مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد سوم، شماره سوم، پاییز ۸۹
۱۲۵-۱۴۲
ejcp.gau@gmail.com

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

***مجید رحیمی‌زاده[۱]، علی کاشانی[۲]، احمد زارع فیض آبادی[۳]، علیرضا کوچکی[۴] و مهدی نصیری محلاتی[۴]**

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

چکیده

تناوب زراعی بر میزان جذب نیتروژن توسط گیاهان زراعی و کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه تاثیرگذار است، بنابراین انتخاب یک نظام تناوبی با کارآیی 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 در آمد. تناوب زراعی به عنوان عامل اصلی در پنج سطح (۱- گندم: گندم ۲- سیب‌زمینی: گندم ۳- ذرت سیلویی: گندم ٤- شبدر برسیم: گندم ۵- چغندرقند: 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 ٤- مصرف کود ۵۰ درصد بیشتر از میزان مطلوب) و برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک به عنوان عامل فرعی 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 کارآیی مصرف، کارآیی جذب و کارآیی 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 کارآیی مصرف نیتروژن نداشت. بیشترین و کمترین کارآیی مصرف نیتروژن به ترتیب در تناوب ذرت: گندم و گندم: گندم مشاهده شد و بالا بودن کارآیی مصرف نیتروژن در تناوب ذرت: گندم ناشی از کارآیی بهره‌وری بالای نیتروژن در این تناوب بود. نتایج آزمایش نشان داد که بالا بودن کارآیی 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 کارآیی 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 کارآیی مصرف نیتروژن بالا، مناسب تر از سایر تناوب‌ها ارزیابی شد.

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

مقدمه

نیتروژن یکی از مهمترین عناصرغذایی 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 می خورد 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 نیترات می‌باشد که به عنوان یک مشکل جدی زیست محیطی در عصر حاضر مطرح می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۰٤). 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 کارآیی کود مصرفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از مباحث روز می‌باشد. ران و جانسون (۱۹۹۱) کارآیی مصرف نیتروژن[1] (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 ٤۲ درصد برآورد گردیده است. بنا

1- Nitrogen Use Efficiency

به نظر ماهلر و همکاران (۱۹۹٤) در شرایط موجود و مواجه با فشارهای رو به تزاید اقتصادی و محیطی بوم نظام‌های زراعی رایج، به منظور توسعه پایدار بوم نظام‌های زراعی می‌بایست تحقیقات گسترده‌ای در جهت افزایش کارآیی مصرف نیتروژن به خصوص در مناطق نیمه خشک صورت پذیرد. بنا به تعریف کارآیی 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 کارآیی جذب نیتروژن[1] (NUpE) و دیگری کارآیی بهره‌وری نیتروژن[2] (NUtE) تشکیل می‌شود. کارآیی 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. کارآیی بهره‌وری نیتروژن عبارت است از عملکرد محصول زراعی یا سیستم تناوبی به ازای هر واحد نیتروژن جذب شده. به عبارت دیگر NUtE 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 کارآیی نیتروژن مصرفی در بوم نظام‌های زراعی رایج می‌باشد (مونت مورو و همکاران، ۲۰۰٦). 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 کارآیی 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، کارآیی استفاده از زمین در الگوی تناوبی کشت مضاعف افزایش خواهد یافت (فرانزلوبرز و همکاران، ۱۹۹۵).

بدرالدین و میر (۱۹۹٤)، یاموآ و همکاران (۱۹۹۸)، استاکدال و همکاران (۱۹۹۷) و لوپزبلیدو و لوپزبلیدو(۲۰۰۱) که به طور خاص بر روی شاخص‌های کارآیی نیتروژن مطالعه نموده‌اند، تاکید

