

واکنش برخی شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم به سطوح

مختلف زئولیت و نیتروژن

حسن نوریانی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه پیام نور، ایران.

نویسنده مسئول: hnouriyani@pnu.ac.ir*

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش برخی شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم به سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن آزمایشی بر اساس طرح کرت‌های یکبار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۴۰۱ به صورت مزرعه‌ای در منطقه دزفول اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد زئولیت طبیعی در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) به عنوان کرت‌های اصلی و همچنین چهار سطح مصرف نیتروژن (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع کود اوره به عنوان کرت‌های فرعی بود. نتایج آزمایش نشان داد اثر تیمارهای زئولیت، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. بر اساس مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها، بیش‌ترین میزان کارایی زراعی (۲۵/۰۲)، کارایی فیزیولوژیک (۴۲/۱۰)، کارایی جذب (۰/۹۳)، کارایی بهره‌وری (۳۹/۱۵) برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم و بازیافت ظاهری (۵۹/۰۷) و شاخص برداشت نیتروژن (۷۵/۰۳) برحسب درصد مربوط به تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین مقادیر آن‌ها به ترکیب تیماری عدم مصرف زئولیت (شاهد) و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت. حداکثر محتوای پروتئین دانه (۱۳/۸۷ درصد) در تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت به همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که نسبت به حداقل میزان آن (۸/۵۰ درصد) در تیمار شاهد و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۶۳/۱۷ درصد افزایش نشان داد. بر اساس نتایج این آزمایش، می‌توان کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را مؤثرترین تیمار به عنوان ماده افزودنی به خاک جهت افزایش شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: بازیافت ظاهری، شاخص برداشت نیتروژن، کارایی جذب و کارایی زراعی.

مقدمه

غلات از نظر تنوع و تولید بیش‌ترین سهم را در تغذیه انسان و دام دارند. غالبیت کشت این محصولات به‌عنوان مرکز ثقلی عمل کرده و سبب شده است که کوشش‌های تحقیقاتی و تولیدی زیادی بر روی آن‌ها انجام شود تا نیاز غذایی جهان تأمین گردد. گندم نان (*Triticum aestivum* L.) بی‌شک در بین گیاهانی که به‌عنوان منبع غذایی در سطح گسترده‌ای کشت می‌شوند، نقش عمده‌ای ایفا کرده و احتمالاً محوری برای شروع کشاورزی بوده است. این گیاه به دلیل دارا بودن ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت، انعطاف‌پذیری فنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌ها و داشتن ارقام مختلف، تقریباً در تمام دنیا کشت می‌گردد (مجنون حسینی، ۱۳۹۹). جذب و متابولیسم عناصر غذایی، فتوسنتز و تنفس، تسهیم مواد فتوسنتزی، پیری برگ‌ها و روابط آبی گیاه، ازجمله فرآیندهای مؤثر بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی هستند. نیتروژن یکی از عناصر اصلی و موردنیاز برای رشد و نمو گیاهان بوده و سرعت و میزان رشد آن‌ها غالباً به نیتروژن موجود در خاک بستگی دارد. نیتروژن در ترکیب شیمیایی گیاهان مثل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، کلروفیل، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و کوآنزیم‌ها اهمیت بسزایی دارد. هنگامی که تأمین نیتروژن در گیاهان عادی باشد، مواد فتوسنتزی بیشتر و عملکرد بیشتری به دست خواهد آمد (امام و همکاران، ۱۴۰۱). از آنجایی که نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید گیاهان زراعی به شمار می‌آید و کمبود آن تقریباً در همه‌جا وجود دارد، بنابراین لازم است مصرف و جذب آن از کارایی بیشتری برخوردار باشد تا بدین‌وسیله علاوه بر کاهش پتانسیل آلودگی محیط‌زیست، بخشی از هزینه‌های تولید در کشاورزی نیز کاسته شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۸). تقریباً نیمی از مصرف جهانی کود نیتروژن در مزارع برنج، گندم و ذرت اعمال می‌شود و اغلب در مقادیر بیش از حد استفاده می‌شود تا از تأمین نیتروژن کافی برای رشد محصول اطمینان حاصل شود. با این حال، کاربرد بیش از حد کود نیتروژن (و اغلب ناهماهنگ با نیاز گیاه) به گونه‌ای است که در سطح جهان بیش از ۵۰ درصد از کود نیتروژن بدون استفاده باقی می‌ماند (Yu et al., 2022). با توجه به این که نیتروژن خاک نمی‌تواند برای نیاز گیاهان کافی باشد، نیتروژن موردنیاز گیاهان با کاربرد کودهای نیتروژن تأمین می‌شود. مدیریت صحیح کودهای نیتروژنی می‌تواند سبب افزایش کارایی آن‌ها در خاک‌های کشاورزی و همچنین حفظ سلامت محیط‌زیست گردد. کود اوره پرمصرف‌ترین کود نیتروژنی مورد استفاده در تولید گیاهان زراعی است؛ با این حال به دلیل هیدرولیز سریع اوره به آمونیوم و سپس تبدیل آن به نترات، هدر رفت آن افزایش‌یافته و سبب کاهش فراهمی نیتروژن برای گیاه در زمان نیاز به آن می‌باشد (Souza et al., 2019). بهبود شرایط خاک از نظر فراهمی و جذب عناصر غذایی و درنهایت توسعه هر چه بیشتر ریشه در پروفیل خاک، ازجمله عوامل مؤثر در افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان به شمار می‌آید. نتایج برخی پژوهش‌های انجام‌شده در گندم نشان داد که افزایش سطح مصرف نیتروژن باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن، کارایی زراعی، کارایی فیزیولوژیک،

کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن، بازیافت ظاهری و شاخص برداشت نیتروژن شده است (سیدی و حمزه‌ئی، ۱۴۰۰؛ هوشمندی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کشاورز و عباس زاده، ۱۳۹۸؛ توکلی کاخکی و همکاران، ۱۳۹۷؛ خلیل زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ خیاط و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین، کاهش کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن در گلرنگ نیز گزارش گردیده است (میرزاشاهی و نورقلی‌پور، ۱۳۹۹). چنین نتایج مشابهی از آزمایش بر روی گیاهانی مانند برنج و جو نیز گزارش شده است (درزی نفت‌چالی و مختصی بیدگلی، ۱۴۰۰؛ عطار زاده و همکاران، ۱۴۰۲). یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر برای بهبود کارایی جذب نیتروژن در کود اوره و کاهش هدر رفت نیتروژن در خاک مورد توجه قرار گرفته، استفاده از مواد معدنی طبیعی مانند زئولیت در اراضی کشاورزی بوده است (Elrys *et al.*, 2021). زئولیت‌ها خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات کریستال‌های آلومینوسیلیکات هیدراته با شبکه سه‌بعدی می‌باشند. اسکلت باز آن‌ها شامل کانال‌ها و حفراتی حاوی کاتیون‌ها و مولکول‌های آب است و به دلیل تحرک این کاتیون‌ها، پدیده تبادل یونی که یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، میسر می‌شود (Mihok *et al.*, 2021). زئولیت ظرفیت نگهداری آب بالایی داشته و می‌تواند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر باشد. این ترکیبات به دلیل سطح ویژه بالا می‌تواند با نگهداشت اوره در ساختار منافذ خود، آبشویی آن در خاک اطراف ریشه را کاهش داده و سبب می‌شود اوره کمتر در اختیار آنزیم اوره آز قرار گیرد. بدین ترتیب زئولیت سبب به تأخیر انداختن تبدیل اوره به آمونیوم می‌شود (Jumadi *et al.*, 2020). همچنین، به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا و توانایی بالای جذب آمونیوم، می‌تواند آمونیوم را جذب نموده و علاوه بر کاهش تصعید آمونیوم، با کاهش نرخ تبدیل آمونیوم به نیترات، سبب کاهش آبشویی نیترات در خاک شود (Wu *et al.*, 2016). گزارش کرده‌اند کاربرد زئولیت به دلیل داشتن سیلیسیم و اثر هم‌افزایی سیلیسیم و نیتروژن در خاک سبب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان و بهبود عملکرد آن‌ها می‌شود (Ashfaq *et al.*, 2017).

در آزمایشی بر روی گندم، افزایش کارایی جذب و شاخص برداشت نیتروژن در نتیجه استفاده از زئولیت به همراه کود شیمیایی گزارش شده است (Kakabouki *et al.*, 2024). افزایش نیتروژن و ظرفیت تبادل کاتیونی در کشت برنج در اثر استفاده همزمان زئولیت و کود شیمیایی نیز گزارش گردیده است (Wulandari *et al.*, 2018). همچنین، افزایش کارایی مصرف نیتروژن در گندم و بازیافت ظاهری در برنج با کاربرد زئولیت به همراه کودهای آلی و شیمیایی توسط برخی پژوهش‌گران نیز بیان شده است (خوراشاهی، ۱۳۹۵؛ Kavosi, 2007). بنابراین با توجه به مزایای کاربرد زئولیت در خاک، این پژوهش به منظور بررسی اثر زئولیت در سطوح مختلف نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر اساس طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به صورت مزرعه‌ای در جنوب شرق دزفول، واقع در شمال استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۴۸ متر از سطح دریا مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد زئولیت طبیعی در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) به عنوان کرت‌های اصلی و چهار سطح مصرف نیتروژن (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع کود اوره به عنوان کرت‌های فرعی بود. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم و دو دیسک عمود بر هم جهت تسطیح و خرد کردن کلوخه‌ها انجام شد. پنجاه درصد تیمارهای کودی نیتروژن به صورت پایه و قبل از دیسک دوم به همراه تیمارهای زئولیت به طور یکنواخت در مزرعه توزیع و سپس به وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید. پنجاه درصد کود نیتروژن باقیمانده نیز به صورت سرک در دو مرحله، یکی در ابتدای مرحله پنجه‌زنی (کد ۲۱ زادوکس) و بعدی در مرحله ساقه رفتن (کد ۳۲ زادوکس) اعمال شد. بر اساس نتایج آزمون خاک محل آزمایش (جدول ۱) و توصیه‌های کودی، مقادیر کودهای فسفر و پتاس مورد نیاز، برحسب ۷۰ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) و ۱۵۰ کیلوگرم پتاس (K_2O) در هکتار، به صورت پایه و قبل از دیسک دوم به صورت یکنواخت در مزرعه توزیع و به وسیله دیسک با خاک مخلوط گردید.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	عمق خاک (سانتی متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	اسیدیته (گل اشباع)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
سیلتی لوم	۳۰-۰	۰/۸۶	۰/۰۵۹	۱۰/۴	۱۸۳	۷/۷۴	۱/۱۷

