Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Investigating the Performance and Physiological Characteristics of Wheat Cultivars Under the Influence of Nitrapyrin Application in Different Tillage Conditions

Ashkan Jalilian[1] | Ghorban Khodabin[2]✉ | Mojdeh Sadat Khayat Moghadam[3] | Ehsan Zandi Esfahan[4] | Fatemeh Amini[5] | Nima Shahbazi[6] | Mohammad Zargaran[7]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: ashkanjalilian@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: G.khodabin@modares.ac.ir
3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: moghadam.mojde@shahroodut.ac.ir
4. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: Zandi@rifr.ac.ir
5. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods Branch, Iran. E-mail: nima.shahbazi@ut.ac.ir
6. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science and Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Fatemeh.amini@qodsiau.ac.ir
7. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mohamad.zargaran@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 5 October 2022
Received in revised form
30 August 2023
Accepted 1 September 2023
Published online 13 December 2023

Keywords:
Nitrate
Nitrification
Photosynthesis
Tillage
Wheat

ABSTRACT

Objective: The use of nitrification inhibitor nitrapyrin is vital for long-term maintenance of urea fertilizer in the soil, preventing it from leaching. Therefore, this study tried to investigate the yield and physiological characteristics of different wheat cultivars under different levels of fertilization and tillage systems.

Methods: The study was performed as a split-split plot based on a randomized complete block design with three replicates in Karaj during two cropping seasons (2019-21). The experimental treatments included two tillage levels (no-tillage and conventional tillage) as the main plot and three fertilizer levels (urea, nitrapyrin + urea combination and control (main plot), and two cultivars (Rokshan and Pishgam)) as the secondary plot.

Results: The results of the composite analysis showed that the highest yield of wheat grain was obtained in Rakhshan cultivar with 8331 kg/ha and the level of urea + nitrapyrin fertilizer was obtained in no-tillage, being 6.15% superior to the level of urea. Also, in both tillage systems, the highest amount of leaf area index and nitrogen productivity index was obtained in the same treatment. Thus, compared to the treatment of urea application, 6.1%, 2.7% in no-tillage and 0.8% and 1.3% in Cultivation was more common.

Conclusion: In general, nitrapyrin improved wheat yield in both tillage levels. In addition to improving plant performance, the use of nitrapyrin can also be effective in reducing environmental hazards caused by the use of chemical fertilizers such as urea.

Cite this article: Jalilian, A., Khodabin, Gh., Zandi Esfahan, E., Amini, F., Shahbazi, N., & Zargaran, M. (2023). Investigating the Performance and Physiological Characteristics of Wheat Cultivars Under the Influence of Nitrapyrin Application in Different Tillage Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 951-964.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.349512.2748

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.349512.2748

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

بررسی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام گندم تحت تأثیر کاربرد نیتراپایرین در شرایط خاک‌ورزی متفاوت

اشکان جلیلیان[۱] | قربان خدابین[۲]✉ | مژده سادات خیاط مقدم[۳] | احسان زندی اصفهان[۴] | فاطمه امینی[۵] | نیما شهبازی[۶] | محمد زرگران[۷]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ashkanjalilian@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: G.khodabin@modares.ac.ir

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: moghadam.mojde@shahroodut.ac.ir

۴. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: Zandi@rifr-ac.ir

۵. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر قدس، تهران، ایران. رایانامه: Fatemeh.amini@qodsiau.ac.ir

۶. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nima.shahbazi@ut.ac.ir

۷. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. تهران، ایران. رایانامه: mohamad.zargaran@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:
خاک‌ورزی
فتوسنتز
گندم
نیترات
نیتریفیکاسیون

چکیده

هدف: کاربرد مهارکننده نیتریفیکاسیون نیتراپایرین به جهت حفظ و نگهداری طولانی‌مدت کود اوره در خاک و جلوگیری از آبشویی آن حیاتی است. از این‌رو، این مطالعه با هدف بررسی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام گندم در شرایط کاربرد سطوح مختلف کودی و خاک‌ورزی اجرا شد.

روش پژوهش: این پژوهش به‌صورت کرت خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه کرج طی دو سال زراعی (از ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح خاک‌ورزی (بی‌خاکورزی و خاک‌ورزی مرسوم) در کرت اصلی و سه سطح کودی (اوره، ترکیب نیتراپایرین+ اوره و شاهد (کرت اصلی) و دو رقم (رخشان و پیشگام) در کرت فرعی بود.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب نشان داد بالاترین عملکرد دانه گندم در رقم رخشان با ۸۳۳۱ کیلوگرم در هکتار و سطح کودی اوره+ نیتراپایرین در بی‌خاک‌ورزی به‌دست آمد که نسبت به کاربرد اوره ۶/۱۵ درصد برتری داشت. هم‌چنین در هر دو سیستم خاک‌ورزی بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ و شاخص بهره‌وری نیتروژن نیز در همین تیمار به‌دست آمد، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار کاربرد اوره به‌ترتیب ۶/۱، ۲/۷ درصد در بی‌خاک‌ورزی و ۰/۸ و ۱/۳ درصد در خاک‌ورزی مرسوم بیش‌تر بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی می‌توان گفت کاربرد نیتراپایرین باعث بهبود عملکرد گندم در هر دو سطح خاک‌ورزی شد. کاربرد نیتراپایرین علاوه بر بهبود عملکرد گیاه می‌تواند در کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی همچون اوره نیز مؤثر باشد.

استناد: جلیلیان، اشکان؛ خدابین، قربان؛ زندی اصفهان، احسان؛ امینی، فاطمه؛ شهبازی، نیما و زرگران، محمد (۱۴۰۲). بررسی عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام گندم تحت تأثیر کاربرد نیتراپایرین در شرایط خاک‌ورزی متفاوت. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۹۶۴-۹۵۱.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.349512.2748

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

گندم نقش به‌سزایی در امنیت غذایی انسان دارند، به‌طوری‌که بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت گیاهان زراعی را به خود اختصاص داده‌اند و سهم قابل‌توجهی از کالری و پروتئین روزانه انسان را نیز تأمین کند (Kizilgeci *et al*., 2021; Salem *et al*., 2022). گندم ازنظر تولید بعد از نیشکر و ذرت جایگاه سوم را دارد (FAO, 2021). ایران با ۸ میلیون هکتار سطح زیر کشت رتبه نهم و با ۱۶/۸ میلیون تن تولید جایگاه سیزدهم جهان را دارد (FAO, 2021). سرانه مصرفی گندم در ایران ۲۳۲ کیلوگرم در سال گزارش شده است که نسبت به میانگین جهانی بیش از دو برابر می‌باشد (جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۷). کشت فشرده محصولات زراعی همراه با افزایش جمعیت باعث تخلیه‌شدن خاک از عناصر غذایی گردیده، ازاین‌رو جهت بهبود وضعیت خاک کاربرد کودهای معدنی مورداستفاده قرار گفت (Yahaya *et al*., 2022). رشد جمعیت جهان با نرخ ۱/۱ درصد باعث شده است تولیدات کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۱۲ حدود ۵۰ درصد افزایش عملکرد داشته باشد، تا نیاز جمعیت را برطرف سازد (Corrochano-Monsalve *et al*., 2020a). تولیدات بخش کشاورزی وابسته به نهاده‌های شیمیایی می‌باشد، که از این میان نیتروژن جایگاه ویژه‌ای دارد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ و همراه با افزایش جمعیت جهانی مصرف این نهاده هر روز بیش‌تر شود (Woodward *et al*., 2021). استفاده مرسوم از کودهای شیمیایی نشان داده است کارایی مصرف و جذب آن پایین می‌باشد، چراکه بخش زیادی از آن به‌صورت نیترات آبشویی شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Corrochano-Monsalve *et al*., 2020a). فرایند تبدیل آمونیوم به نیترات توسط اکسیدکننده‌های آمونیاک، نیتفریفیکاسیون نام دارد که از محصولات جانبی مهم این فرایند N_2O می‌باشد که اثرات مخربی بر محیط‌زیست دارد (Sadhukhan *et al*., 2022). کاربرد مهارکننده‌های نیتفریفیکاسیون می‌تواند ماندگاری آمونیوم را در خاک افزایش دهد و درنتیجه آن از آبشویی‌شدن و از دسترس خارج‌شدن آن جلوگیری کند که این امر می‌تواند علاوه برافزایش عملکرد محصول در حفظ محیط زیست نیز نقش سازنده‌ای داشته باشد (Cheng *et al*., 2022). مهارکننده‌های نیتریفیکاسیون ترکیباتی هستند که این فرایند را با مهار آنزیم‌های آمونیاک مونواکسیژناز تنظیم می‌کنند که نیتراپایرین یکی از این مهارکننده‌ها می‌باشد (Woodward *et al*., 2021).