1- Nitrogen uptake efficiency
2- Nitrogen utilization efficiency

نمودند کارآیی نیتروژن مصرفی در نظام‌های تناوبی بیشتر از تک کشتی می‌باشد. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو(۲۰۰۱) گزارش نمودند در کشت متوالی گندم به دلیل بروز عوامل محدود کننده رشد (کاهش حاصلخیزی خاک، طغیان آفات و بیماری ها 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 (۲۰۰٦) مصرف کود نیتروژنه در حد متعادل و بهینه در نظام تناوبی گندم:ذرت می تواند 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 (۲۰۰٤) 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 نیتروژنه و برگشت بقایای محصول به خاک وجود دارد و از طرفی ارزیابی مناسبی از کارآیی 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 کارآیی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند امری ضروری است. این آزمایش نیز با هدف تعیین مناسب‌ترین تناوب دوگانه گندم از جهت کارآیی مصرف نیتروژن و ارزیابی تاثیر مقادیر نیتروژن مصرفی و برگشت بقایای محصول بر کارآیی مصرف نیتروژن طرح ریزی 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 ۳٤ 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 تابستان های معتدل، دارای اقلیم سرد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۲۲۵ میلی‌متر، و حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق آن به ترتیب ۳٦/۵ و ۲۳- درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک مزرعه لومی شنی، درصد ماده آلی خاک ۰/٦ درصد، درصد نیتروژن کل ۰/۰٦ درصد، هدایت الکتریکی ۲/٦ 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. به‌منظور 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، ٤- شبدر برسیم:گندم، ۵- چغندرقند:گندم) و مصرف کود نیتروژنه 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 کودی٤- مصرف نیتروژن ۵۰ درصد بیشتر از توصیه کودی) در نظر گرفته شد. برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک نیز به‌عنوان 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 (جدول۱).

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	۱٦۰	۲٤۰
چغندر قند	۰	۹۰	۱۸۰	۲۷۰
سیب زمینی	۰	۸۰	۱٦۰	۲٤۰
ذرت سیلویی	۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
شبدر برسیم	۰	۱۵	۳۰	٤۵

در تمامی گیاهان به‌کار رفته در تناوب به جز شبدر، قسمتی از کود اوره مصرفی قبل از کاشت و باقیمانده در دو نوبت به‌صورت سرک در کنار ردیف‌های کاشت مصرف شد. به‌دلیل تاخیر در کاشت شبدر و احتمال گرمزایی کمتر در ریشه‌ها نیمی از کود نیتروژنه مصرفی در شبدر برسیم را قبل از کاشت و نیمی پس از چین اول به‌کار رفت. در سال دوم آزمایش کود نیتروژنه از منبع اوره به‌میزان 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 C-81-4 (لاین پر محصول امید بخش منطقه) و ارقام سیب زمینی، چغندرقند و ذرت مورد کشت در سال اول تناوب به‌ترتیب سانته،

رایزوفورت و دبل کراس ۳۷۰ بود. در سال اول آزمایش عملیات کاشت گندم در تاریخ ۸۵/۷/۲۰، سیب زمینی و ذرت ۸٦/۳/۵، چغندرقند ۸٦/۲/۳ انجام شد. کاشت شبدر برسیم پس از این که کشت گیاه نخود با موفقیت همراه نبود با تأخیر در تاریخ ۸٦/۳/۲۰ صورت پذیرفت و لذا با توجه به تاخیر بوجود آمده در تاریخ کاشت و اقلیم سرد جلگه رخ تنها دو چین علوفه از شبدر برسیم برداشت گردید. ذرت نیز به‌صورت سیلویی پس از شیری شدن دانه‌ها برداشت شد.

عملیات آماده‌سازی زمین برای سال دوم شامل شخم و دیسک بود ولی به‌دلیل 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 C-81-4 در تاریخ ۸٦/۸/۳ کاشته و تا رسیدن محصول و برداشت گندم تمامی قطعات آزمایشی به‌طور یکنواخت مدیریت گردیدند. عملیات برداشت گندم در سال دوم در تاریخ ۸۷/٤/۳۰ انجام شد. به‌دلیل بروز سرما و یخبندان طولانی و بی سابقه در زمستان ۱۳۸٦در 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 چغندرقند، علوفه ذرت و شبدر)، میزان نیتروژن موجود در بقایای بجا مانده از محصول گندم، سیب زمینی و چغندرقند و میزان نیتروژن باقی مانده در خاک پس از برداشت هر محصول. در هر نظام تناوبی نیز کارآیی جذب نیتروژن، کارآیی بهره‌وری نیتروژن، نسبت کارآیی نیتروژن، نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده و کارآیی مصرف نیتروژن در تناوب محاسبه و ارزیابی شد. برای هر محصول زراعی، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک از برداشت دو نمونه تصادفی حاصل از دو کوادرات 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، ۲۰۰٤) به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم افزار Mstat-C انجام شد و میانگین‌های هر صفت به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

