



کارآبی مصرف نیتروژن در تناوب‌های زراعی دوگانه گندم در شرایط مقادیر متفاوت نیتروژن و برگشت بقایای محصول

مجید رحیمی‌زاده^۱، علی کاشانی^۱، احمد زارع فیض آبادی^۲، علیرضا کوچکی^۲
و مهدی نصیری محلاتی^۲

^۱عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد و دانشجوی دکتری زراعت واحد کرج، ^۲استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ^۳دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، ^۴استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تناوب زراعی بر میزان جذب نیتروژن توسط گیاهان زراعی و کارآبی مصرف کودهای نیتروژنه تاثیرگذار است، بنابراین انتخاب یک نظام تناوبی با کارآبی بالای نیتروژن در کاهش مصرف انرژی و افزایش سطح پایداری بوم نظام های زراعی موثر است. این آزمایش با هدف تعیین مدیریت مناسب مصرف کود نیتروژنه و بقایای گیاهی در سیستم تناوب کاشت گندم با محصولات دیگر در شرایط اقلیم معتدل سرد خراسان رضوی (جلگه رخ) در طی دو سال زراعی ۸۷-۱۳۸۵ اجرا شد. این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تناوب زراعی به عنوان عامل اصلی در پنج سطح (۱- گندم: گندم ۲- سیب‌زمینی: گندم ۳- ذرت سیلویی: گندم ۴- شبدر برسیم: گندم ۵- چغندر قند: گندم) و کود نیتروژنه برای تمامی گیاهان پیش کاشت گندم به عنوان عامل فرعی در چهار سطح (۱- بدون مصرف کود ۲- مصرف کود ۵۰ درصد کمتر از میزان مطلوب ۳- مصرف کود به میزان مطلوب ۴- مصرف کود ۵۰ درصد بیشتر از میزان مطلوب) و برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک به عنوان عامل فرعی با دو سطح (۱- بدون برگشت بقایای گیاهی ۲- برگشت ۵۰ درصد بقایای به جا مانده از محصول پیش کاشت) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد کارآبی مصرف، کارآبی جذب و کارآبی بهره‌وری نیتروژن

* - مسئول مکاتبه: rahimi1347@gmail.com

در میان تناوب‌های زراعی متفاوت بود و تحت تاثیر مقادیر متفاوت کود نیتروژن مصرفی قرار گرفت، در حالی که برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف نیتروژن نداشت. بیشترین و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب در تناوب ذرت: گندم و گندم: گندم مشاهده شد و بالا بودن کارایی مصرف نیتروژن در تناوب ذرت: گندم ناشی از کارایی بهره‌وری بالای نیتروژن در این تناوب بود. نتایج آزمایش نشان داد که بالا بودن کارایی بهره‌وری نیتروژن در تناوب ذرت: گندم ناشی از برتری نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در این تناوب نسبت به سایر تناوب‌ها می‌باشد. با افزایش سطح مصرف نیتروژن، در تمامی تناوب‌های زراعی شاخص‌های کارایی نیتروژن کاهش یافت. از آنجا که عملکرد کل تناوب ذرت: گندم در شرایط مصرف نیتروژن در حد توصیه و بیشتر از توصیه اختلاف معنی‌داری نداشت، تناوب ذرت: گندم با مصرف نیتروژن در حد توصیه کودی برای ذرت به سبب عملکرد اقتصادی و کارایی مصرف نیتروژن بالا، مناسب‌تر از سایر تناوب‌ها ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: تناوب زراعی، گندم، کارایی مصرف نیتروژن، برگشت بقایا

مقدمه

نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی در دستیابی به عملکرد و کیفیت مطلوب در تولید گیاهان زراعی می‌باشد و نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد؛ به طوری که کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی به چشم می‌خورد و کمتر خاک زراعی می‌باشد که نیاز به مصرف کود نیتروژنه نداشته باشد. آبشویی نیتروژن معدنی از خاک عامل مهمی در آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به نترات می‌باشد که به عنوان یک مشکل جدی زیست محیطی در عصر حاضر مطرح می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به اثرات زیست محیطی تلفات کودهای نیتروژنه در طبیعت و افزایش هزینه‌های تولید، امروزه مدیریت مناسب مصرف کود نیتروژنه در جهت کاهش تلفات کود و افزایش کارایی کود مصرفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از مباحث روز می‌باشد. ران و جانسون (۱۹۹۱) کارایی مصرف نیتروژن^۱ (NUE) را در زراعت غلات حدود ۵۰-۳۳ درصد گزارش نموده‌اند که این مقدار در کشورهای در حال توسعه ۲۹ درصد و در کشورهای توسعه یافته ۴۲ درصد برآورد گردیده است. بنا

1- Nitrogen Use Efficiency

به نظر ماهر و همکاران (۱۹۹۴) در شرایط موجود و مواجهه با فشارهای رو به تزاید اقتصادی و محیطی بوم‌نظام‌های زراعی رایج، به منظور توسعه پایدار بوم‌نظام‌های زراعی می‌بایست تحقیقات گسترده‌ای در جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن به خصوص در مناطق نیمه خشک صورت پذیرد. بنا به تعریف کارایی مصرف نیتروژن عبارت است از عملکرد محصول زراعی یا سیستم تناوبی (میزان تولید دانه، غده، ریشه یا علوفه خشک) به ازای هر واحد نیتروژن قابل دسترس در خاک (مول و همکاران، ۱۹۸۲). طبق این تعریف NUE از حاصلضرب دو مولفه یکی کارایی جذب نیتروژن^۱ (NUpE) و دیگری کارایی بهره‌وری نیتروژن^۲ (NUE) تشکیل می‌شود. کارایی جذب نیتروژن، گویای مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه یا سیستم تناوبی به ازاء هر واحد نیتروژن فراهم شده در خاک می‌باشد و توانایی گیاه (سیستم تناوبی) را در جذب نیتروژن قابل دسترس در خاک نشان می‌دهد. کارایی بهره‌وری نیتروژن عبارت است از عملکرد محصول زراعی یا سیستم تناوبی به ازای هر واحد نیتروژن جذب شده. به عبارت دیگر NUE توانایی گیاه (سیستم تناوبی) را در استفاده از نیتروژن جذب شده جهت تولید محصول اقتصادی نشان می‌دهد.