نیتراپایرین یک ترکیب آلی کلرِ می‌باشد که با آمونیوم کودهای نیتروژنِ می‌تواند کلاته شود تا گیاه بتواند به‌مدت طولانی از آن استفاده کند و هم‌چنین سبب کاهش انتشار N_2O در خاک‌های زراعی شود (Bhandari *et al*., 2020; Dawar *et al*., 2021a). این ماده شیمیایی اکسیدکننده‌های آمونیاک خاک‌زی (Ammonia-oxidizing archaea & Ammonia-oxidizing bacteria) را هدف قرار می‌دهد (Schmidt *et al*., 2022). مدیریت خاک‌ورزی یکی از راه‌کارهای پیشنهادی در بهبود شرایط کشت می‌باشد، با توجه به این‌که خاک‌ورزی مرسوم نیازمند کاربرد ماشین‌های کشاورزی با هزینه بالا و هم‌چنین انتشار CO_2 بیش‌تر است. ازاین‌رو، کشت بدون خاک‌ورزی با کاهش هزینه‌ها می‌تواند به حفظ محیط زیست کمک کند (Álvaro-Fuentes *et al*., 2012; Guardia *et al*., 2016; Sánchez-Girón *et al*., 2004). شخم‌زدن به روش مرسوم یکی از دلایل اصلی فرسایش خاک است و برای به حداقل‌رساندن خسارت‌های آن اتخاذ روش‌های کم یا بدون خاک‌ورزی توصیه‌شده است (Hofmeijer *et al*., 2019). بااین‌حال اثرات طولانی‌مدت بی خاک‌ورزی می‌تواند منجر به افزایش چگالی ظاهری خاک و مقاومت در برابر نفوذ ریشه گردد، که این امر می‌تواند عملکرد محصول را کاهش دهد (Ren *et al*., 2018).

۲. پیشینه پژوهش

بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد کاربرد نیتراپایرین منجر به مهار این اکسیدکننده‌ها و افزایش کارایی استفاده از نیتروژن می‌شود

(Tao *et al*., 2021). بررسی‌ها نشان می‌دهد کاربرد نیتراپایرین به افزایش سطح برگ، زیست‌توده و بهبود جذب CO_2 کمک می‌کند (Ren *et al*., 2020). در مقایسه کاربرد خالص اوره، اوره به‌همراه نیتراپایرین منجر به افزایش نرخ خالص فتوسنتز و افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (Cai *et al*., 2018). کاربرد نیتراپایرین منجر به بهبود کارایی مصرف نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن و عملکرد کل در ذرت گردیده است (Ren *et al*., 2017). کاربرد نیتراپایرین عملکرد دانه گندم، کارایی مصرف نیتروژن را افزایش داد، به‌طوری‌که با کاربرد نیتراپایرین ۲۰ درصد از مصرف نیتروژن کاهش یافت که از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت بالایی دارد (Bhandari *et al*., 2020). بررسی دیگری نشان داد کاربرد نیتراپایرین به‌همراه مالچ و اوره می‌تواند عملکرد دانه گندم را ۲۳ درصد و جذب نیتروژن را ۳۰ درصد افزایش دهد (Dawar *et al*., 2021a). فرایندهای اکسید آمونیاک و انتشار گازهای گلخانه‌ای به عوامل مختلفی همچون pH، رطوبت خاک، بافت خاک، دسترسی به کربن آلی، نسبت آمونیوم به نیترات و فعالیت میکروبی وابسته می‌باشد. ازاین‌رو، سیستم‌های خاک‌ورزی با توجه با تأثیر متفاوت بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی خاک، می‌تواند بر تأثیرگذاری نیتراپایرین بر مهار نیتریفیکاسیون مؤثر باشد (Corrochano-Monsalve *et al*., 2020b). مطالعات دیگر نشان داده است که تنوع باکتریایی خاک، فراوانی نسبی و عملکرد آن‌ها در سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف، به‌دلیل ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک متفاوت است (Carbonetto *et al*., 2014; Carson *et al*., 2010; Souza *et al*., 2013; Thompson *et al*., 2016; Xia *et al*., 2019). ازاین‌رو، با توجه به اثرگذاری نیتراپایرین بر ویژگی‌های متفاوت خاک و عملکرد گیاه زراعی، این بررسی با هدف ارزیابی عملکرد ارقام گندم و برخی خصوصیات فیزیولوژیک در شرایط خاک‌ورزی متفاوت اجرا شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

با هدف ارزیابی اثرات کاربرد نیتراپایرین و ترکیب آن با کود اوره در شرایط خاک‌ورزی متفاوت و ارقام گندم، این آزمایش در فصل زراعی ۱۳۹۹–۱۳۹۸ و ۱۴۰۰–۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقاتی پژوهشکده جنگل‌ها و مراتع استان البرز، شهر کرج (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۶ دقیقه شمالی) انجام گرفت. میانگین بلندمدت بارندگی منطقه ۲۳۱ میلی‌متر و بیش‌ترین میزان بارندگی در ماه آذر و کم‌ترین نیز در ماه‌های مرداد و شهریور می‌باشد. ویژگی‌های خاک محل آزمایش در جدول (۱) قابل‌مشاهده می‌باشد که در هر دو سیستم خاک‌ورزی قبل از کاشت اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

ویژگی‌های خاک	بدون خاک‌ورزی	خاک‌ورزی مرسوم
pH	۶/۳	۷/۱
EC (ds m^{-1})	۱/۸۷	۱/۹۱
Organic Carbon (%)	۰/۷۳	۰/۵۸
N (%)	۰/۰۸	۰/۰۶
P (mg/kg)	۱۱	۱۳
K (mg/kg)	۲۵۸	۲۸۴
Fe (mg/kg)	۵/۰۴	۴/۷۱
Zn (ppm)	۱/۵	۱/۷
Mn (ppm)	۶/۰۱	۵/۸
No_3^- (mg/kg)	۱۹/۸	۲۰/۴
NH_4^+ (mg/kg)	۱۲/۹	۷/۸
Clay (%)	۴۳	۴۳
Silt (%)	۳۷	۳۷
Sand (%)	۲۰	۲۰
Bulk density (g cm^3)	۱/۲۲	۱/۱۶