در این پژوهش، هر کرت شامل شش خط کشت به طول هفت متر، فاصله خطوط ۲۰ سانتی متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع اعمال شد. در این آزمایش از گندم رقم چمران دو (تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۸۹ سانتی متر، متحمل به خوابیدگی، زودرسی نسبی، میانگین وزن هزار دانه ۴۱ گرم، کیفیت نانوائی بسیار خوب) استفاده و تاریخ کشت آن ۲۰ آذرماه بود. اولین آبیاری کرت‌های آزمایشی پس از کاشت انجام و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز و دیگر آفات احتمالی، در صورت نیاز در مرحله داشت انجام گردید. لازم به ذکر است که در هر تکرار یک سطح صفر نیتروژن (بدون مصرف کود نیتروژن) به عنوان شاهد، جهت محاسبه و برآورد میزان شاخص‌های کارایی نیتروژن در نظر گرفته شد که در تجزیه واریانس دخالت داده نشد. در مرحله رسیدگی کامل، پس از حذف یک متر حاشیه از بالا و پایین دو خط میانی، محصول هر کرت در سطحی معادل ۱/۲ مترمربع کف بُر گردید. محصول برداشت‌شده از دو خط

مذکور پس از کوبیدن، دانه‌ها از سنبله جدا و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی آن‌ها برآورد گردید (مندنی و همکاران، ۱۳۹۸). در مرحله رسیدگی کامل جهت تعیین غلظت نیتروژن دانه و کاه اندام‌های رویشی گیاه (برگ و مابقی اندام‌های هوایی) از روش کجدال استفاده گردید و سپس محتوای پروتئین دانه از حاصل ضرب درصد نیتروژن دانه در ضریب ۵/۷ محاسبه شد (آناقلی و عزت احمدی، ۱۳۸۵). به منظور ارزیابی کارایی زراعی نیتروژن (AE)، کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (PE)، کارایی جذب نیتروژن (NUpE) و کارایی بهره‌وری نیتروژن (NUtE) برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم و همچنین کارایی بازیافت ظاهری (ARE) و شاخص برداشت نیتروژن (NHI) برحسب درصد به ترتیب از رابطه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ استفاده گردید (Limon-Ortega et al., 2008 ; Lopez-Bellido et al., 2005 ; Moll et al., 1982):

رابطه ۱: (میزان عرضه نیتروژن خاک) / (عملکرد دانه تیمار شاهد - عملکرد دانه تیماری کودی) = AE

رابطه ۲: (جذب نیتروژن شاهد - جذب نیتروژن تیمار کودی) / (عملکرد زیستی شاهد - عملکرد زیستی تیمار کودی) = PE

رابطه ۳: (میزان عرضه نیتروژن خاک) / (کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه) = NUpE

رابطه ۴: (کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه / عملکرد دانه) = NUtE

رابطه ۵: $100 \times$ (میزان عرضه نیتروژن خاک) / (جذب نیتروژن تیمار شاهد - جذب نیتروژن تیمار کودی) = ARE

رابطه ۶: $100 \times$ (کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه / نیتروژن دانه) = NHI

که میزان عرضه نیتروژن خاک (N_{supply}): شامل مجموع نیتروژن کودی، نیتروژن حاصل از فرآیند معدنی شدن، نیتروژن معدنی باقی مانده در خاک و نیتروژن حاصل از باران می‌باشد. به پیشنهاد Thuy و همکاران (۲۰۰۸) کل نیتروژن جذب شده گیاه در تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) معادل نیتروژن حاصل از فرآیند معدنی شدن نیتروژن آلی، نیتروژن حاصل از باران و نیتروژن باقی مانده در خاک در هر تیمار کودی لحاظ شد.

کلیه محاسبات آماری و آنالیز واریانس با استفاده از نرم افزار SAS (Ver. 9.3) روی داده‌های آزمایش انجام گردید. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی، بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

کارایی زراعی نیتروژن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای ژئولیت ($P \leq 0.05$)، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها ($P \leq 0.01$) بر کارایی زراعی نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای آزمایش مشخص نمود که بیش‌ترین میزان کارایی زراعی نیتروژن ($25/02$ کیلوگرم بر کیلوگرم) در تیمار مصرف 12 تن ژئولیت و 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن ($12/01$ کیلوگرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار عدم مصرف ژئولیت (شاهد) و مصرف 200

کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (جدول ۳). Zheng و همکاران (۲۰۱۸) اعلام کردند، کارایی زراعی در سطوح بالای مصرف نیتروژن، ممکن است در اثر کاهش جذب نیتروژن به وسیله گیاه و یا عدم استفاده مؤثر از آن کاهش یابد. همچنین برخی علت کاهش کارایی زراعی نیتروژن در اثر افزایش مصرف کود نیتروژن را با افزایش سرعت از دست رفتن عنصر مذکور از طریق آبشویی و تصعید و یا عدم جذب مؤثر آن توسط گیاه مرتبط دانستند (Doyle and Holford, 2005). کاهش کارایی زراعی نیتروژن در اثر افزایش میزان نیتروژن در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (موسوی و ذاکر نژاد، ۱۳۹۹). در مقابل، به نظر می‌رسد که زئولیت با بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب، جذب نیتروژن توسط ریشه را تسهیل کرده و این امر منجر به افزایش عملکرد دانه در واحد نیتروژن مصرفی (کارایی زراعی) گردید.

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس این تحقیق نشانگر آن است کارایی فیزیولوژیک که توانایی گیاه زراعی را در استفاده از نیتروژن به منظور تولید عملکرد نشان می‌دهد، تحت اثر سطوح مختلف زئولیت ($P \leq 0.05$) و نیتروژن ($P \leq 0.01$) و برهم‌کنش آن‌ها ($P \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارایی فیزیولوژیک به ترتیب در تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۴۲/۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم و تیمار عدم مصرف زئولیت و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۲۸/۰۳ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل گردید (جدول ۳). کاهش کارایی فیزیولوژیک در سطوح بالای نیتروژن را می‌توان به افزایش بیش‌تر نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به افزایش تولید محصول توسط آن‌ها دانست. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که در سطوح بالای نیتروژن، گیاه تمایل به ذخیره نیتروژن در برگ‌ها و ساقه‌ها را دارد، اما این نیتروژن لزوماً به تولید بیش‌تر زیست‌توده یا دانه تبدیل نمی‌شود. نتایج مشابهی در خصوص کاهش کارایی فیزیولوژیک با افزایش نیتروژن توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (هوشمند و همکاران، ۱۴۰۰؛ کشاورز و عباس زاده، ۱۳۹۸). این در حالی است که با افزایش میزان زئولیت، کارایی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن افزایش یافت. اثر مثبت زئولیت در صفت مذکور را می‌توان به افزایش عملکرد در ازای افزایش جذب نیتروژن دانست.