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

$$NUpE\ (kg\ kg^{-1}) = N_t / N_{supply} \quad (۱)$$

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× غلظت نیتروژن)+ (وزن خشک بقایا در واحد سطح × 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.

$$NUtE\ (kg\ kg^{-1}) = Y_{eco} / N_t \quad (۲)$$

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

$$NER\ (kg\ kg^{-1}) = Y_{eco} / N_g \quad (۳)$$

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× غلظت نیتروژن.

$$FNG\ (kg\ kg^{-1}) = N_g / N_t \quad (٤)$$

$$NUE\ (kg\ kg^{-1}) = Y_{eco} / N_{supply} \quad (۵)$$

نتایج و بحث

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

تناوب چغندرقند: 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 (۰/٤۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۳).

برتری کارآیی جذب نیتروژن تناوب چغندرقند: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 چغندرقند:گندم نسبت به تناوب گندم:گندم ۱٤۰ درصد بیشتر بود و این اختلاف ناشی از پتانسیل بالای تولید ماده خشک و توانایی بالای جذب نیتروژن چغندرقند می‌باشد. برتری تیمار توصیه کودی نیتروژن در تناوب چغندرقند: 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 چغندرقند 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 (لوپزبلیدو و لوپزبلیدو، ۲۰۰۱)، کارآیی جذب نیتروژن در کشت متوالی گندم کمتر از نظام‌های تناوبی دیگر بود.

نتایج آزمایش لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰۰۱) نیز نشان داد کارآیی 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 کارآیی نیتروژن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کارآیی جذب نیتروژن در تناوب	کارآیی بهره وری نیتروژن در تناوب	کارآیی درونی نیتروژن در تناوب	نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در تناوب	کارآیی مصرف نیتروژن در تناوب
تکرار	۲	۰/۰۳ ns	۱۳/۱۹ ns	۱۰/۳٦ ns	۰/۰۱ ns	۲۷/۸۰ ns
اثر تناوب(A)	٤	۰/۲۷**	۱۰۳۰/۷۵**	۱۷٦۳/۸۹**	۰/۳۸**	۸۳۹/۳۹**
خطای (A)	۸	۰/۰۱	٤۲/٤۸	۸۳/۷۳	۰/۰۱	٤/٤۲
اثرکودنیتروژنه(B)	۳	۰/۷۸**	۲۰۹/۲۵**	٤۸۹/۷٤**	۰/۰۱ *	۳۵۵/۱۱**
اثر متقابلAB	۱۲	۰/۰٤**	٤۷/٦۲**	۱۱۵/٦۹**	۰/۰۱**	۱۷/۸۸**
خطای(B)	۳۰	۰/۰۱	۷/۵۸	۲۵/۸٤	۰/۰	۲/٦٦
اثربرگشت‌بقایا(C)	۱	۰/۰ ns	۰/۰۱ ns	۳/۲۸ ns	۰/۰ *	۰/۱۲ ns
اثر متقابلAC	٤	۰/۰ ns	۱/۲۹ ns	۲/۹٦*	۰/۰ ns	۱/۵۲*
اثر متقابلBC	۳	۰/۰۱ ns	۱/۲۳ ns	۳/٤۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۳ ns
اثر متقابلABC	۱۲	۰/۰۱ ns	۰/۷۹ ns	۱/۷۵ ns	۰/۰۱**	۰/٤۹ ns
خطای (C)		۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۷۳	۰/۰	۰/۳٤
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۳٦	۲/۹۱	۲/۷۰	۳/٦۰	۲/۲۷

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ns غیر معنی‌دار

به‌علاوه نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن کاهش یافت. بیشترین کاهش در تناوب گندم:گندم و کمترین کاهش در تناوب چغندرقند: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 کارآیی جذب نیتروژن در این شرایط اندک است. در حالی که در تناوب چغندرقند:گندم، گیاه چغندرقند به خوبی به افزایش نیتروژن واکنش نشان می‌دهد و تولید ماده خشک درآن افزایش می‌یابد، اگر چه تولید اقتصادی چغندرقند واکنش متفاوتی به افزایش نیتروژن نشان می‌دهد. نتایج مشابه در خصوص کاهش کارآیی جذب نیتروژن با افزایش نیتروژن مصرفی توسط هاجینز و پان (۱۹۹۳) و لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰۰۱) گزارش شده است.