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. دو سطح بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم به‌عنوان عامل اصلی، سه سطح کودی ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (براساس تعیین میزان نیتروژن و کربن آلی خاک محل آزمایش و دستورالعمل فنی کشت گندم مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر)، ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره+ نیتراپایرین و شاهد و ارقام گندم رخشان و پیشگام نیز به‌عنوان عامل فرعی انتخاب شدند. میزان کاربرد نیتراپایرین نیز ۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار مطابق با توصیه‌نامه مصرف آن بود (Instinct II, Dow AgroSciences, Indianapolis, IN, USA). تاریخ کاشت گندم در اوایل آبان‌ماه بود. هر کرت آزمایش شامل شش ردیف گندم به طول پنج متر بود. تراکم کاشت ۴۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. به‌غیر از سطوح تیمار کودی تمامی مراحل کاشت، داشت و برداشت گندم یکسان و با توجه به عرف منطقه بود. سیستم بدون خاک‌ورزی بدون استفاده از ماشین‌های خاک‌ورزی بود و خاک‌ورزی مرسوم نیز شامل شخم برگردان‌دار با عمق کار ۲۵ سانتی‌متر و دو بار دیسک با عمق کار ۱۵ سانتی‌متر بود. در شرایط بدون خاک‌ورزی نیز از ادوات خاک‌ورزی استفاده نشد. میزان کودهای شیمیایی با توجه به آزمایش شامل ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بود. مصرف کود اوره در دو مرحله کاشت و ابتدای ساقه‌دهی گندم بود که یک‌سوم آن در زمان کاشت و دوسوم آن در ابتدای ساقه‌دهی انجام گرفت. تیمار نیتراپایرین نیز هم‌زمان با تقسیط کود اوره به مقدار ۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (هم‌زمان با کاشت و ساقه‌دهی) مصرف شد (Chen *et al*., 1994). کاشت گندم با استفاده از خطی کار کشت و آبیاری آن نیز به روش جویچه‌ای انجام گرفت. کنترل علف هرز به‌صورت دستی و مبارزه با آفات نیز با استفاده از متاسیستوکس با نسبت ۱ تا ۱/۵ لیتر هکتار بود. نمونه‌برداری صفات عملکرد پس از رسیدگی فیزیولوژیک از سطح دو مترمربع انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری‌های میزان فتوسنتز و صفات فیزیولوژیک، نمونه‌گیری از برگ در مرحله گلدهی انجام شد. بلافاصله بعد از نمونه‌گیری، نمونه‌ها درون فویل آلومینیومی پیچیده و به درون نیتروژن مایع قرار داده شد و سپس تمام نمونه‌ها تا انجام آزمایش‌ها بیوشیمیایی درون فریزر ۸۰- نگهداری گردیدند. کلروفیل برگ به روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). از دستگاه (مدل DELTA-T DEVICES، کشور انگلیس) جهت تعیین سطح برگ استفاده گردید. فتوسنتز با استفاده از سیستم تبادل گازی (مدل Li-Cor 6400, Lincoln, NE، کشور آمریکا) در ساعت ۱۱ صبح و در شرایطی که نور معادل ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرو مول فوتون بر مترمربع بود اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن دانه و اندام هوایی، ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شدند. از نمونه‌های آسیاب شده عصاره هضم تهیه و اندازه‌گیری به‌روش کجلدال انجام گرفت (Ezeagu *et al*., 2002) میزان شاخص برداشت نیتروژن[1] و کارایی بهره‌وری نیتروژن[2] به‌ترتیب از روابط زیر به‌دست آمد (Khodabin *et al*., 2022).

رابطه ۱) نیتروژن گیاه/ نیتروژن مصرف‌شده (کیلوگرم/ کیلوگرم)

رابطه ۲) عملکرد دانه/ نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه (کیلوگرم/ کیلوگرم)

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. برای تعیین توزیع نرمال و همگنی داده‌ها قبل از انجام تحلیل واریانس (ANOVA) از آزمون Shapiro-Wilk و آزمون بارتلت[3] استفاده شد. مقایسه میانگین به‌روش برش‌دهی و تفاوت در میانگین صفات تجزیه و تحلیل‌شده با استفاده از ANOVA با مقدار p کم‌تر از پنج درصد تعیین شد. از آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (LSD)[4] برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. از نرم‌افزار Excel نیز برای رسم شکل‌ها استفاده شده است.

1. Nitrogen harvest index
2. Nitrogen utilization efficiency
3. Bartlett's Test
4. Least Significant Difference

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. آنالیز واریانس

در این آزمایش اثر نوع خاک‌ورزی بر صفات کلروفیل، عملکرد دانه و کارایی بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر رقم نیز بر کلیه صفات موردارزیابی به‌جز کارایی استفاده از نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار کودی نیز بر کلیه صفات به‌جز شاخص برداشت نیتروژن اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارهای خاک‌ورزی و ارقام نیز تنها بر شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). برهم‌کنش خاک‌ورزی در سطوح کودی نیز بر صفات کلروفیل، میزان فتوسنتز، عملکرد دانه و کارایی بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارهای خاک‌ورزی× رقم× سطوح کودی نیز بر صفات شاخص سطح برگ، میزان فتوسنتز، عملکرد دانه و کارایی بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس سطوح کودی و خاک‌ورزی بر خصوصیات اندازه‌گیری‌شده ارقام گندم پاییزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل کل	شاخص سطح برگ	فتوسنتز	عملکرد دانه	شاخص برداشت نیتروژن	کارایی بهره‌وری نیتروژن
سال (Y)	۱	۰/۰۷ns	۰/۰۵ns	۴/۸۱ns	۵۶۵۲۲۷ns	۰/۰۶ns	۱۲/۸۹ns
خطای سال	۴	۰/۰۱	۰/۰۹	۲/۳۳	۴۸۳۲۴۸	۷/۸۴	۴/۸۲
خاک‌ورزی (A)	۱	۶/۶۰**	۰/۲۲ns	۱/۵۰ns	۱۲۰۴۴۲۳۲*	۳۱/۵۷ns	۲۰/۹۰*
Y*A	۱	۰/۰۸ns	۰/۰۰۲ns	۲/۲۱ns	۱۷۲۵۴۰ns	۶/۵۶ns	۵/۰۱ns
خطای اصلی	۴	۰/۰۲	۰/۰۵	۷/۷۸	۱۳۷۳۲۷۰	۴/۴۹	۲/۲۵
رقم (B)	۱	۲/۷۲**	۰/۴۱**	۱۷/۸۰**	۶۸۳۲۰۸**	۴۱/۶۲**	۴/۱۷ns
Y*B	۱	۰/۰۵ns	۰/۰۱ns	۰/۸۲ns	۹۲۶۶۱ns	۳/۹۰ns	۱/۳۶ns
A*B	۱	۰/۰۱ns	۰/۳۳*	۷/۸۷*	۳۶۵۲۲۷ns	۰/۷۴ns	۴/۱۵ns
Y*A*B	۱	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۲ns	۰/۹۰ns	۲۱۳۶۴۰ns	۰/۱۵ns	۰/۹۲ns
کود (C)	۲	۴/۶۹**	۱/۶۸**	۸/۵۶**	۲۱۸۱۰۶۹۲**	۵/۳۳ns	۸/۳۷**
Y*C	۲	۰/۰۱ns	۰/۰۰۱ns	۳/۰۵ns	۴۱۲۶۹ns	۰/۷۵ns	۱/۰۶ns
A*C	۲	۰/۳۹**	۰/۰۵ns	۸/۰۳*	۸۵۶۹۴۲*	۱۱/۳۱ns	۷/۷۳*
T*A*C	۲	۰/۰۰۲ns	۰/۰۹ns	۱/۳۰ns	۷۰۶۸۰ns	۹/۹۰ns	۶/۱۳ns
C*B	۲	۱/۲۳**	۰/۶۱**	۶/۷۱*	۱۸۱۰۷۳۳**	۱۰/۳۶ns	۱/۰۲ns
Y*C*B	۲	۰/۰۱ns	۰/۰۰۱ns	۱/۸۰ns	۹۰۷۱۲ns	۰/۷۹ns	۰/۸۷ns
A*B*C	۲	۰/۰۵ns	۰/۲۱*	۵/۳۱*	۱۵۰۰۰۳۵*	۱۲/۹۱ns	۸/۲۹**
Y*A*C*B	۲	۰/۰۳ns	۰/۰۰۹ns	۰/۹۳ns	۱۵۳۴۵۳ns	۷/۰۲ns	۱/۶۴ns
خطای فرعی	۴۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۱/۲۸	۳۱۸۳۸۱	۷/۳۸	۱/۵۷
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۹	۸/۵۵	۱۱/۳۷	۹/۷۷	۵/۹۶	۷/۹۰