کارایی جذب نیتروژن

بر اساس نتایج این تحقیق، تفاوت بین سطوح مختلف زئولیت، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها از لحاظ آماری ($P \leq 0.01$) بر کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای آزمایش نشان داد که بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن (۰/۹۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) به تیمار ۱۲ تن زئولیت و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن (۰/۷۴ کیلوگرم بر کیلوگرم) به تیمار عدم مصرف زئولیت (شاهد) و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن کاهش یافت.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم تحت تأثیر سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		کارایی زراعی نیتروژن	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن	کارایی جذب نیتروژن	کارایی بهره‌وری نیتروژن	کارایی بازیافت ظاهری	شاخص برداشت نیتروژن
تکرار	۲	۴۸/۲۷۰۸۴	۴۶/۹۳۷۵۰	۰/۰۰۷۹۶	۳۵۳/۲۵۰۰	۱۲۳/۲۷۰۸۳	۵۳/۰۸۳۳۲
زئولیت	۳	۲۶/۶۳۱۹۳*	۳۰/۷۴۳۰۶*	۰/۰۹۹۸۵**	۲۸/۹۶۵۲۸*	۶۱/۸۵۴۱۷**	۷۸/۱۸۷۵۰**
خطای (a)	۶	۵/۴۶۵۲۸	۶/۰۷۶۳۹	۰/۰۱۰۰۹	۳/۷۷۸۷۶	۶/۲۷۱۸۴	۵/۰۸۴۲۲
نیتروژن	۳	۱۶۷/۴۰۹۷۲**	۲۶۶/۲۴۳۰۵**	۰/۰۵۲۱۶۸**	۳۴۴/۵۷۶۳۹**	۱۹۶/۸۵۴۱۷**	۸۸۸/۴۶۵۲۸**
زئولیت × نیتروژن	۹	۶/۸۷۳۶۸**	۵/۲۲۴۵۴*	۰/۰۱۱۹۶**	۵/۵۹۴۹۱**	۷/۹۶۵۲۸**	۴/۱۸۷۵۱*
خطای (b)	۲۴	۱/۹۴۵۷۰	۲/۱۲۵۰۱	۰/۰۰۳۵۵	۱/۵۹۰۲۸	۲/۱۰۴۱۷	۱/۶۹۴۴۲
ضریب تغییرات (CV)		۷/۷۴	۴/۱۳	۶/۹۸	۳/۹۶	۲/۸۹	۳/۱۵
							۲/۶۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش زئولیت و نیتروژن بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و محتوای پروتئین دانه گندم

محتوای پروتئین دانه (درصد)	شاخص برداشت نیتروژن (درصد)	کارایی بازیافت ظاهری (درصد)	کارایی بهره‌وری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی زراعی نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)	سطوح تیمارها	
							زئولیت (تن در هکتار)	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
۸/۵۰ h	۷۰/۰۳ ef	۵۲/۰۱ cd	۳۵/۳۱ bc	۰/۸۹ c	۳۹/۰۲ bcd	۲۰/۳۳ cd	Z ₀	N ₅₀
۹/۲۱ g	۷۱/۲۱ de	۴۹/۰۲ ef	۳۲/۴۰ de	۰/۸۱ ef	۳۶/۰۱ ef	۱۸/۰۰ de		N ₁₀₀
۱۰/۴۲ ef	۶۳/۰۱ i	۴۷/۰۳ gh	۲۸/۰۰ gh	۰/۷۸ f	۳۲/۰۰ hi	۱۵/۰۲ fg		N ₁₅₀
۱۲/۶۰ c	۵۱/۳۵ l	۴۳/۰۲ i	۲۳/۰۳ j	۰/۷۴ g	۲۸/۰۳ j	۱۲/۰۱ h		N ₂₀₀
۹/۲۴ g	۷۲/۰۱ de	۵۳/۰۴ c	۳۶/۱۲ bc	۰/۹۱ ab	۴۰/۱۰ abc	۲۱/۰۰ bc	Z ₄	N ₅₀
۹/۵۰ g	۷۳/۱۳ d	۵۰/۰۳ cd	۳۴/۳۳ cd	۰/۸۳ e	۳۷/۰۵ de	۱۹/۰۱ cd		N ₁₀₀
۱۰/۸۷ e	۶۴/۱۰ hi	۴۸/۶۷ g	۲۹/۳۴ g	۰/۷۹ f	۳۳/۰۲ gh	۱۶/۰۳ ef		N ₁₅₀
۱۲/۲۵ c	۵۴/۰۵ k	۴۵/۰۲ hi	۲۴/۰۷ ij	۰/۷۵ g	۲۸/۶۷ j	۱۳/۰۱ gh		N ₂₀₀
۹/۶۰ g	۷۴/۰۲ bc	۵۶/۱۰ b	۳۷/۰۵ ab	۰/۹۲ a	۴۱/۲۱ ab	۲۲/۰۳ ab	Z ₈	N ₅₀
۱۰/۳۰ f	۷۵/۰۵ b	۵۲/۰۲ cd	۳۶/۰۰ bc	۰/۸۵ de	۳۸/۰۵ cde	۲۰/۰۲ cd		N ₁₀₀
۱۱/۲۱ d	۶۶/۰۰ gh	۵۰/۳۵ de	۳۰/۰۱ fg	۰/۸۰ ef	۳۵/۰۷ fgh	۱۸/۰۱ de		N ₁₅₀
۱۲/۸۶ cd	۵۸/۰۷ j	۴۶/۲۰ gh	۲۵/۰۰ ij	۰/۷۷ f	۳۰/۱۱ ij	۱۴/۰۱ fgh		N ₂₀₀
۱۰/۲۱ f	۷۵/۰۳ b	۵۹/۰۷ a	۳۹/۱۵ a	۰/۹۳ a	۴۲/۱۰ a	۲۵/۰۲ a	Z ₁₂	N ₅₀
۱۱/۴۰ d	۷۷/۰۶ a	۵۴/۱۳ c	۳۷/۰۴ ab	۰/۸۶ de	۳۸/۲۴ cd	۲۱/۱۲ bc		N ₁₀₀
۱۳/۰۳ b	۶۸/۱۱ fg	۵۱/۰۶ de	۳۲/۰۰ ef	۰/۸۱ ef	۳۵/۳۴ efg	۱۸/۱۶ de		N ₁₅₀
۱۳/۸۷ a	۵۹/۰۸ j	۴۷/۰۶ gh	۲۶/۰۱ hi	۰/۷۸ f	۳۲/۰۰ hi	۱۵/۰۱ fg		N ₂₀₀