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

تناوب	نیتروژن مصرفی	کارآیی جذب نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)		کارآیی بهره وری نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)		کارآیی درونی نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)		نسبت نیتروژن محصول اقتصادی به کل نیتروژن جذب شده در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)		کارآیی مصرف نیتروژن در تناوب (کیلوگرم بر کیلوگرم)	
گندم : گندم	N0	۱/۰ a	۰/۶۳d	۳۹/۳۱de	۳۷/۶۹b	۵۳/۱۱bcdef	۵۰/۶۵b	۰/۷٤ de	۰/۷٤c	۳۵/۳۱ c	۲۳/۵۰d
	N1	۰/۵۹ ghi		۳٤/۱٤fghi		٤۸/۲۰ef		۰/۷۱ ef		۲۰/٤۹ ij	
	N2	۰/۵۷ hi		۳٦/۹۰efg		٤۷/۲۲ f		۰/۷۸ c		۲۱/۲۳ hij	
	N3	۰/٤۲ j		٤۰/٤۳ cd		۵٤/۰٦ bcde		۰/۷۵ cd		۱۷/۰ l	
سیب زمینی : گندم	N0	۱/۰ a	۰/۷۱c	٤۳/٤۳ bc	۳۸/۵۹b	۵۸/۹۲ b	۵۲/۵۱b	۰/۷٤ de	۰/۷۳c	٤۳/٤۱ b	۲۸/۱۲c
	N1	۰/۷۱ ef		۳۸/۷۰de		۵۲/٦٦ cdef		۰/۷۳ de		۲۷/٤۱ f	
	N2	۰/٦۱ ghi		۳۷/۳٤def		۵۰/۹۹ def		۰/۷۳ de		۲۲/۷۲ hi	
	N3	۰/۵٤ i		۳٤/۹۰ fgh		٤۷/٤۸ f		۰/۷۳ de		۱۸/۹٤ jkl	
ذرت : گندم	N0	۱/۰ a	۰/۸۱b	۵۳/۸۸ a	٤۸/۳۸a	۵۸/۸٤ b	۵۲/۵۹b	۰/۹۱ a	۰/۹۲a	۵۳/۸۷a	۳۹/۷۱a
	N1	۰/۷۸ de		۵۱/٦۸ a		۵٦/۹۱ bcd		۰/۹۱ a		٤۰/۳٤ c	
	N2	۰/۷۸ de		٤۳/٦۵ bc		٤۷/۱۸ f		۰/۹۳ a		۳٤/۰۸ d	
	N3	۰/٦۹ efg		٤٤/۳۱ b		٤۷/٤۲ f		۰/۹۳ a		۳۰/۵۵ e	
شبدر : گندم	N0	۱/۰ a	۰/۷٤c	۳۹/۰۸hij	۳۲/٤۸c	۳٦/۷۹ g	۳۵/۹۲c	۰/۸٦ b	۰/۸۵b	۳۵/۷۸ de	۲٤/۰۲d
	N1	۰/۷۳ ef		۳۱/۳۱ ij		۳٦/۵۷ g		۰/۸۷ b		۲۳/۲۳ gh	
	N2	۰/٦۵ fgh		۳۰/۳۷ j		۳۵/٤۵ g		۰/۸٦ b		۱۹/٦۲ jk	
	N3	۰/٦۰ ghi		۲۹/۲۱ j		۳٤/۸۹ g		۰/۸۳ b		۱۷/٤۵ kl	
چغندرقند: گندم	N0	۱/۰ a	۰/۹۳a	۳۷/٤۸ de	۳٤/۸۷bc	۷۲/۳۰ a	۵۹/۰۸a	۰/۵۵ h	۰/۵۹d	۳۹/٤۲ c	۳۲/٤٤b
	N1	۰/۹۱ bc		۳٦/٦۲ efg		۵٤/۰۳ bcde		۰/٦۷ f		۳۳/۱۹ d	
	N2	۰/۹٦ ab		۳۳/۸٤ ghi		۵۸/۳٦ bc		۰/۵۸ g		۳۱/۷۱ de	
	N3	۰/۸٦ cd		۲۹/۵۲ j		۵۱/٦٤ def		۰/۵۷ gh		۲۵/٤٤fg	

