نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۹، شماره ۲ ، سال ۱۳۹۰، ص ۲۲۱-۲۱۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 9, No. 2, 2011, p. 211-221

کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های زراعی دو گانه گندم تحت تاثیر کود نیتروژنه و برگشت بقایای محصول

مجید رحیمی زاده*[۱]- احمد زارع فیض آبادی[۲]- علی کاشانی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۱۵

چکیده

به منظور تعیین مناسب ترین تناوب دو گانه گندم از نظر کارآیی زراعی نیتروژن، آزمایشی در طی سال های زراعی ۸۷- ۱۳۸۵ در شرایط اقلیم سرد خراسان انجام شد. این آزمایش به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. 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 کود نیتروژنه برای تمامی گیاهان پیش کاشت گندم به عنوان عامل فرعی در چهار سطح (۱- بدون مصرف نیتروژن ۲- مصرف نیتروژن ۵۰٪ کمتر از توصیه کودی ۳- مصرف نیتروژن به میزان توصیه کودی۴- مصرف نیتروژن ۵۰٪ بیشتر از توصیه کودی) و برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک به عنوان عامل فرعی فرعی با دو سطح (۱- بدون برگشت بقایای گیاهی۲- برگشت ۵۰٪ بقایای به جا مانده از محصول پیش کاشت) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تناوب زراعی و میزان نیتروژن مصرفی تاثیر معنی داری بر عملکرد کل، جذب کل نیتروژن، کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیکی، کارآیی بازیافت و شاخص برداشت نیتروژن داشت. در تناوب ذرت : گندم بیشترین کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک کارآیی بازیافت و شاخص برداشت نیتروژن مشاهده شد در حالی که تناوب چغندرقند : گندم کمترین کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک و شاخص برداشت نیتروژن را نشان داد. علت برتری تناوب ذرت : گندم نسبت به سایر تناوب ها، افزایش کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در این تناوب بود. افزایش مصرف نیتروژن منجر به کاهش کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک و کارآیی بازیافت نیتروژن شد. برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم تاثیر معنی داری بر کارآیی زراعی و کارآیی بازیافت نیتروژن نداشت اما کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن را اندکی کاهش داد.

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

مقدمه

یکی از دلایل دو برابر شدن تولید محصولات کشاورزی در سطح جهان طی ۴ دهه گذشته به واسطه افزایش ۷۰۰ درصدی مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه می‌باشد (۱۴). در حال حاضر مصرف بی رویه کودهای نیتروژنه در سطح وسیع پی آمدهای بهداشتی، زیست محیطی و اقتصادی متعددی را همچون آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی به نیترات، کاهش تنوع زیستی موجودات مفید خاک، راهیابی نیترات فراوان به اکوسیستم‌های آبی و پدیده یوتریفیکاسیون، تصعید و ورود اکسیدهای نیتروژن به اتمسفر و صدمه به لایه ازن و نهایتا وابستگی بیشتر بوم نظام‌های کشاورزی به مصرف نهاده‌های شیمیایی و سوخت‌های فسیلی به همراه داشته است (۱ و ۱۴).

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. به نظر ماهلر و همکاران (۱۷) با توجه به فشارهای رو به تزاید اقتصادی و محیطی بر بوم نظام های زراعی رایج، به منظور توسعه پایدار بوم نظام های زراعی می بایست تحقیقات گسترده ای جهت افزایش کارآیی و بهره وری نیتروژن در مناطق نیمه خشک صورت پذیرد (۶). دستیابی و توصیه نظام های تناوب زراعی مناسب موجب می شود که علاوه بر ایجاد ثبات درتولید، مشکلات عمده ناشی از رواج نظام های تناوبی نامطلوب و مصرف

۱- استادیار گروه کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد
(*-نویسنده مسئول:Email: Rahimi1347@gmail.com)
۲- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
۳- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

بیش از اندازه کودهای نیتروژنه به حداقل برسد.