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

برش‌دهی اثر متقابل سه‌گانه خاک‌ورزی× رقم× سطوح کودی نیز نشان داد عملکرد فتوسنتز در سطح خاک‌ورزی مرسوم و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح بدون خاک‌ورزی معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳. برش‌دهی اثرات متقابل سطوح کودی و ارقام گندم در سطوح خاک‌ورزی موردبررسی

سطوح خاک‌ورزی	درجه آزادی	سطح برگ	فتوسنتز	شاخص بهره‌وری نیتروژن	عملکرد دانه
بدون خاک‌ورزی	۵	۰/۳۹۹۵۶۵ **	۱۰/۸۳۰۷۶۷ **	۲/۸۵۳۸۱۱ ns	۷۵۰۲۶۸۸ **
خاک‌ورزی مرسوم	۵	۰/۴۸۲۵۹۶ **	۱/۶۳۵۱۱۸ ns	۵/۷۷۸۰۳۶ **	۴۱۸۴۵۰۱ **

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

۴. ۲. کلروفیل، سطح برگ و میزان فتوسنتز

کاربرد اوره+ نیتراپایرین میزان کلروفیل کل را در هر دو رقم گندم افزایش داد، به‌طوری‌که در رقم پیشگام نسبت به اوره و شاهد به‌ترتیب باعث افزایش ۴/۸۲ و ۲۸/۳۱ درصدی و در رقم رخشان، به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۶/۲۳ و ۳۲/۶۸ درصد کلروفیل کل شد (شکل ۱). میزان افزایش کلروفیل کل در رقم رخشان بیش از رقم پیشگام بود که می‌تواند به‌دلیل ویژگی‌های ژنتیکی رقم باشد. اثرگذاری تیمارهای کودی در شرایط بدون خاک‌ورزی نشان داد میزان افزایش کلروفیل کل در تیمار اوره+ نیتراپایرین نسبت به شاهد ۵۲/۵۲ درصد و در شرایط خاک‌ورزی مرسوم این افزایش ۳۶/۱۴ درصد بود (شکل ۱). برش‌دهی اثر متقابل سه‌گانه خاک‌ورزی در رقم در کود نشان داد سطح برگ نهایی گندم در هر دو سطح خاک‌ورزی به‌عنوان عامل اصلی واکنش متفاوتی دارد (جدول ۳). واکنش سطح برگ نهایی به تیمارهای کودی در شرایط بدون خاک‌ورزی نشان داد بالاترین سطح برگ گندم با (۴/۱۱±۰/۱۱) در رقم رخشان و سطح کودی اوره+ نیتراپایرین به‌دست آمد، بااین‌حال، ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری با کاربرد اوره در رقم رخشان در سطح بدون خاک‌ورزی نداشت (جدول ۴). کاربرد تیمار اوره+ نیتراپایرین در شرایط بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم نسبت به شاهد به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۰/۳۵ و ۱۴/۲۰ درصدی سطح برگ در رقم رخشان شد (جدول ۴). برش‌دهی اثرات متقابل سه‌گانه میزان فتوسنتز نشان داد واکنش تیمارهای کودی و رقم در سطح بدون خاک‌ورزی معنی‌دار و در سطح خاک‌ورزی مرسوم غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط بدون خاک‌ورزی، بالاترین میزان فعالیت فتوسنتز در رقم رخشان و سطح کودی اوره+ نیتراپایرین (۱۹/۷۳±۰/۴۲) به‌دست آمد، هرچند نسبت به تیمار اوره اختلاف معنی‌داری نداشت، در این سطح تیمارهای اوره و اوره+ نیتراپایرین نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۵/۲ و ۱۶/۶ درصد میزان فعالیت فتوسنتزی بالاتری داشتند (جدول ۴). با وجود عدم معنی‌داری سطح خاک‌ورزی مرسوم، بااین‌حال بالاترین میزان فتوسنتز در رقم رخشان و تیمار کودی اوره+ نیتراپایرین به‌دست آمد (جدول ۴).

۴. ۳. عملکرد دانه

برش‌دهی برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها نشان از تفاوت معنی‌دار عملکرد گندم در هر دو سطح خاک‌ورزی دارد (جدول ۳). نتایج نشان داد در سطح بدون خاک‌ورزی رقم رخشان در سطح کودی اوره+ نیتراپایرین با ۲۸۳±۸۳۳۱ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را برخوردار بود، هرچند نسبت به سطح کودی اوره تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در شرایط بدون خاک‌ورزی نتایج نشان داد تیمارهای کودی اوره+ نیتراپایرین و اوره نسبت به شاهد به‌ترتیب منجر به افزایش ۵۱/۷۵ و ۴۲/۹۲ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داد رقم گندم رخشان در سطح کودی اوره+ نیتراپایرین (۲۴۵±۶۷۱۴ کیلوگرم در هکتار) نسبت به دیگر سطوح کودی عملکرد بالاتری داشت، بااین‌حال تفاوت معنی‌داری با رقم پیشگام در سطح کودی اوره و اوره+ نیتراپایرین نداشت (جدول ۴). کاربرد اوره+ نیتراپایرین و اوره نسبت به شرایط بدون کود به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۷/۸ و ۲۴/۹ درصدی عملکرد دانه رقم رخشان شد، این میزان افزایش در رقم پیشگام به‌ترتیب ۳۵/۲ و ۲۴/۵ درصد بود (جدول ۴).