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

Z₀، Z₄، Z₈ و Z₁₂: به ترتیب کاربرد مقادیر صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن زئولیت در هکتار؛ N₅₀، N₁₀₀، N₁₅₀ و N₂₀₀: به ترتیب کاربرد مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار.

به نظر می‌رسد که در مقادیر بالای نیتروژن مصرفی، مقدار زیادی از این عنصر در خاک باقی‌مانده و یا از طریق تبخیر آمونیاک، شستشوی نترات و دنیتریفیکاسیون هدررفته و جذب نگردیده است. اثر تشدیدکنندگی میزان کود مصرفی بر مقدار نیتروژن ازدست‌رفته در دیگر مطالعات نیز گزارش شده است (مندنی و همکاران، ۱۳۹۸). در این تحقیق، مشاهده گردید که مصرف ژئولیت اثر مثبت و معنی‌داری بر کارایی جذب نیتروژن داشت. به‌طوری‌که میزان صفت مذکور به‌وسیله تیمارهای مصرف ژئولیت در تمامی سطوح نیتروژن مورد مطالعه، بالاتر از تیمار عدم کاربرد ژئولیت (شاهد) بود (جدول ۳). بر این اساس، بالاتر بودن میزان کارایی جذب نیتروژن در تیمارهای کاربرد ژئولیت، ممکن است به دلیل بهبود وضعیت خاک از نظر فراهمی عناصر غذایی و تلفات کمتر نیتروژن باشد. افزایش کارایی جذب نیتروژن در اثر استفاده از ژئولیت توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Kakabouki et al., 2024؛ Latifah et al., 2017).

کارایی بهره‌وری نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تیمارهای ژئولیت ($P \leq 0.05$)، نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها ($P \leq 0.01$) اثر معنی‌داری بر کارایی بهره‌وری نیتروژن داشت (جدول ۲). در این تحقیق، بیش‌ترین کارایی بهره‌وری نیتروژن به میزان ۳۹/۱۵ کیلوگرم بر کیلوگرم به تیمار مصرف ۱۲ تن ژئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین آن به میزان ۲۳/۰۱ کیلوگرم بر کیلوگرم به تیمار عدم مصرف ژئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختصاص داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد، عکس‌العمل گیاه به کاربرد کود نیتروژن در محدوده رفع نیاز آن مثبت بوده و سبب افزایش عملکرد می‌شود، اما در بالاتر از این محدوده، نیتروژن مصرفی صرفاً باعث افزایش غلظت نیتروژن دانه خواهد شد، به‌عبارت‌دیگر در سطوح بالای نیتروژن، محتوای نیتروژن گیاه افزایش‌یافته، ولی عملکرد دانه به‌تناسب آن افزایش نیافته است و همین امر کاهش راندمان بهره‌وری نیتروژن را سبب گردید. نتایج مشابهی در آزمایش توکلی کاخکی و همکاران (۱۳۹۷) نیز حاصل شده است. به نظر می‌رسد، افزایش میزان بهره‌وری نیتروژن توسط ژئولیت، به دلیل به‌کارگیری بیش‌تر نیتروژن جذب‌شده به‌وسیله گیاه در افزایش عملکرد دانه باشد. Latifah و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند ژئولیت با بهبود توزیع نیتروژن در اندام‌های زایشی، کارایی بهره‌وری نیتروژن را در گندم افزایش داد.

کارایی بازیافت ظاهری

نتایج تجزیه واریانس آزمایش مشخص نمود کارایی بازیافت ظاهری تحت اثر معنی‌دار تیمار ژئولیت، نیتروژن و همچنین برهم‌کنش آن‌ها ($P \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها نشان داد که بیش‌ترین میزان کارایی بازیافت ظاهری (۵۹/۰۷ درصد) مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن ژئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین میزان آن (۴۳/۲۰ درصد) به تیمار عدم مصرف ژئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت (جدول ۳).