افزایش سطح تنوع زیستی زراعی از طریق تناوب زراعی یکی از مهمترین عوامل موثر در جهت افزایش سطح کارایی نیتروژن مصرفی در بوم‌نظام‌های زراعی رایج می‌باشد (مونت مور و همکاران، ۲۰۰۶). در نظام‌های تناوبی به واسطه بهبود شرایط رشد گیاهان و کاهش عوامل محدود کننده رشد و تولید، بهره‌وری گیاه از منابع موجود به ویژه نیتروژن قابل دسترس افزایش یافته و تلفات نیتروژن به حداقل می‌رسد. انتخاب یک نظام تناوبی با کارایی بالای نیتروژن در کاهش وابستگی نظام‌های زراعی به کود نیتروژنه و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و افزایش سطح پایداری سیستم موثر است. از آنجا که در کشت مضاعف با فشرده شدن استفاده از زمین و تولید دو محصول در سال، میزان کود مصرفی به ازای عملکرد تولیدی کمتر از نظام‌های تک کشتی می‌باشد، بنابر این منطقی است که در سطوح متوسط و کم نیتروژن، کارایی استفاده از زمین در الگوی تناوبی کشت مضاعف افزایش خواهد یافت (فرانز لوبرز و همکاران، ۱۹۹۵).

بدرالدین و میر (۱۹۹۴)، باموآ و همکاران (۱۹۹۸)، استاکدال و همکاران (۱۹۹۷) و لویزبیلیدو و لویزبیلیدو (۲۰۰۱) که به طور خاص بر روی شاخص‌های کارایی نیتروژن مطالعه نموده‌اند، تاکید

- 1- Nitrogen uptake efficiency
- 2- Nitrogen utilization efficiency

نمودند کارآیی نیتروژن مصرفی در نظام‌های تناوبی بیشتر از تک کشتی می‌باشد. لوپزبیلیدو و لوپزبیلیدو (۲۰۰۱) گزارش نمودند در کشت متوالی گندم به دلیل بروز عوامل محدود کننده رشد (کاهش حاصلخیزی خاک، طغیان آفات و بیماری‌ها و ...) و کاهش عملکرد محصول توانایی گیاه در استفاده مناسب از نیتروژن قابل دسترس در خاک کاهش یافته و در نتیجه کارآیی مصرف نیتروژن دچار نقصان می‌گردد.

اثر زراعت پیش کاشت بر محصول بعدی در تناوب به عواملی همچون نوع گیاه، طول دوره رشد گیاه، میزان رطوبت خاک، نوع شخم، نحوه آبیاری، میزان مصرف کود نیتروژنه در زراعت پیش کاشت، میزان برگشت بقایای محصول پیش کاشت به خاک و کیفیت بقایای برگشتی به خاک بستگی دارد (سون و همکاران، ۲۰۰۱). به عقیده میلر و همکاران (۲۰۰۲) نوع گیاهان کشت شده در سال‌های قبل می‌تواند از طریق ایجاد شرایط متفاوت در خاک (فراهمی نیتروژن، ماده آلی، حجم آب قابل دسترس) موجب بهبود عملکرد گیاه بعدی شود.

به گزارش دلوگو و همکاران (۱۹۹۸) و پاور و همکاران (۲۰۰۰) با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژنه شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد که نشان دهنده پایین بودن سودمندی نیتروژن در این شرایط است. به گزارش ژائو و همکاران (۲۰۰۶) مصرف کود نیتروژنه در حد متعادل و بهینه در نظام تناوبی گندم:ذرت می‌تواند کارآیی نیتروژن مصرفی را نسبت به نظام رایج با مصرف زیاد کود نیتروژنه به میزان حدود ۳/۵ برابر افزایش دهد.

آزمایش‌های متعددی گویای اثر مثبت برگشت بقایای گیاهی در بهبود عملکرد و ثبات تولید در طولانی مدت می‌باشد که البته میزان تاثیر بقایای گیاهی به عوامل مختلفی همچون خصوصیات خاک، نسبت C/N بقایای گیاهی، میزان ذخایر عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی، دما و رطوبت محیط بستگی دارد (جانزن و همکاران، ۲۰۰۳). به عقیده سینگر و همکاران (۲۰۰۴) اثر مفید برگشت بقایا به خاک همواره در عملکرد محصول قابل مشاهده نیست، بلکه ممکن است اثرات مثبتی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشد. اثرات مثبت فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی حاصل از تجزیه بقایا در خاک به خصوص بقایای با نسبت C/N بالا به کندی ظاهر شده و در دو تا سه سال ابتدای آزمایش‌های تناوبی به طور معمول نمی‌توان اثرات مثبت معنی‌داری حاصل از برگشت بقایا مشاهده کرد (توی و همکاران، ۲۰۰۸).

شرایط موجود گواه آن است که اطلاعات اندکی برای راهنمایی کشاورزان در مدیریت سیستم کشت مضاعف گندم از جهت مناسبترین پیش کاشت گندم، مدیریت کود نیتروژن و برگشت بقایای محصول به خاک وجود دارد و از طرفی ارزیابی مناسبی از کارایی مصرف نیتروژن در بوم نظام‌های زراعی رایج وجود ندارد. بی شک تحقیقات در زمینه نظام‌های زراعی که قادر به استفاده بهتر از نیتروژن مصرفی بوده و از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند امری ضروری است. این آزمایش نیز با هدف تعیین مناسب‌ترین تناوب دوگانه گندم از جهت کارایی مصرف نیتروژن و ارزیابی تاثیر مقدار نیتروژن مصرفی و برگشت بقایای محصول بر کارایی مصرف نیتروژن طرح ریزت و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی دو سال زراعی ۸۷-۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جلگه رخ خراسان واقع در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان تربت حیدریه و ۱۳۵ کیلومتری جنوب شرقی مشهد با مختصات ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی اجرا شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۷۲۱ متر می‌باشد و به سبب دارا بودن زمستان‌های سرد و طولانی با ۱۳۲ روز یخبندان به طور متوسط در سال و همچنین بهار خنک و تابستان‌های معتدل، دارای اقلیم سرد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۲۲۵ میلی‌متر، و حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق آن به ترتیب ۳۶/۵ و ۲۳- درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک مزرعه لومی شنی، درصد ماده آلی خاک ۰/۶ درصد، درصد نیتروژن کل ۰/۰۶ درصد، هدایت الکتریکی ۲/۶ دسی زیمنس بر متر و pH خاک ۷/۹ می‌باشد.

آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) بر پایه طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. به منظور ایجاد یکنواختی لازم در زمین و ارزیابی بهتر نظام‌های تناوبی مبتنی بر گندم، محل اجرای طرح قبل از شروع آزمایش به‌طور یکنواخت زیر کشت گندم قرار گرفته بود. تیمارهای آزمایش شامل تناوب زراعی به عنوان عامل اصلی در پنج سطح (۱- گندم؛ گندم، ۲- سیب زمینی؛ گندم، ۳- ذرت سیلویی؛ گندم، ۴- شبدر برسیم؛ گندم، ۵- چغندر قند؛ گندم) و مصرف کود نیتروژن از منبع اوره در چهار سطح برای تمامی گیاهان پیش کاشت گندم به عنوان عامل فرعی (۱- بدون مصرف نیتروژن (شاهد) ۲- مصرف نیتروژن ۵۰ درصد کمتر از

توصیه کودی ۳- مصرف نیتروژن به میزان توصیه کودی ۴- مصرف نیتروژن ۵۰ درصد بیشتر از توصیه کودی) در نظر گرفته شد. برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک نیز به عنوان عامل فرعی فرعی با دو سطح (۱- بدون برگشت بقایای گیاهی (شاهد) ۲- برگشت ۵۰ درصد بقایای بجا مانده از محصول پیش کاشت) اعمال گردید. جهت سهولت در امر برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک و تجزیه سریع تر آنها، بقایا قبل از زیر خاک کردن تا حد امکان توسط دیسک خرد شده و در دو سطح برای هر محصول به خاک برگردانده شدند.

میزان مطلوب کود نیتروژنه مصرفی برای هر گیاه پیش کاشت گندم در سال اول آزمایش بر اساس نتایج تجزیه خاک و میزان نیتروژن کل خاک، درصد کربن آلی خاک و پتانسیل تولید محصول در منطقه برآورد گردید (جدول ۱).

جدول ۱- سطوح مختلف تیمار کود نیتروژن در گیاهان زراعی پیش کاشت گندم (کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)

گیاه زراعی	شاهد	۵۰٪ کمتر از توصیه کودی	توصیه کودی	۵۰٪ بیشتر از توصیه کودی
گندم	۰	۸۰	۱۶۰	۲۴۰
چغندر قند	۰	۹۰	۱۸۰	۲۷۰
سیب زمینی	۰	۸۰	۱۶۰	۲۴۰
ذرت سیلویی	۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
شیدر برسیم	۰	۱۵	۳۰	۴۵

در تمامی گیاهان به کار رفته در تناوب به جز شیدر، قسمتی از کود اوره مصرفی قبل از کاشت و باقیمانده در دو نوبت به صورت سرک در کنار ردیف‌های کاشت مصرف شد. به دلیل تاخیر در کاشت شیدر و احتمال گره‌زایی کمتر در ریشه‌ها نیمی از کود نیتروژنه مصرفی در شیدر برسیم را قبل از کاشت و نیمی پس از چین اول به کار رفت. در سال دوم آزمایش کود نیتروژنه از منبع اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در سطح تمامی قطعات آزمایش (به جز تیمار شاهد) به مقدار مساوی به کار رفت و سایر کودهای مصرفی نیز بر اساس شرایط خاک در دو سال آزمایش برای تمامی قطعات آزمایشی به طور یکنواخت اعمال شد.

گندم مورد کشت در هر دو سال اجرای آزمایش لاین 4-81-C (لاین پر محصول امید بخش منطقه) و ارقام سیب زمینی، چغندر قند و ذرت مورد کشت در سال اول تناوب به ترتیب سائته،

رایزوفورت و دبل کراس ۳۷۰ بود. در سال اول آزمایش عملیات کاشت گندم در تاریخ ۸۵/۷/۲۰ سیب زمینی و ذرت ۸۶/۳/۵ چغندر قند ۸۶/۲/۳ انجام شد. کاشت شبدر برسیم پس از این که کشت گیاه نخود با موفقیت همراه نبود با تأخیر در تاریخ ۸۶/۳/۲۰ صورت پذیرفت و لذا با توجه به تأخیر بوجود آمده در تاریخ کاشت و اقلیم سرد جلگه رخ تنها دو چین علوفه از شبدر برسیم برداشت گردید. ذرت نیز به صورت سیلویی پس از شیری شدن دانه‌ها برداشت شد.

عملیات آماده‌سازی زمین برای سال دوم شامل شخم و دیسک بود ولی به دلیل اعمال تیمارهای متفاوت کودی و برگشت بقایا در سطح قطعات آزمایشی از زدن لولر به منظور عدم جابجایی خاک اجتناب شد. پس از آماده شدن زمین، در سطح تمامی قطعات آزمایشی گندم لاین 4-81-C در تاریخ ۸۶/۸/۳ کاشته و تا رسیدن محصول و برداشت گندم تمامی قطعات آزمایشی به طور یکنواخت مدیریت گردیدند. عملیات برداشت گندم در سال دوم در تاریخ ۸۷/۴/۳۰ انجام شد. به دلیل بروز سرما و یخبندان طولانی و بی سابقه در زمستان ۱۳۸۶ در منطقه، درصد سبز مزرعه تا حدودی کاهش یافت و بدین لحاظ متوسط عملکرد گندم نسبت به سال پیش کمتر بود.