۴. ۵. شاخص برداشت و کارایی بهره‌وری نیتروژن

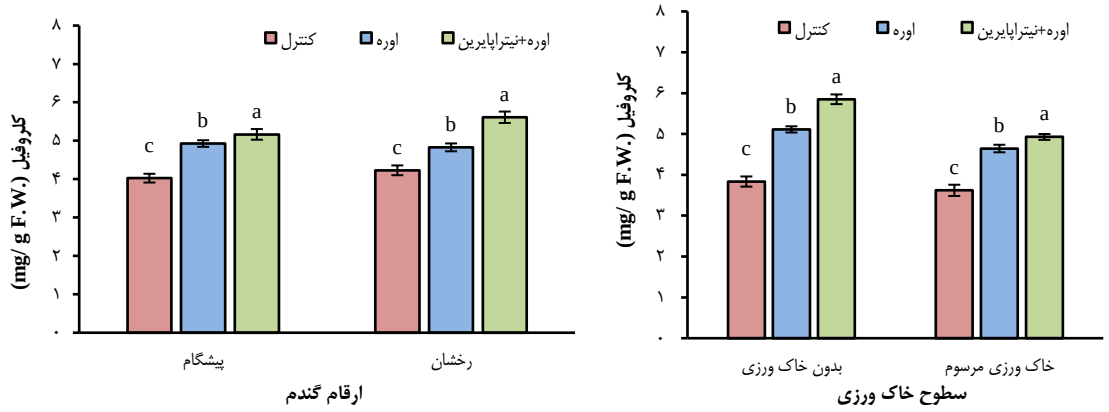
نتایج مقایسه میانگین این صفت نشان داد رقم رخشان با شاخص برداشت ۷۶/۹ درصد، نسبت به رقم پیشگام ۱/۹ درصد عملکرد بالاتری دارد (شکل ۲). برش‌دهی تیمارهای کودی و رقم در سطوح خاک‌ورزی نشان داد کارایی بهره‌وری نیتروژن در سطح بدون خاک‌ورزی واکنش معنی‌داری ندارد، بااین‌حال در سطح خاک‌ورزی مرسوم این واکنش معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین میزان آن با ۳۳/۷۲ در سطح کودی اوره+ نیتراپایرین به‌دست آمد (جدول ۴). در سطح خاک‌ورزی مرسوم نیز بالاترین

کارایی بهره‌وری نیتروژن در هر دو رقم رخشان و پیشگام در سطح کودی اوره+ نیتراپایرین به‌دست آمد که به‌ترتیب نسبت به شاهد ۱/۷۴ و ۹/۱ درصد افزایش داشت (جدول ۴). در هر دو رقم، سطح کودی اوره و اوره+ نیتراپایرین از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند، بااین‌حال عملکرد تیمار اوره+ نیتراپایرین نسبت به کاربرد خالص اوره بالاتر بود (جدول ۴).

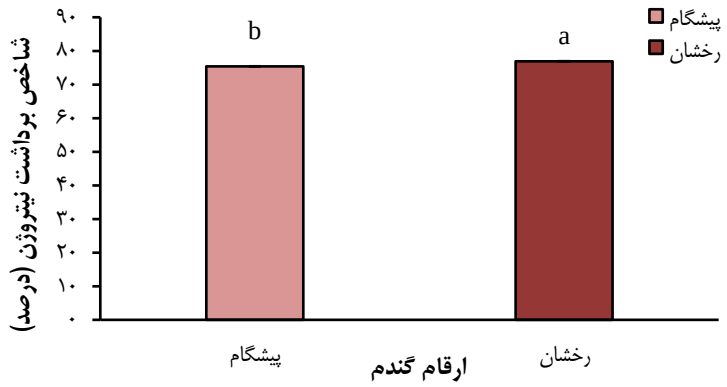
جدول ٤. مقایسه میانگین برهم‌کنش خاک‌ورزی× رقم× کود بر صفات موردبررسی در ارقام گندم

سطوح خاک‌ورزی	ارقام	سطوح کودی	شاخص سطح برگ	فتوسنتز ($\mu mol\ CO_2.\ m^{-2}.s^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	کارایی بهره‌وری نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
بدون خاک‌ورزی	پیشگام	شاهد	۳/۶±۰/۲۵۰cd	۱۷/۱±۰/۷۱b	۵۸۱۸±۵۶۷d	۳۲/۸۳±۱/۳۴a
		اوره	۳/۸۳±۰/۱۱۰bc	۱۷/۲±۰/.۴۱b	۶۵۲۸±۲۶۳cd	۳۱/۸۵±۰/۸۴a
		اوره+ نیتراپایرین	۳/۶۷۸±۰/۱۴۰cd	۱۶/۸۸±۰/۵۴b	۷۰۵۲±۵۰۹bc	۳۲/۴۸±۰/۳۷a
	رخشان	شاهد	۳/۴۱۵±۰/۱۵۸d	۱۶/۹۱±۰/۵۶b	۵۴۹۱±۱۸۱d	۳۱/۹۲±۰/۶۲a
		اوره	۳/۹۹۳±۰/۰۹۸ab	۱۹/۴۹±۰/۵۵a	۷۸۴۸±۲۴۲ab	۳۲/۸±۱/۰۱a
		اوره+ نیتراپایرین	۴/۱۱۰±۰/۱۱۴a	۱۹/۷۳±۰/۴۲a	۸۳۳۱±۲۸۳a	۳۳/۷۲±۰/۳۱a
خاک‌ورزی مرسوم	پیشگام	شاهد	۳/۲±۰/۰۸۵c	۱۶/۷۸±۰/۴۰a	۴۸۲۸±۲۹۵c	۲۹/۶۰±۰/۲۵b
		اوره	۳/۷۳±۰/۰۹۰ab	۷/۱۴۳±۱/۱۲a	۶۰۱۵±۳۲۷ab	۳۱/۸۵±۰/۵۹ab
		اوره+ نیتراپایرین	۳/۸۰۸±۰/۱۸۴ab	۱۸/۰۸±۰/۶۸a	۶۵۲۸±۳۴۴a	۳۲/۳۲±۰/۵۶a
	رخشان	شاهد	۳/۴۴۳±۰/۱۲۰ab	۱۷/۴۵±۰/۹۰a	۵۲۵۰±۱۵۱bc	۳۱/۵۰±۰/۶۲ab
		اوره	۳/۹۳۲±۰/۱۱۴a	۱۷/۶۲±۰/۷۴a	۶۵۶۲±۳۰۳a	۳۱/۸۲±۰/۶۷ab
		اوره+ نیتراپایرین	۳/۸۵۲±۰/۱۴۹a	۱۸/۲۳±۰/۵۶a	۶۷۱۴±۲۴۵a	۳۲/۰۵±۰/۱۸a

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱. واکنش کلروفیل کل برگ ارقام گندم به تیمارهای کودی و سطوح خاک‌ورزی



شکل ۲. میزان شاخص برداشت نیتروژن در ارقام گندم

۵. بحث

گزارش شده است که در شرایط خاک‌ورزی حداقل میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک به‌ترتیب ۱۹، ۱۰ و ۷ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بالاتر است که این افزایش در مقدار عناصر خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان کلروفیل برگ در سیب زمینی داشت (Agbede *et al*., 2010). هم‌چنین تیمار اوره+ نیتراپایرین منجر به افزایش ۱۴/۴۳ و ۶/۱۱ درصدی کلروفیل کل نسبت به کاربرد خالص اوره در شرایط بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم شد که نشان از اثرگذاری بدون خاک‌ورزی برافزایش کلروفیل کل دارد، این امر می‌تواند به‌دلیل بالاتربودن عناصر غذایی و نیتروژن خاک باشد (جدول ۱). در شرایط بدون خاک‌ورزی میزان سطح برگ گندم بیش‌تر از شرایط خاک‌ورزی مرسوم بود، این افزایش می‌تواند به‌دلیل دارابودن درصد نیتروژن و کربن آلی بالاتر در شرایط بدون خاک‌ورزی باشد (جدول ۱). در این راستا گزارش شده است که افزایش غلظت عناصر و کربن آلی خاک در سیستم بدون خاک‌ورزی از طریق بهبود شرایط خاک از نظر گسترش بیش‌تر ریشه و جذب بالاتر عناصر در گندم، به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۳/۵ و ۱۵/۸ شاخص سطح برگ و عملکرد دانه نسبت به خاک ورزی مرسوم شد (Hofmeijer *et al*., 2019). برتری رقم رخشان در شاخص سطح برگ نیز می‌تواند به‌دلیل ماهیت ژنتیکی رقم باشد. کاربرد اوره و نیتراپایرین در شرایط بدون خاک‌ورزی موجب فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی شد. از این‌رو، با افزایش میزان کلروفیل و سطح برگ گندم، میزان فتوسنتز نیز افزایش یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد در مقایسه با کاربرد خالص اوره، اوره همراه با نیتراپایرین می‌تواند باعث افزایش شاخص سطح برگ و جذب دی‌اکسیدکربن شود که امر درنهایت منجر به افزایش فتوسنتز خالص برگ و افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Ren *et al*., 2020).