در این تحقیق با افزایش مقادیر مصرف نیتروژن از ۵۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، میزان کارایی بازیافت ظاهری به طور معنی داری کاهش پیدا کرد. Alvarez و همکاران (۲۰۰۲) نتیجه گرفتند که عدم نگهداری نیتروژن در خاک و آبشویی از دلایل مهم کارایی پایین بازیافت ظاهری نیتروژن در گندم به شمار می رود. کاهش کارایی بازیافت ظاهری در سطوح بالای نیتروژن در آزمایش های دیگر محققان نیز گزارش شده است (هوشمندی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کشاورز و عباس زاده ۱۳۹۸). در مقابل، به نظر می رسد که زئولیت با تعدیل هدر رفت نیتروژن از طریق کاهش تثبیت نیتروژن در خاک و آبشویی و همچنین جلوگیری از تبدیل آن به فرم های غیرقابل جذب، سهم نیتروژن جذب شده توسط گیاه را نسبت به نیتروژن مصرفی افزایش داده که این امر باعث افزایش کارایی بازیافت ظاهری در تیمارهای مصرف زئولیت نسبت تیمار عدم مصرف آن در سطوح مختلف تیمار نیتروژن گردید. افزایش کارایی بازیافت ظاهری ناشی از مصرف زئولیت در تحقیق Kavooosi (۲۰۰۷) نیز گزارش گردیده است.

شاخص برداشت نیتروژن

اثر تیمارهای زئولیت و نیتروژن ($P \leq 0.01$) و همچنین برهم کنش آن ها ($P \leq 0.05$) بر شاخص برداشت نیتروژن که در واقع نشان دهنده نسبت نیتروژن دانه به نیتروژن جذب شده به وسیله گیاه می باشد، معنی دار بود (جدول ۲). در مقایسه ترکیب های تیماری، مشخص گردید که تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت به همراه ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۷۷/۰۶ درصد و تیمار عدم مصرف زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۵۱/۳۵ درصد به ترتیب بیش ترین و کم ترین میزان شاخص برداشت نیتروژن را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). زئولیت با جذب و رهاسازی تدریجی NH_4^+ و NO_3^- ، از هدر رفت نیتروژن جلوگیری می کند و جذب پایدار آن را توسط گیاه تضمین می کند. این امر باعث افزایش انتقال نیتروژن به اندام های زایشی (دانه) در مرحله پر شدن دانه و افزایش شاخص برداشت نیتروژن می گردد (Ramesh *et al.*, 2015). در واقع می توان اظهار نمود که افزایش شاخص برداشت نیتروژن به وسیله مصرف زئولیت، نشان دهنده بهبود کارایی انتقال نیتروژن از اندام های رویشی به دانه است. نتایج حاصل از آزمایش Kakabouki و همکاران (۲۰۲۴) نیز مؤید این موضوع می باشد.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای زئولیت، نیتروژن و برهم کنش آن ها ($P \leq 0.01$) بر صفت محتوای پروتئین دانه معنی دار بود (جدول ۲). حداکثر محتوای پروتئین دانه (۱۳/۸۷ درصد) از ترکیب تیماری کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد و تیمار عدم مصرف زئولیت و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۸/۵۰ درصد، حداقل محتوای پروتئین دانه را داشت (جدول ۳). از آنجایی که انتقال مجدد نیتروژن از اندام های

رویشی به دانه، سهم بسزایی در میزان پروتئین دانه ایفا می‌کند، به نظر می‌رسد برتری میزان پروتئین دانه در سطوح بالای تیمارهای زئولیت و نیتروژن نسبت به سطوح پایین آن‌ها، به افزایش غلظت نیتروژن در بخش‌های رویشی و انتقال مجدد و تجمع بیشتر آن در دانه‌ها باشد. بنابراین توزیع نیتروژن ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی و انتقال آن به دانه در شرایط مصرف زئولیت به همراه کود نیتروژن دارای اهمیت زیادی است. لذا، فراهمی بیشتر نیتروژن در مراحل مختلف رشد گیاه و بهبود جذب آن توسط ریشه‌ها در اثر مصرف ۱۲ تن زئولیت و افزایش توزیع مجدد نیتروژن در تیمار کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار علت افزایش معنی‌دار میزان پروتئین دانه ترکیب تیمار کودی مذکور نسبت به تیمار عدم مصرف زئولیت به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. افزایش میزان پروتئین دانه در نتیجه مصرف زئولیت در آزمایش‌های دیگر نیز گزارش شده است (صالحی و همکاران، ۱۴۰۲؛ نافع و همکاران، ۱۴۰۰؛ اصلانی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، اظهار شده است، زئولیت با تنظیم pH خاک و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم نیتروژن (مانند نیترات ردوکتاز)، تبدیل نیتروژن به پروتئین و سایر ترکیبات مفید در گیاه را بهبود می‌بخشد (Jumadi et al., 2020).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد افزایش مصرف نیتروژن اثر کاهشی بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن (کارایی زراعی، کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب، کارایی بهره‌وری، بازیافت ظاهری و شاخص برداشت نیتروژن) و اثر افزایشی بر محتوای پروتئین دانه گندم داشت. درحالی‌که، اثر کاربرد زئولیت بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و همچنین محتوای پروتئین دانه افزایشی بود. بیش‌ترین میزان شاخص‌های مذکور مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن زئولیت به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین میزان آن‌ها به تیمار عدم مصرف زئولیت و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعلق داشت. حداکثر محتوای پروتئین دانه (۱۳/۸۷ درصد) در تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت به همراه ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که نسبت به حداقل میزان آن (۸/۵۰ درصد) در تیمار شاهد و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۶۳/۱۷ درصد افزایش نشان داد. بر اساس نتایج این آزمایش، می‌توان کاربرد ۱۲ تن زئولیت به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را مؤثرترین تیمار به‌عنوان ماده افزودنی به خاک جهت افزایش شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن مورد استفاده قرار داد. درنهایت می‌توان اظهار داشت، کاربرد هم‌زمان زئولیت و نیتروژن در خاک می‌تواند یک رویکرد مفید جهت افزایش شاخص‌های کارایی کودهای نیتروژن دار و بهبود پایداری سامانه‌های کشاورزی محسوب شود. شایان ذکر است که با توجه به فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور و قیمت ارزان آن و تأثیر قابل ملاحظه این مواد بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن، استفاده آن از دیدگاه اقتصادی کاملاً قابل توجیه است.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با همکاری و حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه پیام نور استان خوزستان انجام گردیده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- اصلانی، پ.، داوری، م.، محمودی، م.ع.، حسین‌پناهی، ف. و خالق پناه، ن. ۱۴۰۰. تأثیر زئولیت و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های مینایی خاک و عملکرد گندم در تناوب سیب زمینی- گندم. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). ۴۴ (۱): ۹۷-۱۱۹.
- امام، ی.، مقصودی، ک. و احسان زاده، پ. ۱۴۰۱. فیزیولوژی گیاهان زراعی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. ۳۰۴ ص.
- آنقلی، ا. و عزت احمدی، م. ۱۳۸۵. تأثیر مقدار و زمان مصرف نیتروژن بر پروتئین دانه و کارایی مصرف نیتروژن گندم رقم زاگرس در شرایط دیم. نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۱۶ (۱): ۱۲۲-۱۱۳.
- توکلی کاخکی، ح.ر.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.ر.، جهان، م. و بهشتی، ع.ر. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.). نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۱۰ (۳): ۷۱۸-۶۹۹.
- خلیل زاده، غ.ر.، عزیزاف، ا. و مظفری، ج. ۱۳۹۶. بررسی توده‌های بومی گندم نان در جذب و بهره‌وری نیتروژن. نشریه زراعت دیم ایران. ۶ (۱): ۵۳-۳۵.
- خورشاهی، م. ۱۳۹۵. تأثیر زئولیت بر جذب پتاسیم و کارایی مصرف ازت و پتاسیم توسط گندم در یک خاک با محدودیت پتاسیم قابل استفاده. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۱۱: ۱۳-۶.
- خیاط، ش.، مجدم، م. و علوی‌فاضل، م. ۱۳۹۳. اثر مقادیر نیتروژن بر عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های گندم دوروم در خوزستان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۶ (۲۱): ۱۱۳-۱۰۳.
- درزی نفت‌چالی، ع. و مختصی بیدگلی، ع. ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری و زهکشی متناوب بر جذب و شاخص برداشت نیتروژن دو رقم برنج. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱ (۴۴): ۱۴۰-۱۲۳.
- سیدی، س.م. و حمزه‌ئی، ج. ۱۴۰۰. بررسی کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد گندم تحت تأثیر مدیریت کاربرد کود و