صفات مورد ارزیابی در تمامی گیاهان مورد کشت عبارت بودند از: عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک، وزن خشک محصول، میزان نیتروژن موجود در بخش اقتصادی محصول (دانه گندم، غده سیب زمینی، ریشه چغندر قند، علوفه ذرت و شبدر)، میزان نیتروژن موجود در بقایای بجا مانده از محصول گندم، سیب زمینی و چغندر قند و میزان نیتروژن باقی مانده در خاک پس از برداشت هر محصول. در هر نظام تناوبی نیز کارایی جذب نیتروژن، کارایی بهره‌وری نیتروژن، نسبت کارایی نیتروژن، نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده و کارایی مصرف نیتروژن در تناوب محاسبه و ارزیابی شد. برای هر محصول زراعی، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک از برداشت دو نمونه تصادفی حاصل از دو کودارات یک متر مربعی در هر کرت فرعی فرعی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای بدست آمد. جهت تعیین وزن خشک، یک نمونه ۰/۵ کیلوگرمی از محصول برداشتی پس از خرد کردن (ورقه کردن) در داخل آون با حرارت ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. میزان نیتروژن بافت‌های گیاهی با استفاده از دستگاه میکرو کجلدال به روش هضم‌تر (حجازی و همکاران، ۲۰۰۴) به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم افزار Mstat-C انجام شد و میانگین‌های هر صفت به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

شاخص‌های کارایی جذب نیتروژن (NUPE)، کارایی بهره‌وری نیتروژن (NUtE)، کارایی درونی نیتروژن (NER)، نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در تناوب (FNG) و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) بر اساس روش مول و همکاران (۱۹۸۲) و لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰۰۱) به صورت زیر محاسبه شد:

$$NUPE (kg\ kg^{-1}) = N_t / N_{supply} \quad (1)$$

که در آن N_t کل نیتروژن جذب شده بر حسب کیلوگرم در واحد سطح توسط گیاهان زراعی در تناوب که برای هر گیاه برابر است با (وزن خشک، محصول اقتصادی در واحد سطح \times غلظت نیتروژن) + (وزن خشک بقایا در واحد سطح \times غلظت نیتروژن) و N_{supply} نیتروژن عرضه شده در خاک در طی دو سال تناوب زراعی بر حسب کیلوگرم در واحد سطح هستند. مقدار عرضه نیتروژن خاک شامل مجموع نیتروژن کودی، نیتروژن حاصل از فرآیند مینرالیزاسیون، نیتروژن معدنی باقیمانده در خاک و نیتروژن حاصل از باران می‌باشد. به پیشنهاد توی و همکاران (۲۰۰۸) مجموع نیتروژن جذب شده در تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) معادل نیتروژن حاصل از فرآیند معدنی شدن نیتروژن آلی، نیتروژن حاصل از باران و نیتروژن باقیمانده در خاک در هر تیمار تناوبی لحاظ شد.

$$NUtE (kg\ kg^{-1}) = Y_{eco} / N_t \quad (2)$$

که در آن Y_{eco} عملکرد اقتصادی کل تناوب زراعی بر حسب کیلوگرم ماده خشک در واحد سطح می‌باشد. کارایی بهره‌وری نیتروژن خود از حاصلضرب دو مولفه کارایی درونی نیتروژن (NER) و نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده (FNG) بدست می‌آید.

$$NER (kg\ kg^{-1}) = Y_{eco} / N_g \quad (3)$$

که در آن N_g کل نیتروژن جذب شده در محصول اقتصادی (دانه، ریشه یا غده) است که برای هر گیاه برابر است با وزن خشک محصول اقتصادی در واحد سطح \times غلظت نیتروژن.

$$FNG (kg\ kg^{-1}) = N_g / N_t \quad (4)$$

$$NUE (kg\ kg^{-1}) = Y_{eco} / N_{supply} \quad (5)$$

نتایج و بحث

کارایی جذب نیتروژن (NUpE): نتایج آزمایش نشان داد که تناوب زراعی و کود نیتروژنه و اثر متقابل آنها تاثیر معنی داری بر کارایی جذب نیتروژن داشت، در حالی که برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم تاثیری بر کارایی جذب نیتروژن نداشت (جدول ۲).

تناوب چغندر قند: گندم در شرایط مصرف نیتروژن در حد توصیه کودی دارای بیشترین NUpE (۰/۹۶ کیلوگرم بر کیلوگرم) و تناوب گندم:گندم در شرایط مصرف نیتروژن بیشتر از توصیه کودی، دارای کمترین NUpE (۰/۴۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۳).

برتری کارایی جذب نیتروژن تناوب چغندر قند:گندم نسبت به سایر تناوب‌ها ناشی از پتانسیل بالای تولید ماده خشک و جذب بیشتر نیتروژن در این تناوب زراعی نسبت به سایر تناوب‌های مورد آزمایش بود. نتایج نشان داد عملکرد کل تناوب چغندر قند:گندم نسبت به تناوب گندم:گندم ۱۴۰ درصد بیشتر بود و این اختلاف ناشی از پتانسیل بالای تولید ماده خشک و توانایی بالای جذب نیتروژن چغندر قند می‌باشد. برتری تیمار توصیه کودی نیتروژن در تناوب چغندر قند:گندم ناشی از آن است که در این سطح از فراهمی نیتروژن در خاک چغندر قند به خوبی با حداکثر جذب نیتروژن تولید ماده خشک خود را افزایش داده، در حالی که در سطوح بالاتر نیتروژن فراهمی نمی‌تواند تاثیر چندانی در رشد و عملکرد چغندر قند داشته باشد.

از آنجا که در کشت متوالی گندم عوامل محدود کننده رشد (کاهش حاصلخیزی خاک، طغیان آفات و بیماری‌ها و ...) توانایی گیاه در استفاده مناسب از نیتروژن قابل دسترس در خاک را کاهش می‌دهد (لوپز بلیدو و لوپز بلیدو، ۲۰۰۱)، کارایی جذب نیتروژن در کشت متوالی گندم کمتر از نظام‌های تناوبی دیگر بود.