به گزارش هارپر و همکاران (۱۳) از مجموع کود نیتروژنه مصرفی در زراعت ذرت در حدود ۷۳-۵۲ درصد جذب نشده و تلف می گردد و این مقدار در زراعت گندم زمستانه ۴۱-۲۱ درصد توسط ران و جانسون (۲۲) برآورد گردیده است. تلفات نیتروژن عمدتا ناشی از دنیتریفیکاسیون، تصعید و آبشویی نیتروژن در خاک می باشد. ران و جانسون (۲۱) کارآیی کودهای نیتروژنه مصرفی را در زراعت غلات حدود ۵۰-۳۳ درصد گزارش نموده اند که این مقدار در کشورهای در حال توسعه ۲۹ درصد و در کشورهای توسعه یافته ۴۲ درصد برآورد گردیده است. دوبرمن (۱۰) نیز مقدار بازیافت ظاهری نیتروژن را برای برنج ۴۴ درصد، گندم ۵۴ درصد و ذرت ۶۳ درصد گزارش نمود. بازیافت نیتروژن در ایران نیز کمتر از ۳۰ درصد گزارش گردیده است (۳).

یکی از مهمترین راههای افزایش کارآیی مصرف نیتروژن در بوم نظام های زراعی رعایت تناوب زراعی است. در نظامهای تناوبی به واسطه بهبود شرایط رشد گیاهان و کاهش عوامل محدود کننده رشد و تولید، بهره وری گیاه از منابع موجود به ویژه نیتروژن قابل دسترس افزایش یافته و تلفات نیتروژن به حداقل می رسد. به عقیده مول و همکاران(۱۸) و پیرس و رایس(۲۰) نظام تناوبی قادر است از طریق تاثیر بر روابط نیتروژن در خاک و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه بر جذب نیتروژن و کارآیی مصرف نیتروژن تاثیر گذار باشد.

بدرالدین و میر (۴)، یاموآ و همکاران (۲۶)، پیرس و رایس (۲۰)، استاکدال و همکاران (۲۴) و لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۱۶) که بطور خاص بر روی شاخص های کارآیی نیتروژن مطالعه نموده اند نتیجه گرفتند که کارآیی نیتروژن مصرفی در نظام های تناوبی بیشتر از تک کشتی می باشد. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو(۱۶) تاکید دارند که 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 می باشد.

کارآیی زراعی نیتروژن[1] (NAE) توانایی گیاه یا سیستم را در افزایش عملکرد در پاسخ به مصرف نیتروژن نشان می‌دهد و با توجه به قیمت منابع کودی و قیمت خرید محصول می‌توان بهترین تیمار کودی از نظر اقتصادی را با استفاده از کارآیی زراعی تعیین کرد (۱۶). کارآیی زراعی نیتروژن به دو مولفه شامل کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن و بازیافت ظاهری نیتروژن تقسیم می‌شود و اختلاف کارآیی زراعی نیتروژن در میان گیاهان یا نظام‌های تناوبی ناشی از تفاوت این دو مولفه در سیستم می‌باشد (۵ و ۱۶). کارآیی زراعی نیتروژن به عواملی همچون نوع، مقدار و روش مصرف کود، خصوصیات ژنتیکی ارقام زراعی، میزان بارش، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عوامل دیگر محیطی بستگی دارد. کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن[2] (NHI) توانایی گیاه یا سیستم را در افزایش عملکرد در پاسخ به نیتروژن جذب شده نشان می‌دهد و به عبارت دیگر حاکی از پتانسیل گیاه یا سیستم در استفاده از نیتروژن جذب شده در جهت تولید می‌باشد (۱۶). کارآیی بازیافت نیتروژن[3] (NHI) نیز توانایی گیاه یا سیستم را در جذب نیتروژن بازاء هر واحد نیتروژن مصرفی نشان می‌دهد. بعضی محققین برای بیان آن از اصطلاحات دیگری نیز استفاده می‌کنند ولی همواره بر حسب درصد بیان می‌شود. پایین بودن کارآیی بازیافت نیتروژن در نظام‌های تناوبی رایج حاکی از تلفات بالای نیتروژن در این نظام‌های زراعی و پایداری پایین این نظام‌های زراعی است.