هم‌چنین نشان داده شده است نیتراپایرین با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ و بهبود کارایی فتوسیستم II عملکرد فتوسنتزی برگ را بهبود می‌بخشد (Ren *et al*., 2020). بررسی‌های بر روی گیاه ذرت نشان داد کاربرد نیتراپایرین باعث کاهش فعالیت پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، مالون‌دی‌آلدهید و افزایش فعالیت فتوسنتز به‌دلیل فراهمی بهتر نیتروژن در خاک می‌شود (Rácz *et al*., 2021). کاربرد نیتراپایرین هم‌چنین می‌تواند منجر به افزایش میزان کلروفیل برگ گردد (Rácz *et al*., 2021). بررسی دیگری نشان داد خاک‌ورزی مرسوم نسبت به بدون خاک‌ورزی میزان کلروفیل کم‌تری دارد، هم‌چنین کاربرد نیتراپایرین به‌همراه اوره منجر به افزایش معنی‌دار کلروفیل کل در گندم شد (Nozari *et al*., 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد نیتراپایرین با فراهمی بیش‌تر نیتروژن و جذب آن توسط گیاه باعث افزایش میزان کلروفیل، سبزینگی و فتوسنتز برگ می‌شود (Dawar *et al*., 2021b; Sowiński & Głąb, 2018; Subbarao *et al*., 2006).

به‌طورکلی در شرایط بدون خاک‌ورزی میانگین عملکرد گندم بالاتر از شرایط خاک‌ورزی مرسوم بود که این امر با توجه بالاتربودن کربن آلی و نیتروژن و هم‌چنین افزایش سطح کلروفیل و فتوسنتز بود. هم‌چنین با توجه به نقش نیتراپایرین بر میزان نیتریفیکاسیون، به‌نظر می‌رسد فراهمی نیتروژن در محیط ریشه با بهبود خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد دانه، باعث افزایش عملکرد ارقام گندم در هر دو سطح خاک‌ورزی شده است. هم‌چنین تفاوت در میان رقم‌ها می‌تواند به‌دلیل ویژگی‌هایی ژنتیکی آن‌ها باشد. دیگر مطالعات نیز نشان داد نیتراپایرین باعث افزایش عملکرد از طریق بهبود فتوسنتز می‌شود (Ren *et al*., 2020). نتایج این مطالعه نیز نشان داد نیتراپایرین به‌طور میانگین عملکرد دانه ارقام گندم را ۴/۳۹ درصد نسبت به تیمار اوره بهبود بخشید. بهبود عملکرد گیاه در شرایط کاربرد نیتراپایرین می‌تواند به‌دلیل انرژی مصرفی کم‌تر در جذب NH_4 نسبت به NO_3 برای گیاه باشد (Dawar *et al*., 2011; Zaman *et al*., 2008). بررسی دیگری نشان داد عملکرد دانه گندم در شرایط کاربرد نیتراپایرین+ اوره نسبت به اوره خالص ۲۳ درصد و جذب کل نیتروژن تا ۳۰ درصد افزایش یافت (Dawar *et al*., 2021a). نیتراپایرین با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی برگ و عملکرد فتوسنتز در گیاه ذرت باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Ren *et al*., 2020). هم‌چنین نیتراپایرین با کاهش

آبشویی نیترات، اختلال و محدودسازی فرایند نیتریفیکاسیون می‌تواند کود اوره و نیتروژن را در مدت‌زمان طولانی‌تری در اختیار گیاه قرار دهد و این شرایط می‌تواند موجب افزایش عملکرد گیاه شود (Dawar, *et al*., 2021b; Li *et al*., 2021; O'Callaghan *et al*., 2010). مطالعه دیگری نشان داده است کاربرد اوره+ نیتراپایرین موجب افزایش ۱/۷۴ تا ۱۰/۸۳عملکرد دانه می‌شود (Bhandari *et al*., 2020). دیگر مطالعه نیز نشان داد در شرایط کاهش خاک‌ورزی عملکرد دانه گندم و زیست‌توده کل ۱۸ و ۱۵ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم افزایش یافت (Hofmeijer *et al*., 2019). هم‌چنین در شرایط بدون خاک‌ورزی در کشت گندم درصد کربن آلی خاک ۸/۲ درصد بالاتر بود، که این امر می‌تواند در افزایش عملکرد دانه گندم اثرگذار باشد (Nadeem *et al*., 2019).

مطالعات قبلی نیز نشان داده است که با افزایش آبشویی نیترات، کاهش غلظت نیتروژن معدنی در خاک، محدود شدن ریشه در جذب و استفاده از عناصر غذایی درنهایت منجر به کاهش قابل‌توجه کارایی مصرف نیتروژن می‌شود (Ren *et al*., 2017). به‌نظر می‌رسد در نبود نیتراپایرین و افزایش میزان نیتریفیکاسیون میزان فراهمی نیتروژن در اختیار گیاه کاهش‌یافته و این امر منجر به کاهش شاخص برداشت نیتروژن و کارایی بهره‌وری نیتروژن می‌شود، که این شرایط می‌تواند همچون شرایط تنش غرقابی در مطالعه Ren *et al*. (2017)باشد. در این شرایط می‌توان از طریق بازدارنده نیتریفیکاسیون از آبشویی نیتروژن ممانعت کرد و درنهایت از آزادسازی N_2O نیز جلوگیری کرد، علاوه بر آن این بازدارنده با مهار اکسیداسیون NH_4 به NO_3 نیتروژن را در مدت‌زمان طولانی‌تری در اختیار گیاه قرار می‌دهد و موجب بهبود عملکرد گیاه نیز خواهد شد (Niu *et al*., 2018). دیگر مطالعات نیز نشان داده است استفاده از بازدارنده نیتریفیکاسیون یک روش مؤثر جهت افزایش کارایی بهره‌وری نیتروژن می‌باشد (Qiao *et al*., 2015; Scheer *et al*., 2014; Zhang *et al*., 2018). نیتراپایرین علاوه بر کاهش انتشار N_2O در سیستم کشت گندم و ذرت می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و کارایی بهره‌وری نیتروژن داشته باشد (Dawar *et al*., 2021a; Liu *et al*., 2013). در این بررسی نیز به‌طورکلی کاربرد اوره+ نیتراپایرین ۱/۷۵ درصد NUE را نسبت به اوره افزایش داد، بااین‌حال این اثرگذاری معنی‌دار نمی‌باشد. کارایی بهره‌وری نیتروژن در شرایط بی‌هوازی همچون غرقابی کاهش می‌یابد، از راه‌کارهای بهبود NUE و NHI در گیاه ذرت در این شرایط کاربرد نیتراپایرین گزارش‌شده است (Ren *et al*., 2017b).