نتایج آزمایش لوپز بلیدو و لوپز بلیدو (۲۰۰۱) نیز نشان داد کارایی جذب نیتروژن میان تناوب‌های زراعی متفاوت است و کمترین NUpE در کشت متوالی گندم مشاهده شد. باربیری و همکاران (۲۰۰۸) تاکید نموده‌اند که NUpE در نظام‌های زراعی بسیار متغیر است و تحت تاثیر پتانسیل گیاه در جذب نیتروژن و مورفولوژی و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه قرار دارد. بر اساس نظر مول و همکاران (۱۹۸۲) نیز NUpE به فرآیندهایی شامل جذب، انتقال، اسیمیلاسیون و انتقال مجدد نیتروژن در گیاهان بستگی دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تناوب زراعی و کود نیتروژنه و برگشت بقایا بر شاخص‌های کارایی نیتروژن

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی جذب نیتروژن در تناوب	کارایی بهره وری نیتروژن در تناوب	کارایی درونی نیتروژن در تناوب	نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در تناوب	کارایی مصرف نیتروژن در تناوب
تکرار	۲	۰/۰۳ ns	۱۳/۱۹ ns	۱۰/۳۶ ns	۰/۰۱ ns	۲۷/۸۰ ns
اثر تناوب (A)	۴	۰/۲۷**	۱۰۳۰/۷۵**	۱۷۶۳/۸۹**	۰/۳۸**	۸۳۹/۳۹**
خطای (A)	۸	۰/۰۱	۴۲/۴۸	۸۳/۷۳	۰/۰۱	۴/۴۲
اثر کود نیتروژنه (B)	۳	۰/۷۸**	۲۰۹/۲۵**	۴۸۹/۷۴**	۰/۰۱ *	۳۵۵/۱۱**
اثر متقابل AB	۱۲	۰/۰۴**	۴۷/۶۲**	۱۱۵/۶۹**	۰/۰۱**	۱۷/۸۸**
خطای (B)	۳۰	۰/۰۱	۷/۵۸	۲۵/۸۴	۰/۰	۲/۶۶
اثر برگشت بقایا (C)	۱	۰/۰ ns	۰/۰۱ ns	۳/۲۸ ns	۰/۰ *	۰/۱۲ ns
اثر متقابل AC	۴	۰/۰ ns	۱/۲۹ ns	۲/۹۶*	۰/۰ ns	۱/۵۲*
اثر متقابل BC	۳	۰/۰۱ ns	۱/۲۳ ns	۳/۴۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۳ ns
اثر متقابل ABC	۱۲	۰/۰۱ ns	۰/۷۹ ns	۱/۷۵ ns	۰/۰۱**	۰/۴۹ ns
خطای (C)		۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۷۳	۰/۰	۰/۳۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۳۶	۲/۹۱	۲/۷۰	۳/۶۰	۲/۲۷

* معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ** معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ns غیر معنی دار

به علاوه نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن کاهش یافت. بیشترین کاهش در تناوب گندم:گندم و کمترین کاهش در تناوب چغندر:گندم:گندم در شرایط حداکثر مصرف نیتروژن مشاهده شد (جدول ۳). بروز این نتیجه ناشی از آن است که در کشت متوالی گندم به دلیل عدم پاسخ مناسب گیاه به نیتروژن مصرفی، افزایش مقادیر زیاد نیتروژن نمی‌تواند تاثیر چندانی در بهبود عملکرد داشته باشد و بنابر این کارایی جذب نیتروژن در این شرایط اندک است. در حالی که در تناوب چغندر:گندم:گندم، گیاه چغندر:گندم به خوبی به افزایش نیتروژن واکنش نشان می‌دهد و تولید ماده خشک در آن افزایش می‌یابد، اگر چه تولید اقتصادی چغندر:گندم واکنش متفاوتی به افزایش نیتروژن نشان می‌دهد. نتایج مشابه در خصوص کاهش کارایی جذب نیتروژن با افزایش نیتروژن مصرفی توسط هاجینز و پان (۱۹۹۳) و لویزیلیدو و لویزیلیدو (۲۰۰۱) گزارش شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های کارایی نیتروژن تحت تاثیر تناوب زراعی و کود نیتروژنه و برگشت بقایا.

تناوب مصرفی	کارایی جذب نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی بهره‌وری نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی درونی نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)	نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)	نیتروژن	
					کارایی مصرفی	کارایی تناوب
۳۳۶۰-d	۳۵/۳۱ c	۰/۷۱ de	۳۳/۱۱ bcdef	۳۳/۳۱ de	۱/۰ a	N0
	۲۰/۴۹ ij	۰/۷۱ ef	۴۸/۰۲ ef	۲۴/۱۴ fghi	۰/۵۹ ghi	N1
	۲۱/۳۳ hij	۰/۷۸ c	۴۷/۳۲ f	۳۱/۴۵ b	۰/۵۷ hi	N2
	۱۷/۰۱	۰/۷۵ cd	۵۴/۰۶ bcde	۴۰/۴۳ cd	۰/۴۲ j	N3
۲۸/۱۲c	۴۳/۴۱ b	۰/۷۱ de	۵۸/۹۲ b	۴۳/۴۳ bc	۱/۰ a	N0
	۲۷/۴۱ f	۰/۷۳ de	۵۲/۶۶ cdef	۲۸/۰۲ de	۰/۷۱ ef	N1
	۲۲/۷۲ hi	۰/۷۳ de	۵۰/۹۹ def	۳۷/۳۱ def	۰/۶۱ ghi	N2
	۱۸/۹۱ jkl	۰/۷۳ de	۴۷/۴۸ f	۲۴/۹۰ fgh	۰/۵۴ i	N3
۳۹/۷۱a	۵۲/۸۷a	۰/۹۱ a	۵۸/۸۴ b	۵۲/۸۸ a	۱/۰ a	N0
	۴۰/۳۴ c	۰/۹۱ a	۴۶/۹۱ bcd	۵۱/۶۸ a	۰/۷۸ de	N1
	۳۴/۰۸ d	۰/۹۳ a	۴۷/۱۸ f	۴۳/۶۵ bc	۰/۷۸ de	N2
	۳۰/۵۵ e	۰/۹۳ a	۴۷/۴۲ f	۴۴/۳۱ b	۰/۸۹ efg	N3
۲۴/۰۶d	۳۵/۷۸ de	۰/۸۲ b	۳۷/۷۹ g	۳۶/۰۸ hij	۱/۰ a	N0
	۲۳/۲۳ gh	۰/۸۷ b	۳۶/۴۷ g	۳۱/۳۱ ij	۰/۷۳ ef	N1
	۱۹/۶۲ jk	۰/۸۵ b	۳۵/۸۳ c	۳۰/۳۷ j	۰/۷۴ c	N2
	۱۷/۴۵ kl	۰/۸۳ b	۲۴/۸۹ g	۲۹/۲۱ j	۰/۶۰ ghi	N3
۳۳/۴۱b	۳۹/۴۲ c	۰/۵۵ h	۷۳/۳۰ a	۳۷/۴۸ de	۱/۰ a	N0
	۳۳/۱۹ d	۰/۶۷ f	۵۴/۰۳ bcde	۳۶/۲۲ efg	۰/۹۱ bc	N1
	۳۱/۷۱ de	۰/۵۹ d	۵۹/۰۸a	۳۴/۸۷ bc	۰/۹۳a	N2
	۲۵/۴۴fg	۰/۵۷ gh	۵۱/۶۴ def	۲۹/۵۲ j	۰/۸۶ cd	N3