تناوب زراعی. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۴ (۳): ۲۶-۱۳.

صالحی، م.، زارع، م.، بذرافشان، ف.، آیین، ا. و امیری، ب. ۱۴۰۲. پاسخ مورفو- فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف ذرت به کاربرد زئولیت تحت شرایط تنش خشکی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۵ (۶۰): ۸۹-۱۰۴.

عطار زاده، م.، ملکی فراهانی، س. و میردورقی، م. ۱۴۰۲. ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط کم نهاده. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۴): ۴۲۲-۴۰۵.

کشاورز، پ. و عباس زاده، م. ۱۳۹۸. اثر ویژگی‌های خاک بر کارایی مصرف نیتروژن در مزارع گندم استان خراسان رضوی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). الف ۳۳ (۴): ۴۴۰-۴۲۵.

مجنون حسینی، ن. ۱۳۹۹. زراعت غلات، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۴۶ ص.

ملکوتی، م.ج.، بابا اکبری، م. و نظامی، س. ۱۳۸۸. تأثیر منابع مختلف کودهای محتوی نیتروژن پایه بر عملکرد، کارایی و درصد بازیافت نیتروژن در گندم. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۳ (۴۹): ۱۳۹-۱۲۹.

مندنی، ف.، بزرگی حسین آباد، ع.، سعیدی، م.، باقری، ع.ر. و حیدری، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه. نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۱۱ (۱): ۸۷-۱۰۲.

موسوی، س. و ذاکر نژاد، س. ۱۳۹۹. اثر مدیریت مصرف نیتروژن بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.). نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۵): ۹۱-۱۱۱.

میرزاشاهی، ک. و نورقلی‌پور، ف. ۱۳۹۹. بررسی میزان و نحوه مصرف نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۷): ۶۳-۴۵.

نافعی، ا.، مظفری، ح. و رجب زاده، ف. ۱۴۰۰. ارزیابی اثر کاربرد زئولیت طبیعی و سولفات روی بر عملکرد و صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم مهدوی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۱۳ (۴۶): ۲۷-۱۵.

هوشمندی، ج.، میرزاوند، ج. و زارع، م. ۱۴۰۰. اثر روش‌های خاک‌ورزی و مقادیر مختلف نیتروژن بر کارایی مصرف و شاخص تغذیه نیتروژن گندم در یک خاک آهکی (مطالعه موردی: منطقه زرقان، استان فارس). نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۳۱ (۱): ۲۵۷-۲۳۹.

Alvarez, R., Alvarez, C.R. and Steinbach, H.S. 2002. Association between soils organic matter and wheat yield in Humid Pampa of Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 33: 749-757.

Ashfaq, F., Inam, A., Iqbal, S. and Sahay, S. 2017. Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.). *South African Journal of Botany*. 111: 153-160.

Craswell, E.T. 1997. The efficiency of urea fertilizer under different environment conditions. *Australian Centre for International Agricultural Research*. 63: 92-95.