*N0: بدون مصرف نیتروژن N1 : مصرف ۵۰٪ کمتر از توصیه کودی N2: مصرف معادل توصیه کودی N3: مصرف ۵۰٪ بیشتر از توصیه کودی

* در هر ستون و برای هر تیمار میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

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 یادویندر- سینگ و همکاران (۲۰۰٤) و توی و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد برگشت بقایا در یک نظام تناوبی چهار ساله اثر معنی‌داری بر عملکرد برنج و کارآیی مصرف نیتروژن نداشت.

کارآیی بهره‌وری نیتروژن (NUtE): نتایج نشان داد تناوب زراعی، کود نیتروژنه و اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر کارآیی 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 کارآیی 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 کارآیی بهره‌وری نیتروژن در تناوب‌های مورد بررسی کمک می‌کند.

در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار NER به‌ترتیب در تناوب چغندرقند: 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 چغندرقند: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 به‌ترتیب در تناوب ذرت:گندم (۰/۹۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) و چغندرقند:گندم (۰/۵۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول۲). 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. پایین‌بودن FNG تناوب چغندرقند: گندم در مقایسه با سایر تناوب‌ها حاکی از آن است که به

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

با توجه به نتایج بالا چنین استنباط می‌شود که دلیل برتری کارآیی 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 کارآیی پایین بهره‌وری نیتروژن در تناوب شبدر:گندم نیز ناشی از آن پایین بودن کارآیی درونی نیتروژن در این تناوب بود.

هیرل و همکاران (۲۰۰۷) تاکید نموده‌اند تناوب زراعی با تاثیر بر کارآیی جذب و کارآیی بهره‌وری نیتروژن، بر کارآیی مصرف نیتروژن تاثیرگذار است. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰۰۱) نیز گزارش نمودند کارآیی 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 کارآیی بهره‌وری نیتروژن شد، اما واکنش کارآیی بهره‌وری نیتروژن تناوب‌های مختلف به افزایش سطح مصرف نیتروژن متفاوت بود. در تناوب چغندرقند: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 کارآیی 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 کارآیی بهره‌وری نیتروژن در مقادیر بالای مصرف نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش ناشی از کاهش کارآیی درونی نیتروژن در این شرایط می‌باشد. بدین‌معنی که در شرایط مصرف زیاد نیتروژن، جذب بیشتر نیتروژن چندان در افزایش عملکرد محصول (تناوب) تاثیرگذار نیست، لذا کارآیی درونی نیتروژن کاهش می‌یابد.

نتایج آزمایش لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (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 NUtE کاهش می‌یابد.

کارآیی مصرف نیتروژن (NUE): نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی 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 کارآیی مصرف نیتروژن به‌ترتیب 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 (۱۷کیلوگرم محصول به ازای هر کیلوگرم نیتروژن قابل دسترس) مشاهده شد (جدول ۳). تناوب ذرت:گندم کارآیی 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 کارآیی 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. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰۰۱) گزارش نمودند کاهش کارآیی 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 کارآیی جذب نیتروژن و دیگری کارآیی بهره‌وری نیتروژن تشکیل می‌شود و اختلاف کارآیی مصرف نیتروژن در میان تناوب‌های مختلف ناشی از تغییر این دو مولفه می‌باشد. در این آزمایش برتری کارآیی مصرف نیتروژن تناوب ذرت:گندم ناشی از برتری کارآیی بهره‌وری نیتروژن در این تناوب نسبت به سایر تناوب‌ها می‌باشد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود کارآیی جذب نیتروژن در تناوب ذرت:گندم کمتر از تناوب چغندرقند:گندم است، ولی آنچه که موجب ارتقاء کارآیی مصرف نیتروژن در تناوب ذرت:گندم نسبت به سایر تناوب‌ها گردیده، کارآیی بهره‌وری بالای نیتروژن می‌باشد.