* در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.
 * N0: بدون مصرف نیتروژن؛ مصرف ۵۰٪ کمتر از توصیه‌ی کودی؛ N2: مصرف معادل توصیه‌ی کودی؛ N3: مصرف ۵۰٪ بیشتر از توصیه‌ی کودی

عدم تاثیر برگشت بقایای محصول بر NUpE تناوب، گویای آن است که اثر برگشت بقایا بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیاز به فرصت بیشتری داشته و در طول مدت محدود آزمایش این اثرات ظاهر نگردیده و برای نتیجه‌گیری نیاز به آزمایش‌های طولانی مدت می‌باشد. نتایج آزمایش‌های یادبند - سینگ و همکاران (۲۰۰۴) و توی و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد برگشت بقایا در یک نظام تناوبی چهار ساله اثر معنی‌داری بر عملکرد برنج و کارایی مصرف نیتروژن نداشت. کارایی بهره‌وری نیتروژن (NUTE): نتایج نشان داد تناوب زراعی، کود نیتروژنه و اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر کارایی بهره‌وری نیتروژن داشت (جدول ۲) و بیشترین و کمترین NUTE به ترتیب در تناوب ذرت:گندم و شبدر:گندم مشاهده شد (جدول ۳). در تناوب ذرت:گندم در شرایط تیمار شاهد (بدون کود) به ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده توسط سیستم تناوبی ۵۳/۹ کیلوگرم محصول اقتصادی تولید شد، در حالی که در تناوب شبدر:گندم در شرایط حداکثر مصرف نیتروژن ۲۹/۲ کیلوگرم محصول اقتصادی به ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده بدست آمد (جدول ۳).

از آنجا که NUTE از حاصلضرب دو مولفه کارایی درونی نیتروژن (NER) و نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده (FNG) بدست می‌آید، بررسی نتایج این دو مولفه به تجزیه و تحلیل بهتر اختلاف کارایی بهره‌وری نیتروژن در تناوب‌های مورد بررسی کمک می‌کند. در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار NER به ترتیب در تناوب چغندر:گندم (۵۹/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) و شبدر:گندم (۳۵/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل گردیده، در حالی که اختلاف معنی‌داری میان تناوب ذرت:گندم، سیب زمینی:گندم و گندم:گندم وجود نداشت. این نتیجه گویای آن است که در تناوب چغندر:گندم واکنش عملکرد به ازای هر واحد نیتروژن جذب شده بیشتر از سایر تناوب‌ها بوده و عملکرد تناوب شبدر:گندم کمترین واکنش را به هر واحد نیتروژن جذب شده نشان داده است.

به‌علاوه بیشترین و کمترین مقدار FNG نیز به ترتیب در تناوب ذرت:گندم (۰/۹۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) و چغندر:گندم (۰/۵۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۲). به عبارت دیگر در تناوب ذرت:گندم بیش از ۹۰ درصد از نیتروژن جذب شده در محصول اقتصادی قابل برداشت متمرکز بوده است و دلیل آن این است که ذرت به صورت سیلویی برداشت شده و شاخص برداشت بالا در این گیاه سبب گردیده نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در این تناوب بالا باشد. پایین بودن FNG تناوب چغندر:گندم در مقایسه با سایر تناوب‌ها حاکی از آن است که به

رغم کارایی جذب بالای نیتروژن در چغندر قند، سهم کمتری از نیتروژن جذب شده به محصول اقتصادی (تولید قند) تخصیص می‌یابد و بیشتر نیتروژن جذب شده صرف تولید بخش‌های رویشی می‌گردد. به همین دلیل کارایی بهره‌وری نیتروژن در تناوب چغندر قند: گندم ۲۸٪ کمتر از تناوب ذرت: گندم است.

با توجه به نتایج بالا چنین استنباط می‌شود که دلیل برتری کارایی بهره‌وری نیتروژن در تناوب ذرت: گندم نسبت به سایر تناوب‌ها ناشی از بالا بودن نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده (FNG) در این تناوب نسبت به سایر تناوب‌ها می‌باشد و کارایی پایین بهره‌وری نیتروژن در تناوب شبدر: گندم نیز ناشی از آن پایین بودن کارایی درونی نیتروژن در این تناوب بود.

