Chen, Y., Jia, X., Sun, F., Jiang, S., Liu, H., Liu, Q., & Kong, B. (2020). Using a stable pre-emulsified canola oil system that includes porcine plasma protein hydrolysates and oxidized tannic acid to partially replace pork fat in frankfurters. *Meat Science*, 160, 107968.
- Dawar, K., Khan, A., Sardar, K., Fahad, S., Saud, S., Datta, R., & Danish, S. (2021). Effects of the nitrification inhibitor nitrapyrin and mulch on N₂O emission and fertilizer use efficiency using 15N tracing techniques. *Science of the Total Environment*, 757, 143739.
- Delbert, E. J., & Ulter, R. A. (1989). Sunflower growth and nutrient uptake: Response of tillage system, hybrid maturity and weed control method. *Journal of Soil Science*, 53, 133-138.
- Dori, S., Telawat, M., Seyadat, S., & Bakhshandeh, A. (2011). The effect of nitrogen foliar application on rapeseed (*Brassica napus* L.) yield and nitrogen uptake and utilization efficiency indices at different planting dates. *Journal of Iranian Agricultural Research*, 14 (3), 484-493. (In Persian).
- Erismann, J. W. (2004). The Nanjing declaration on management of reactive nitrogen. *Bioscience Agronomy Journal*, 54, 4286-4287.
- Fanoudi, F., Khazaei, H., Kafi, M., & Goladani, M. (2012). Investigation of the effect of nitrogen content on nitrogen use efficiency of barley cultivars under Mashhad and Damghan conditions. *Journal of Applied Agricultural Research*, 30 (3), 59-74. (In Persian).
- Ladha, J. K., Pathak, H., Krupnik, T. J., Six, J., & van Kessel, C. (2005). Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*, 87, 85-156.
- Lin, Y., Watts, D. B., Torbert, H. A., & Howe, J. A. (2020). Influence of nitrogen rate on winter canola production in the southeastern United States. *Agronomy Journal*, 112, 2978-2987.
- Lotfi, H., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Rabiei, V. (2017). Investigation of rapeseed growth and yield under water deficit conditions and different levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 27 (2), 111-123. (In Persian).
- Ministry of Agricultural Jihad. (1402). Agricultural Statistics, Volume 1: Crops. Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad, Tehran.
- Moghadam, H., Jalilian, A., Zargar, M., Shahbazi, N., & Amini, F. (2025). The effect of Nitrapyrin on the yield of corn and forage sorghum in pure and mixed cropping under different tillage conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56 (1), 71-85. (In Persian).
- Obour, A., Holman, J., & Mengel, D. (2018). Nitrogen Application Effects on Forage Sorghum Biomass Production and Nitrates. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 4 (5), 563-580
- Ozer, H., Polat, T., & Ozturk, E. (2004). Response of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids to nitrogen fertilization: growth, yield and yield components. *Plant, Soil and Environment*, 50(5), 205-211.
- Raman H, Uppal, R. K., & Raman, R. (2019). Genetic solutions to improve resilience of canola to climate change. In kole C, ed. Genomic designing of climate-smart oilseed crops. Berlin (Germany): Springer International Publishing, pp. 75-131.
- Ren, B., HU, J., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., & Zhao, B. (2020). Effects of urea mixed with nitrapyrin on leaf photosynthetic and senescence characteristics of summer maize (*Zea mays* L.) waterlogged in the field. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(6), 1586-1595.
- Qiao, C., Liu, L., Hu, S., Compton, J. E., Greaver, T. L., & Li, Q. (2015). How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Global Change Biology*, 21(3), 1249-1257.
- Schmidt, R., Wang, X. B., Garbeva, P., & Yergeau, É. (2022). The nitrification inhibitor nitrapyrin has non-target effects on the soil microbial community structure, composition, and functions. *Applied Soil Ecology*, 171, Article 104350.
- Sedaghat, M., Razmjoo, J., & Imam, Y. (2012). The effect of nitrogen fertilizer distribution in growth stages on sunflower yield and yield components. *Journal of Crop and Horticultural Production and Processing*, Year 2 (6), 131-144. (In Persian).
- Vannelli, T., & Hooper, A. B. (1992). Oxidation of nitrapyrin to 6-chloropicolinic acid by the ammonia-oxidizing bacterium *Nitrosomonas europaea*. *Applied and Environmental Microbiology*, 58 (7), 2321-2325.
- Wardlaw, I. F. (1990). The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist Journal*, 116, 341-381.
- Williams, S. T., Vail, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency in parent vs. hybrid canola under varying nitrogen availabilities. *Plants*, 10(11), 2364.
- Woodward, E. E., Edwards, T. M., Givens, C. E., Kolpin D. W., & Hladik, M. L. (2021). Widespread Use of the Nitrification Inhibitor Nitrapyrin: Assessing Benefits and Costs to Agriculture, Ecosystems, and Environmental Health. *Environmental Science Technology*, 55, 1345-1353.

- Wolt, J. D. (2004). A meta-evaluation of nitrapyrin agronomic and environmental effectiveness with emphasis on corn production in the Midwestern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 69, 23-41.
- Yahbi, M., Nabloussi, A., Maataoui, A., El Alami, N., Boutagayout, A., & Daoui Kh. (2022). Effects of nitrogen rates on yield, yield components, and other related attributes of different rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties OCL. *Journal of Oléagineux Corps gras Lipides*, 8 (10)
- Zaman, M., Nguyen, M.L., Blennerhassett, J.D., & Quin, B.F. (2008). Reducing NH₃, N₂O and NO₃ –N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. *Biology and Fertility of Soils*, 44(5), 693-705.