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

یکی از دلایل برتری کارآیی 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 کارآیی 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 به‌صورت مجانب است، با افزایش میزان مصرف نیتروژن کارآیی نیتروژن مصرفی کاهش می‌یابد.

کارآیی 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 ٥٦ درصدی NUE شد و بروز این نتیجه به این معنی است که تناوب سیب زمینی:گندم از کارآیی جذب نیتروژن پایینی در شرایط مصرف زیاد نیتروژن برخوردار است (جدول ۳).

نتایج مشابهی توسط لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰۰۱) و ران و جانسون (۱۹۹۱) و مونت مورو و همکاران (۲۰۰٦) مبنی بر اثر تناوب زراعی و کود نیتروژنه بر کارآیی مصرف نیتروژن گزارش گردیده است. به گزارش سیلینگ و همکاران (۱۹۹۸)، پاور و همکاران (۲۰۰۰) و ژائو و همکاران (۲۰۰٦) با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژنه کارآیی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد که نشان دهنده پایین بودن سودمندی نیتروژن در این شرایط است.

نتیجه‌گیری

کارآیی مصرف نیتروژن میان تناوب‌های زراعی دوگانه گندم بسته به میزان نیتروژن مصرفی متفاوت بود. تناوب ذرت:گندم از بالاترین کارآیی مصرف و کارآیی بهره‌وری نیتروژن برخوردار بود، در حالی که کشت متوالی گندم کمترین کارآیی مصرف نیتروژن را داشت. در شرایط مصرف نیتروژن ۵۰ درصد بیش از حد توصیه کودی، کارآیی 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 کارآیی 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.

Franszluebbers, 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 Northen 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.

Power, J.F., Wiese, R. and Flowerday, D. 2000. Managing nitrogen for water quality: Lesson from management systems evaluation area. J. Env. Qual. 29: 335-366.

Raun, W.R., and Johnson, G.V. 1991. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91: 357-363.

Rezaei, H., and Malakouti, M.J. 2003. Methods of increasing nitrogen use efficiency. Iran. J. Soil. Water Sci. 12: 47-53.

Sieling, K., Schroder, H., Finck, M., and Hanus, M. 1998. Yield, N uptake, and apparent N use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. J. Agric. Sci. 131: 375-387.

Singer, J.W., Kohler, K.A. Liebman, M., Richards, T.L., Cambardella, S.C.A. and Buhler, D.D. 2004. Tillage and compost affect yield on corn, soybean and wheat and soil fertility. Agron. J. 96: 531-537.

Soon, Y.K., Clayton, G.W., and Rice, W.A. 2001. Tillage and previous effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. Agron. J. 93: 842-849.

Stockdale, E.A., Gaunt, J.L. and Vos, J. 1997. Soil-Plant nitrogen dynamics: What concepts are required? Eur. J. Agron. 7: 145-159.

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 Sci. Soc. Am. J. 72: 514-523.

Yadvinder-Singh., B. Singh, Ladha, J.K., Khind, C.S., Khera, T.S., and Bueno, C.S. 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-wheat rotation. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 854-864.

Yamoah, C.F., Varvel, G.E., Waltman, W.J., and Francis, C.A. 1998. Long-term nitrogen use and nitrogen removal index in continuous crops and rotations. Field Crop Res. 57: 15-27.

Zhao, R.F., Chen, X.P., Zhang, F.S., Zhang, H., Schroder, J., and Romheld, V. 2006. Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in North China. Agron. J. 98: 935-945.

EJCP., Vol. 3 (3): 125-142
ejcp.gau@gmail.com

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

[*]M. Rahimizadeh[1], A. Kashani[2], A. Zare Faizabadi[3], A. Koocheki[4] and M. Nassiri Mahallati[4]

[1]Contribution from IAU of Bojnord, [2]Contribution from College of Agriculture, IAU of Karaj, [3]Contribution from Agriculture and Natural Resource Research Center of Khorasan
[4]Contribution 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