شاخص برداشت نیتروژن[4] (NHI) نیز عبارت است از نسبت نیتروژن دانه (نیتروژن ذخیره شده در محصول اقتصادی) به کل نیتروژن جذب شده در گیاه یا سیستم زراعی. شاخص برداشت نیتروژن نمایانگر میزان پروتئین دانه (محصول) است و بنابر این کیفیت تغذیه ای دانه را بیان می‌کند (۱۴).

به گزارش دلوگو و همکاران (۹)، سییلینگ و همکاران (۲۳)، پاور و همکاران (۲۱) و ژائو و همکاران (۲۷) با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژنه شاخص های کارآیی مصرف نیتروژن کاهش می یابد که نشان دهنده پایین بودن سودمندی نیتروژن در این شرایط است. به گزارش ژائو و همکاران (۲۷) کارآیی مصرف نیتروژن نظام تناوبی گندم – ذرت در شرایط مصرف بهینه نیتروژن ۹۵/۱ درصد می باشد در حالی که این کارآیی در شرایط نظام زراعی رایج با مصرف بالای کود نیتروژن تنها ۲۴/۵ درصد می باشد.

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 نظام های زراعی رایج وجود ندارد. این آزمایش نیز با هدف تعیین مناسب ترین تناوب از حیث کارآیی مصرف نیتروژن و ارزیابی تاثیر مقادیر نیتروژن مصرفی و برگشت بقایای محصول طرح ریزی و اجرا گردید.

مواد و روش ها

این آزمایش در طی دو سال زراعی ۸۷- ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جلگه رخ خراسان رضوی واقع در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان تربت حیدریه و ۱۳۵ کیلومتری

1- Nitrogen Agronomic Efficiency

2- Nitrogen Physiological Efficiency
3- Nitrogen Recovery Efficiency
4- Nitrogen Harvest Index

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 می باشد و به سبب دارا بودن زمستان های سرد و طولانی با میانگین ۱۳۲ روز یخبندان در سال و همچنین بهار خنک و تابستان های معتدل، دارای اقلیم سرد می باشد. 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 می باشد.

آزمایش به صورت کرت های دوبار خرد شده بر پایه طرح آزمایشی بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. به منظور ایجاد یکنواختی لازم در زمین و ارزیابی بهتر نظام های تناوبی مبتنی بر گندم، محل اجرای طرح قبل از شروع آزمایش به طور 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 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٪ کمتر از توصیه کودی ۳- مصرف نیتروژن به میزان توصیه کودی ۴- مصرف نیتروژن ۵۰٪ بیشتر از توصیه کودی) در نظر گرفته شد. برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم به خاک نیز به عنوان فاکتور فرعی فرعی با دو سطح (۱- بدون برگشت بقایای گیاهی (شاهد) ۲- برگشت ۵۰٪ بقایای بجا مانده از محصول پیش کاشت) اعمال گردید. جهت سهولت در امر برگشت بقایا به خاک و تجزیه سریع تر آنها، بقایا قبل از زیر خاک کردن تا حد امکان توسط دیسک خرد شدندتوصیه کودی نیتروژن برای هر گیاه پیش کاشت گندم بر اساس نتایج تجزیه خاک و میزان نیتروژن کل خاک، درصد کربن آلی خاک و پتانسیل تولید محصول در منطقه انجام شد (جدول۱).