Doyle, A.D. and Holford, I.C.R. 2005. The uptake of nitrogen by wheat, its agronomic efficiency and their relationship to soil and nitrogen fertilizer. *Australian Journal Agriculture*. 44: 1245-1258.

Elrys, A.S., El-Maati, M.F.A., Abdel-Hamed, E.M.W., Arnaout, S.M., El-Tarabily, K.A. and Desoky, E.S.M. 2021. Mitigate nitrate contamination in potato tubers and increase nitrogen recovery by combining dicyandiamide, moringa oil and zeolite with nitrogen fertilizer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 209: 111839.

Jumadi, O., Hala, Y., Iriany, R.N., Makkulawu, A.T., Baba, J. and Inubushi, K. 2020. Combined effects of nitrification inhibitor and zeolite on greenhouse gas fluxes and corn growth. *Environmental Science and Pollution Research*. 27 (2): 2087-2095.

Kakabouki, I., Roussis, I., Mavroeidis, A., Stavropoulos, P., Kanatas, P., Pantaleon, K., Folina, A., Beslemes, D. and Tigka, E. 2024. Effects of zeolite application and inorganic nitrogen fertilization on growth, productivity, and nitrogen and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) cultivated under mediterranean conditions. *Sustainability*. 17 (2178): 1-32.

Kavoosi, M. 2007. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery, and nitrogen use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38: 69-76.

Latifah, O., Ahmed, O.H. and Abdul-Majid, N.M. 2017. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. *Geoderma*. 306: 152-159.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B. and Sayre, K.D. 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 29: 21-28.

Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J. and Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rain fed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Research*. 92 (94): 86-97.

Mihok, F., Macko, J., Oriňak, A., Oriňaková, R., Koval, K., Sisáková, K., Petruš, O. and Kostecká, Z. 2020. Controlled nitrogen release fertilizer based on zeolite clinoptilolite: Study of preparation process and release properties using molecular dynamics. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 3: 100030.

Moll, R.H., Kamprath, E.J. and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors, which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*. 74: 262-264.

Ramesh, V., Jyothi, J.S. and Shibli, S. 2015. Effect of zeolites on soil quality, plant growth and nutrient uptake efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Root Crops*. 41 (1): 25-31.

Souza, E.F., Soratto, R.P., Fernandes, A.M. and Rosen, C.J. 2019. Nitrogen source and rate effects on irrigated potato in tropical sandy soils. *Agronomy Journal*. 111 (1): 378-389.

Thuy, N.H., Shan, Y., Singh, B., Wang, K., Cai, Z., Singh, Y. and Buresh, R.J. 2008. Nitrogen supply in rice-based cropping systems as affected by crop residue management. *Soil Science Society of America Journal*. 72: 514-523.

Wu, Q., Xia, G.M., Chen, T.T., Chi, D.C., Jin, Y. and Sun, D.H. 2016. Impacts of nitrogen and zeolite managements on yield and physicochemical properties of rice grain *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 9 (5): 93-100.

Wulandari, R., Hanum, H. and Hasanah, Y. 2018. The effect of nitrogen fertilizer, zeolite and fresh straw to increase total-N, cation exchange capacity (CEC) of rice crop. *Earth and Environmental Science*. 260 (012157): 1-6.

Yu, X., Keitel, C., Zhang, Y., Wangeci, A.N. and Dijkstra, F.A. 2022. Global meta-analysis of nitrogen fertilizer use efficiency in rice, wheat and maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 338: 108089.

Zheng, J., Chen, T., Xia, G., Chen, W., Liu, G., and Chi, D. 2018. Effects of zeolite application on grain yield, water use and nitrogen uptake of rice under alternate wetting and drying irrigation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 11 (1): 157-164.

Reaction of some nitrogen use efficiency indices and wheat grain protein content to different levels of zeolite and nitrogen

H. Nouriyani

Department of Agronomy and Plant Breeding, Payame Noor University, I.R. Of Iran.

Corresponding Author: hnouriyani@pnu.ac.ir

Received date: 2024.10.30

Accepted date: 2025.02.01

Abstract

In order to evaluate the reaction of some nitrogen use efficiency indices and wheat grain protein content to different levels of zeolite and nitrogen, an experiment was conducted in a field in Dezful region based on a split plot design in a basic randomized complete block design with three replications in 2021-22 cropping season. The experimental treatments included the application of natural zeolite at four levels (0, 4, 8 and 12 ton.ha⁻¹) as main plots and also four levels of nitrogen application (50, 100, 150 and 200 kg.ha⁻¹ pure nitrogen) from the urea fertilizer source as subplots. The results of the experiment showed that the effect of zeolite, nitrogen treatments and their interaction on all studied traits was significant. Based on the comparison of the average interaction of treatments, the highest agronomic efficiency (25.02), physiological efficiency (42.10), uptake efficiency (0.93), utilization efficiency (39.15) in terms of kg.kg⁻¹ and apparent recovery (59.07) and nitrogen harvest index (75.03) in terms of percentage were attributed to the treatment of 12 ton.ha⁻¹ of zeolite along with 50 kg/ha of nitrogen, and the lowest values were attributed to the treatment combination of no zeolite application (control) and application of 200 kg.ha⁻¹ of nitrogen. The maximum grain protein content (13.87%) was achieved in the treatment of 12 ton.ha⁻¹ of zeolite with 200 kg.ha⁻¹ of nitrogen, which was an increase of 63.17% compared to the minimum content (8.50%) in the control treatment and 50 kg.ha⁻¹ of nitrogen. Based on the results of this experiment, the application of 12 ton.ha⁻¹ zeolite along with 50 kg/ha of nitrogen can be considered the most effective treatment as a soil additive to increase nitrogen use efficiency indices.

Key Words: Apparent recovery, Nitrogen harvest index, Uptake efficiency and Agronomic efficiency.