استفاده از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون به‌عنوان یک روش مدیریتی مؤثر برای کاهش بالقوه از دست‌دادن نیتروژن از سیستم خاک– گیاه و کارایی بهره‌وری نیتروژن (NUE) گزارش‌شده است (Monge-Muñoz *et al*., 2021). نتایج سایر مطالعات نشان داد که در مقایسه با اوره خالص، اوره+ نیتراپیرین فاکتور انتشار فصلی N_2O را تا ۳۲/۴ درصد کاهش داد درحالی‌که کارایی بهره‌وری نیتروژن را ۱۰/۷ درصد افزایش داد (Liu *et al*., 2013). مطالعه دیگری نشان داد به‌ترتیب بهره‌وری مصرف نیتروژن زراعی، راندمان تولید نیتروژن و کارایی بهره‌وری نیتروژن ظاهری با ۸۰ درصد نیتراپایرین+ اوره توصیه‌شده به میزان ۰/۹ تا ۸/۹۱ و ۱/۲۲ تا ۲۲/۷۹ کیلوگرم در کیلوگرم و ۱/۹ تا ۲۷/۵ درصد نسبت به کاربرد خالص اوره افزایش یافت (Bhandari *et al*., 2020). به‌طورکلی، استفاده از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون یک استراتژی امیدوارکننده برای کاهش هم‌زمان NH_3 و افزایش کارایی بهره‌وری نیتروژن (NUE) است (Lan *et al*., 2022).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این بررسی نشان از کارایی استفاده از نیتراپایرین به‌همراه کود اوره بر عملکرد ارقام گندم دارد. این کارایی در شرایط بدون خاک‌ورزی به‌دلیل دارابودن کربن آلی و نیتروژن بیش‌تر بود. رقم رخشان نسبت به پیشگام در سطوح کودی موردبررسی عملکرد بالاتری داشت. به‌طورکلی، با بررسی نتایج این مطالعه و دیگر پژوهش‌های انجام‌گرفته می‌توان گفت نیتراپایرین با مهار نیتریفیکاسیون اوره در خاک باعث کاهش تبدیل اوره به نیترات و آبشویی آن در خاک می‌شود،

ازاین‌رو با فراهمی و افزایش مدت‌زمان حضور کود اوره به شکل آمونیوم در محیط ریشه باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود. افزایش بهره‌وری در واحد سطح برای کشاورزان از نظر اقتصادی قابل‌توجه است، علاوه بر آن می‌توان گفت با کاهش آبشویی نیترات به آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین انتشار آن به‌صورت نیتروز اکسید نقش مهمی در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی دارد. ازاین‌رو، می‌توان کاربرد نیتراپایرین را همراه با کود اوره در کشت‌های پرمصرف همچون ذرت و نیشکر توصیه کرد. هم‌چنین مطالعه برهم‌کنش نیتراپایرین و گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن نیز ضرورت دارد.

۷. تشکر و قدردانی

از کلیه همکارانی که در اجرای عملیات زراعی و آزمایشگاهی به طور عملی و فکری یاری‌رسان تیم تحقیقاتی بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

جلیلیان، اشکان؛ مندنی، فرزاد؛ خرمی وفا، محمود و باقری، علیرضا (۱۳۹۷). ارزیابی مدل CliPest در شبیه‌سازی رقابت گندم (*Aestivum triticum* L.) و یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* L.) در کرمانشاه. *بوم شناسی کشاورزی*. ۱۰ (۱)، ۲۴۸-۲۶۶.

References

Agbede, T. M. (2010). Tillage and fertilizer effects on some soilproperties, leaf nutrient concentrations, growth and sweet potatoyield on an Alfisol in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, *110*, 25-32.

Álvaro-Fuentes, J., Plaza-Bonilla, D., Arrúe, J. L., Lampurlanés, J., & Cantero-Martínez, C. (2012). Soil organic carbon storage in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. *Plant and Soil*, *376*(1), 31-41.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant physiology*, *24*(1), 1-15.

Bhandari, M., Ma, Y., Men, M., Wu, M., Xue, C., Wang, Y., Li, Y., & Peng, Z. (2020). Response of winter wheat yield and soil N 2 O emission to nitrogen fertilizer reduction and nitrapyrin application in North China Plain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *51*(4), 554-565.

Cai, W. W., Ai, T. C., Li, R., Jin, Z. Y., Xu, J. G., & Cao, K. K. (2018). Effects of controlled release fertilizer and urea additive on photosynthetic characteristics and yield of double cropping rice. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, *3*, 54-60.

Carbonetto, B., Rascovan, N., Álvarez, R., Mentaberry, A., & Vázquez, M. P. (2014). Structure, Composition and metagenomic profile of soil microbiomes associated to agricultural land use and tillage systems in argentine pampas. *PLOS ONE*, *9*(6), e99949.

Carson, J. K., Gonzalez-Quiñones, V., Murphy, D. V., Hinz, C., Shaw, J. A., & Gleeson, D. B. (2010). Low pore connectivity increases bacterial diversity in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, *76*(12), 3936-3942.

Chen, D. L., Freney, J. R., Mosier, A. R., & Chalk, P. M. (1994). Reducing denitrification loss with nitrification inhibitors following presowing applications of urea to a cottonfield. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *34*(1), 75-83.

Cheng, Y., Elrys, A. S., Wang, J., Xu, C., Ni, K., Zhang, J., Wang, S., Cai, Z., & Pacholski, A. (2022). Application of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers reduces mineral nitrogen usage and emissions of both N_2O and NH_3 while sustaining yields in a wheat-rice rotation system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *324*, 107720.

Corrochano-Monsalve, M., González-Murua, C., Estavillo, J. M., Estonba, A., & Zarraonaindia, I. (2020a). Unraveling DMPSA nitrification inhibitor impact on soil bacterial consortia under different tillage systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 301*, 107029.

Corrochano-Monsalve, M., Huérfano, X., Menéndez, S., Torralbo, F., Fuertes-Mendizábal, T., Estavillo, J. M., & González-Murua, C. (2020b). Relationship between tillage management and DMPSA nitrification inhibitor efficiency. *Science of The Total Environment, 718*, 134748.

Dawar, K., Khan, A., Sardar, K., Fahad, S., Saud, S., Datta, R., & Danish, S. (2021a). 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.

Dawar, K., Sardar, K., Zaman, M., Müller, C., Sanz-Cobena, A., Khan, A., Borzouei, A., & Pérez-Castillo, A. G. (2021b). Effects of the nitrification inhibitor nitrapyrin and the plant growth regulator gibberellic acid on yield-scale nitrous oxide emission in maize fields under hot climatic conditions. *Pedosphere*, *31*(2), 323-331.

Dawar, K., Zaman, M., Rowarth, J. S., Blennerhassett, J., & Turnbull, M. H. (2011). Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. *Biology and Fertility of Soils*, *47*(2), 139-146.

Ezeagu, I. E., Petzke, J. K., Metges, C. C., Akinsoyinu, A. O., & Ologhobo, A. D. (2002). Seed protein contents and nitrogen-to-protein conversion factors for some uncultivated tropical plant seeds. *Food Chemistry*, *78*(1), 105-109.

FAO. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Data. www.faostat.fao.org

Guardia, G., Tellez-Rio, A., García-Marco, S., Martin-Lammerding, D., Tenorio, J. L., Ibáñez, M. Á., & Vallejo, A. (2016). Effect of tillage and crop (cereal versus legume) on greenhouse gas emissions and Global Warming Potential in a non-irrigated Mediterranean field. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 221*, 187-197.