برای تمامی گیاهان به کار رفته در تناوب به جز شبدر، قسمتی از کود اوره مصرفی قبل از کاشت و باقیمانده در دو نوبت به صورت سرک در کنار ردیف های کاشت مصرف شد. به دلیل تاخیر در کاشت شبدر و احتمال گره زایی کمتر در ریشه ها نیمی از کود نیتروژنه مصرفی در شبدر برسیم را قبل از کاشت و نیمی پس از چین اول به کار رفت. ابعاد هر کرت اصلی۳۰ × ۲۰ متر (۶۰۰ متر مربع) و ابعاد هر کرت فرعی که به سطوح کود اوره اختصاص یافت۳۰ × ۵ متر (۱۵۰ متر مربع) و ابعاد کرت های فرعی فرعی نیز۱۴ × ۵ متر (۷۰ متر مربع) در نظر گرفته شد و فاصله دو بلوک به منظور جلوگیری از انتقال زه آب ۵ متر در نظر گرفته شد. گندم مورد کشت لاین C-81-4 و ارقام سیب زمینی، چغندرقند و ذرت مورد کشت در سال اول تناوب به ترتیب سانته، رایزوفورت و دبل کراس ۳۷۰ بود. در سال اول آزمایش عملیات کاشت گندم در تاریخ ۸۵/۷/۲۰، سیب زمینی و ذرت در ۸۶/۳/۵ و چغندرقند در ۸۶/۲/۳ انجام شد. کاشت شبدر برسیم پس از این که کشت گیاه نخود با موفقیت همراه نبود با تاخیر در تاریخ ۸۶/۳/۲۰ 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 به صورت سیلویی پس از شیری شدن دانه ها برداشت شد.

عملیات آماده سازی 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 C-81-4 در تاریخ ۸۶/۸/۳ کاشته و تا رسیدن محصول و برداشت گندم تمامی قطعات آزمایشی بطور یکنواخت مدیریت گردیدند. 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 پایان سال اول آزمایش برای تمامی قطعات آزمایشی بطور یکنواخت اعمال شد. 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 ۱۳۸۶در 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 زراعی نیتروژن، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن، بازیافت ظاهری نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن 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 حاشیه ای 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 و خاک با استفاده از دستگاه میکرو کجلدال به روش هضم تر بدست آمد.

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

	شاهد	۵۰٪ کمتر از توصیه کودی	توصیه کودی	۵۰٪ بیشتراز 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
شبدر برسیم	۰	۱۵	۳۰	۴۵

تجزیه و تحلیل داده ها با کمک نرم افزار Mstat-C و رسم نمودارها با کمک نرم افزار Excel انجام شد و میانگین‌های هر صفت به کمک آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

محاسبه شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن بر اساس روش مول و همکاران (۱۸) و لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۱۶)

۱- کارآیی زراعی نیتروژن : $NAE = Y\,Nx - Y\,N0 / F\,N$

$Y\,Nx$ = عملکرد کل تناوب زراعی بر حسب کیلوگرم در واحد سطح در تیمار کودی

$Y\,N0$ = عملکرد کل تناوب زراعی بر حسب کیلوگرم در واحد سطح در تیمار شاهد که کودی دریافت نکرده

FN = کود نیتروژنه مصرفی بر حسب کیلوگرم در واحد سطح

۲- کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن : $NPE = Y\,Nx - Y\,N0 / D - E$

D = کل نیتروژن جذب شده بر حسب کیلوگرم در واحد سطح توسط گیاهان زراعی در تناوب در تیمار کودی که برای هر گیاه برابر است با (وزن خشک محصول در واحد سطح× غلظت نیتروژن) + (وزن خشک بقایا در واحد سطح × غلظت نیتروژن)

E = کل نیتروژن جذب شده بر حسب کیلوگرم در واحد سطح توسط گیاهان زراعی در تناوب در تیمار شاهد (بدون کود) که برای هر گیاه برابر است با (وزن خشک محصول در واحد سطح× غلظت نیتروژن) + (وزن خشک بقایا در واحد سطح × غلظت نیتروژن)

۳- بازیافت ظاهری نیتروژن : $NRE =(D - E / FN) \times 100$

۴- شاخص برداشت نیتروژن : $NHI = Ng / D \times 100$

Ng = کل نیتروژن جذب شده در محصول قابل برداشت تناوب که برای هر گیاه برابر است با وزن خشک محصول در واحد سطح× غلظت نیتروژن