هیرل و همکاران (۲۰۰۷) تاکید نموده‌اند تناوب زراعی با تاثیر بر کارایی جذب و کارایی بهره‌وری نیتروژن، بر کارایی مصرف نیتروژن تاثیرگذار است. لوپز بلیدو و لوپز بلیدو (۲۰۰۱) نیز گزارش نمودند کارایی بهره‌وری نیتروژن در تناوب‌های مختلف اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین بهره‌وری نیتروژن در کشت متوالی گندم مشاهده شد. به عقیده مونت مورو و همکاران (۲۰۰۶) دو عامل اساسی در افزایش NUtE عبارت است از جذب نیتروژن کافی از خاک تا قبل از گلدهی گیاه و همچنین جذب نیتروژن در طی مراحل انتهایی رشد.

اثر متقابل تناوب زراعی و کود نیتروژنه گویای آن است که افزایش مصرف نیتروژن موجب کاهش کارایی بهره‌وری نیتروژن شد، اما واکنش کارایی بهره‌وری نیتروژن تناوب‌های مختلف به افزایش سطح مصرف نیتروژن متفاوت بود. در تناوب چغندر قند: گندم مصرف نیتروژن ۵۰ درصد بیش از حد توصیه موجب کاهش NUtE به میزان ۲۱ درصد شد، در حالی که در تناوب شبدر: گندم افزایش مصرف نیتروژن تاثیر معنی‌داری بر کارایی بهره‌وری نیتروژن نداشت. افزایش مصرف نیتروژن بیش از آن که بر FNG موثر باشد بر NER موثر است و موجب کاهش آن می‌شود (جدول ۳). لذا کاهش کارایی بهره‌وری نیتروژن در مقادیر بالای مصرف نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش ناشی از کاهش کارایی درونی نیتروژن در این شرایط می‌باشد. بدین معنی که در شرایط مصرف زیاد نیتروژن، جذب بیشتر نیتروژن چندان در افزایش عملکرد محصول (تناوب) تاثیرگذار نیست، لذا کارایی درونی نیتروژن کاهش می‌یابد.

نتایج آزمایش لوپزبیلیدو و لوپزبیلیدو (۲۰۰۱) و دلوگو (۱۹۹۸) نیز حاکی از آن است که بهره‌وری نیتروژن در تناوب‌های مختلف بسته به مقادیر کود نیتروژنه مصرفی متفاوت است و با افزایش مصرف نیتروژن بیش از حد مطلوب NUE کاهش می‌یابد.

کارایی مصرف نیتروژن (NUE): نتایج آزمایش نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن تحت تاثیر اثر متقابل تناوب زراعی و نیتروژن مصرفی و همچنین اثر متقابل تناوب زراعی و برگشت بقایا قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب در تناوب ذرت: گندم در شرایط تیمار شاهد (۵۳/۹ کیلوگرم محصول به ازای هر کیلوگرم نیتروژن قابل دسترس) و تناوب گندم: گندم در شرایط حداکثر مصرف نیتروژن (۱۷ کیلوگرم محصول به ازای هر کیلوگرم نیتروژن قابل دسترس) مشاهده شد (جدول ۳). تناوب ذرت: گندم کارایی مصرف نیتروژن را نسبت به کشت متوالی گندم ۶۹ درصد افزایش داد و این نتیجه موید آن است که تلفات کود نیتروژنه در نظام‌های زراعی رایج فاقد تناوب زراعی بسیار بالاست.

پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن در تناوب شبدر: گندم می‌تواند ناشی از پایین بودن عملکرد علوفه شبدر به دلیل تاخیر در کشت و همچنین وجود رابطه همزیستی ریشه شبدر با باکتری‌های جنس ریزوبیوم و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن باشد. لوپزبیلیدو و لوپزبیلیدو (۲۰۰۱) گزارش نمودند کاهش کارایی مصرف نیتروژن در کشت متوالی گندم ناشی از کاهش عملکرد محصول و عدم وجود توان مناسب استفاده از نیتروژن قابل دسترس در خاک می‌باشد.

بر اساس نظر مول و همکاران (۱۹۸۲) NUE از حاصلضرب دو مولفه یکی کارایی جذب نیتروژن و دیگری کارایی بهره‌وری نیتروژن تشکیل می‌شود و اختلاف کارایی مصرف نیتروژن در میان تناوب‌های مختلف ناشی از تغییر این دو مولفه می‌باشد. در این آزمایش برتری کارایی مصرف نیتروژن تناوب ذرت: گندم ناشی از برتری کارایی بهره‌وری نیتروژن در این تناوب نسبت به سایر تناوب‌ها می‌باشد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود کارایی جذب نیتروژن در تناوب ذرت: گندم کمتر از تناوب چغندر قند: گندم است، ولی آنچه که موجب ارتقاء کارایی مصرف نیتروژن در تناوب ذرت: گندم نسبت به سایر تناوب‌ها گردیده، کارایی بهره‌وری بالای نیتروژن می‌باشد.

از آنجا که شاخص برداشت با کارایی مصرف نیتروژن همبستگی بالایی دارد (کانامپو و همکاران، ۱۹۹۷)، بنابراین به نظر می‌رسد در تناوب ذرت: گندم عامل موثر در افزایش کارایی بهره‌وری و به تبع کارایی مصرف نیتروژن، شاخص برداشت بالا در ذرت سیلویی باشد. به عقیده هیرل و همکاران (۲۰۰۷)

یکی از دلایل برتری کارایی مصرف نیتروژن در ذرت حجم و گستردگی بیشتر ریشه‌های ذرت در مقایسه با گندم و سایر گیاهان زراعی است. رضایی و ملکوتی (۲۰۰۳) نیز تاکید نموده‌اند یکی از مهمترین راهکارهای افزایش کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی رعایت تناوب زراعی است. نتایج آزمایش گویای آن است که با افزایش مصرف نیتروژن NUE کاهش می‌یابد، اما واکنش هر تناوب به کود نیتروژن متفاوت بود. به نظر می‌رسد از آنجا که رابطه بین افزایش مقدار نیتروژن مصرفی و عملکرد به صورت مجانب است، با افزایش میزان مصرف نیتروژن کارایی نیتروژن مصرفی کاهش می‌یابد. کارایی مصرف نیتروژن تناوب ذرت:گندم حتی در شرایط مصرف بیش از حد توصیه کودی از سایر تناوب‌های مورد بررسی بیشتر بود (جدول ۳). این نتیجه گویای آن است که این تناوب به خوبی قادر به استفاده از نیتروژن فراهم شده در خاک و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از تلفات نیتروژن در نظام های زراعی می‌باشد. در حالی که در تناوب سیب زمینی:گندم مصرف نیتروژن بیش از حد توصیه کودی نسبت به شاهد، موجب کاهش ۵۶ درصدی NUE شد و بروز این نتیجه به این معنی است که تناوب سیب زمینی:گندم از کارایی جذب نیتروژن پایینی در شرایط مصرف زیاد نیتروژن برخوردار است (جدول ۳).