Hofmeijer, M., Krauss, M., Berner, A., Peigné, J., Mäder, P., & Armengot, L. (2019). Effects of Reduced Tillage on Weed Pressure, Nitrogen Availability and Winter Wheat Yields under Organic Management. *Agronomy*, *9*(4), 180.

Khodabin, G., Lightburn, K., Hashemi, S. M., Moghadam, M. S. K., & Jalilian, A. (2022). Evaluation of nitrate leaching, fatty acids, physiological traits and yield of rapeseed (*Brassica napus*) in response to tillage, irrigation and fertilizer management. *Plant and Soil, 473*,423-440.

Kizilgeci, F., Yildirim, M., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Iqbal, M. A., & Sabagh, A. E. L. (2021). Normalized difference vegetation index and chlorophyll content for precision nitrogen management in durum wheat cultivars under semi-arid conditions. *Sustainability*, *13*(7), 3725.

Lan, T., He, X., Wang, Q., Deng, O., Zhou, W., Luo, L., Chen, G., Zeng, J., Yuan, S., Zeng, M., Xiao, H., & Gao, X. (2022). Synergistic effects of biological nitrification inhibitor, urease inhibitor, and biochar on NH3 volatilization, N leaching, and nitrogen use efficiency in a calcareous soil–wheat system. *Applied Soil Ecology*, *174*, 104412.

Li, J., Kwak, J.-H., Chen, J., An, Z., Gong, X., & Chang, S. X. (2021). Canola straw biochars produced under different pyrolysis temperatures and nitrapyrin independently affected cropland soil nitrous oxide emissions. *Biology and Fertility of Soils*, *57*(2), 319-328.

Liu, C., Wang, K., & Zheng, X. (2013). Effects of nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on nitrous oxide emission, crop yield and nitrogen uptake in a wheat–maize cropping system. *Biogeosciences*, *10*(4), 2427-2437.

Monge-Muñoz, M., Urquiaga, S., Müller, C., Cambronero-Heinrichs, J. C., Zaman, M., Chinchilla-Soto, C., Borzouei, A., Dawar, K., Rodríguez-Rodríguez, C. E., & Pérez-Castillo, A. G. (2021). Nitrapyrin effectiveness in reducing nitrous oxide emissions decreases at low doses of urea in an Andosol. *Pedosphere*, *31*(2), 303-313.

Nadeem, F., Farooq, M., Nawaz, A., & Ahmad, R. (2019). Boron improves productivity and profitability of bread wheat under zero and plough tillage on alkaline calcareous soil. *Field Crops Research, 239*, 1-9.

Niu, Y., Luo, J., Liu, D., Müller, C., Zaman, M., Lindsey, S., & Ding, W. (2018). Effect of biochar and nitrapyrin on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a sandy loam soil cropped to maize. *Biology and Fertility of Soils, 54*(5), 645-658.

Nozari, R., Hadidi-Masouleh, E., Borzouei, A., Sayfzadeh, S., & Eskandari, A. (2020). Investigating the effect of different tillage methods and nitrapyrin on increasing nitrogen utilization efficiency on physiological and biochemical traits in different wheat cultivars. *Archives of Pharmacy Practice, 11*(1), 134-150.

O'Callaghan, M., Gerard, E. M., Carter, P. E., Lardner, R., Sarathchandra, U., Burch, G., Ghani, A., & Bell, N. (2010). Effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on microbial communities in a pasture soil amended with bovine urine. *Soil Biology and Biochemistry, 42*(9), 1425-1436.

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.

Rácz, D., Szőke, L., Tóth, B., Kovács, B., Horváth, É., Zagyi, P., Duzs, L., & Széles, A. (2021). Examination of the productivity and physiological responses of Maize (*Zea mays* L.) to nitrapyrin and foliar fertilizer treatments. *Plants, 10*(11), 2426.

Ren, B., Dong, S., Zhao, B., Liu, P., & Zhang, J. (2017). Responses of nitrogen metabolism, uptake and translocation of maize to waterlogging at different growth stages. *Frontiers in Plant Science, 8*, 1216.

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.

Ren, B., Li, X., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Soil physical properties and maize root growth under different tillage systems in the North China Plain. *The Crop Journal, 6*(6), 669-676.

Sadhukhan, R., Jatav, H. S., Sen, S., Sharma, L. D., Rajput, V. D., Thangjam, R., Devedee, A. K., Singh, S. K., Gorovtsov, A., Choudhury, S., & Patra, K. (2022). Biological nitrification inhibition for sustainable crop production. In *Plant Perspectives to Global Climate Changes.* India: Academic Press. 135-150.

Salem, E. M., Kenawey, M. K., Saudy, H. S., & Mubarak, M. (2022). Influence of silicon forms on nutrients accumulation and grain yield of wheat under water deficit conditions. *Gesunde Pflanzen, 74*(3), 539-548.

Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Hernanz, J. L., & Navarrete, L. (2004). Economic assessment of three long-term tillage systems for rainfed cereal and legume production in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research, 78*(1), 35-44.

Scheer, C., Rowlings, D. W., Firrel, M., Deuter, P., Morris, S., & Grace, P. R. (2014). Impact of nitrification inhibitor (DMPP) on soil nitrous oxide emissions from an intensive broccoli production system in sub-tropical Australia. *Soil Biology and Biochemistry, 77*, 243-251.

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, 1*(171), 104350.

Souza, R. C., Cantão, M. E., Vasconcelos, A. T. R., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2013). Soil metagenomics reveals differences under conventional and no-tillage with crop rotation or succession. *Applied Soil Ecology, 72*, 49-61.

Sowiński, J., & Głąb, L. (2018). The effect of nitrogen fertilization management on yield and nitrate contents in sorghum biomass and bagasse. *Field Crops Research, 227*, 132-143.

Subbarao, G., Ito, O., Sahrawat, K., Berry, W., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M., & Rao, I. (2006). Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems-challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences, 25*(4), 303-335.

Tao, R., Zhao, X., Wu, X., Hu, B., Vanyanbah, K. B., Li, J., & Chu, G. (2021). Nitrapyrin coupled with organic amendment mitigates N2O emissions by inhibiting different ammonia oxidizers in alkaline and acidic soils. *Applied Soil Ecology, 166*, 104062.

Thompson, K. A., Bent, E., Abalos, D., Wagner-Riddle, C., & Dunfield, K. E. (2016). Soil microbial communities as potential regulators of in situ N_2O fluxes in annual and perennial cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry, 103*, 262-273.

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*(3), 1345-1353.

Xia, X., Zhang, P., He, L., Gao, X., Li, W., Zhou, Y., Li, Z., Li, H., & Yang, L. (2019). Effects of tillage managements and maize straw returning on soil microbiome using 16S rDNA sequencing. *Journal of Integrative Plant Biology, 61*(6), 765-777.

Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., Abdullahi, M., & Haruna, A. (2022). Recent advances in the chemistry of N, P, K as fertilizer in soil – A review. *Pedosphere*, *33*(3), 385-406.

Zaman, M., Nguyen, M. L., Blennerhassett, J. D., & Quin, B. F. (2008). Reducing NH_3, N_2O and NO_3 –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.

Zhang, M., Wang, W., Bai, S. H., Zhou, X., Teng, Y., & Xu, Z. (2018). Antagonistic effects of nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate and fungicide iprodione on net nitrification in an agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *116*, 167-170.