نتایج مشابهی توسط لوپزبیلیدو و لوپزبیلیدو (۲۰۰۱) و ران و جانسون (۱۹۹۱) و مونت مورو و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر اثر تناوب زراعی و کود نیتروژنه بر کارایی مصرف نیتروژن گزارش گردیده است. به گزارش سیلینگ و همکاران (۱۹۹۸)، پاور و همکاران (۲۰۰۰) و ژائو و همکاران (۲۰۰۶) با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژنه کارایی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد که نشان دهنده پایین بودن سودمندی نیتروژن در این شرایط است.

نتیجه‌گیری

کارایی مصرف نیتروژن میان تناوب‌های زراعی دوگانه گندم بسته به میزان نیتروژن مصرفی متفاوت بود. تناوب ذرت:گندم از بالاترین کارایی مصرف و کارایی بهره‌وری نیتروژن برخوردار بود، در حالی که کشت متوالی گندم کمترین کارایی مصرف نیتروژن را داشت. در شرایط مصرف نیتروژن ۵۰ درصد بیش از حد توصیه کودی، کارایی مصرف نیتروژن تناوب ذرت:گندم ۸۰ درصد بیشتر از تناوب گندم:گندم بود. این نتیجه گویای آن است که در صورت انتخاب تناوب زراعی مناسب کارایی مصرف نیتروژن افزایش خواهد یافت.

منابع

- Badaruddin, M., and Meyer, D.W. 1994. Grain legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrient of wheat. *Crop Sci.* 34: 1304-1309.
- Chen, X., Zhou, J., Wang, X., Blackmer, A.M., and Zhang, F. 2004. Optimal rates of nitrogen fertilization for a winter wheat-corn cropping system in Northern China. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35: 583-597.
- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., Defalcis, D., Maggiore, T. and Stanca, A.M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur.J. Agron.* 9: 11-20.
- Franszluebbbers, A., Hons, F. and Saladino, V. 1995. Sorghum, wheat and soybean production as affected by long-term tillage, crop sequence and N fertilization. *Plant. Soil.* 173: 55-65.
- Hejazi, A., Shahverdi, M. and Ardforoush, J. 2004. Reference methods for plant analysis. University of Tehran Press. 301p.
- Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B. and Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: toward a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *J. Exp. Bot.* 58: 2369-2387.
- Huggins, D.R. and Pan, W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.* 85: 898-905.
- Janzen, H.H, Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. 2003. The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 67: 85-102.
- Kanampiu, F.K., Raun, W.R. and Johnson, G.V. 1997. Effect of nitrogen rate on plant nitrogen loss in winter wheat varieties. *J. Plant Nutr.* 20: 389-404.
- Lopez-Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean condition: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crop Res.* 71: 31-64.
- Mahler, R.L., Koehler, F.E., and Lutcher, L.K. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. *Agron. J.* 86: 637-642.
- Miller, P., McConkey, B., Clayton, G., Brandt, S., Baltensperger, D., and Neil, K. 2002. Pulse crop adaptation in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94: 261-272.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of is factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* 74: 562-564.
- Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D. and Convertini, G. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. *Field Crop. Res.* 99: 114-124.



Investigation of nitrogen use efficiency in wheat-based double cropping systems under different rate of nitrogen and return of crop residue

*M. Rahimizadeh¹, A. Kashani², A. Zare Faizabadi³,
A. Koocheki⁴ and M. Nassiri Mahallati⁴

¹Contribution from IAU of Bojnord, ²Contribution from College of Agriculture, IAU of Karaj, ³Contribution from Agriculture and Natural Resource Research Center of Khorasan
⁴Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Crop rotation affect on crop nitrogen uptake and nitrogen use efficiency (NUE). Crop rotations with high NUE decrease energy use and increase level of sustainability in agro ecosystems. The objectives of this research were to determine the suitable double cropping system for enhancing NUE and evaluate the effects of crop rotation, N fertilizer rate and return of crop residue on NUE. This study was conducted under cold temperate climate condition in Khorasan-Razavi during 2006-2008 growing seasons. A randomized complete block design in split-split plot arrangement with three replicates was used. Main plots were crop rotation with five different rotations (wheat:wheat, potato:wheat, silage corn:wheat, clover:wheat and sugar beet:wheat) and sub plots were N fertilizer rates in preceding crop with four levels (without N (Control), 50% lower than optimum N rate, optimum N rate and 50% more than optimum rate). The sub-sub plots were preceding crop residue return with two levels including no residue return (Control) and 50% return of crop residue. Results showed that nitrogen use efficiency, nitrogen uptake efficiency and nitrogen utilization efficiency were significantly affected by crop rotation and N fertilizer rates. The highest and lowest NUE recorded for Corn: wheat and wheat:wheat rotations, respectively. The highly NUE in the corn: wheat rotation is due to the higher NUtE in this rotation. NUE indices in all crop rotations reduced with increasing N fertilizer rate. NUE in potato:wheat rotation showed highest response to N fertilizer rate. Return of crop residue had no significant effect on NUE indices.

Keywords: Crop rotation; Wheat; Nitrogen use efficiency; Crop residue

*- Corresponding Author; Email: rahimi1347@gmail.com