نتایج و بحث

عملکرد کل و نیتروژن کل جذب شده

بر اساس نتایج حاصله عملکرد کل محصول قابل برداشت در تناوب‌های دو گانه مورد بررسی بسته به مقادیر کود نیتروژنه به کار رفته در تناوب، اختلاف معنی داری داشت (جدول۲). بیشترین محصول خشک قابل برداشت در تناوب ذرت : گندم (۱۸۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) با مصرف نیتروژن به میزان حداکثر و کمترین محصول خشک قابل برداشت در تناوب چغندرقند : گندم (۳۸۵۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط حداقل مصرف نیتروژن مشاهده شد (جدول۳). یادآوری این نکته ضروری است که در گیاه گندم وزن خشک دانه در ذرت علوفه خشک و در چغندر قند، قند خالص تولیدی در واحد سطح مبنای محصول اقتصادی و قابل برداشت قرار گرفت. نتایج آزمایشات کویزومی و همکاران (۱۴) نیز نشان داد ورود یک گیاه علوفه ای در الگوهای کشت مضاعف (دوگانه)، تولید ماده خشک و کارآیی استفاده از نور و نیز تبدیل نور به ماده خشک کل سیستم را افزایش می‌دهد.

در تمامی تناوب‌های مورد آزمایش با افزایش مصرف نیتروژن عملکرد کل افزایش یافت. بیشترین عکس العمل عملکرد به مصرف کود نیتروژنه در تناوب گندم : گندم (۴۲٪ افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد) و ذرت ، گندم (۳۹٪ افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد) مشاهده شد، اما عملکرد کل در تناوب شبدر : گندم کمترین واکنش را به افزایش نیتروژن مصرفی(۲۳٪ افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد) نشان داد. این نتیجه گویای آن است که در شرایط کشت تناوبی گندم نسبت به کشت متوالی به دلیل اثرات مفید تناوب زراعی نیاز سیستم زراعی به مصرف نهاده هایی چون کود نیتروژن کاهش می‌یابد و هر چه اختلاف میان گیاهان بکار رفته در تناوب بیشتر باشد واکنش سیستم به نیتروژن کمتر خواهد بود. لذا در صورت انتخاب پیش کاشت مناسب برای گندم، عملکرد گندم کمتر تحت تاثیر مصرف نهاده هایی چون کود نیتروژنه قرار می گیرد.

نتایج آزمایش فوسی و همکاران (۱۱) نیز نشان داد که کشت متوالی غلات بیشترین عکس العمل را به افزایش مصرف کود نیتروژنه نشان می‌دهد. کریستن و همکاران (۸) نیز گزارش نمودند که توالی گندم : گندم بیشترین واکنش را نسبت به افزایش مقدار کود نیتروژنه از طریق افزایش در عملکرد دانه از خود نشان داد.

جدول۲- تجزیه واریانس اثر تناوب زراعی و کود نیتروژنه و برگشت بقایا بر صفات مورد بررسی

تیمار تناوب	مجموع عملکرد اقتصادی تناوب (کیلوگرم در هکتار)	مجموع نیتروژن جذب شده تناوب (کیلوگرم در هکتار)	کارآیی زراعی نیتروژن تناوب (کیلوگرم/کیلوگرم)	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن تناوب (کیلوگرم/کیلوگرم)	کارآیی بازیافت نیتروژن تناوب (درصد)	شاخص برداشت نیتروژن تناوب (درصد)
گندم – گندم	۶۶۳۹ c	۱۷۷/۵ d	۱۰/۱۹ b	۲۹/۶۴ b	۳۶/۳۵ c	۷۴/۴۹ c
سیب زمینی گندم	۸۵۶۴ b	۲۲۶/۰ c	۱۰/۸۸ b	۲۷/۴۲ b	۳۹/۵۳ bc	۷۳/۵۰ c
ذرت – گندم	۱۵۸۹۰ a	۳۳۶/۱ b	۲۱/۲۶ a	۳۸/۰۳ a	۵۶/۳۷ a	۹۲/۲۹ a
شبدر – گندم	۵۰۳۹ d	۱۶۴/۸ d	۷/۸۴ b	۲۵/۰۷ b	۲۹/۵۷ c	۸۵/۳۷ b
چغندرقند – گندم	۴۷۱۸ d	۴۰۸/۶ a	۴/۱۷ c	۸/۶۸ c	۴۸/۶۱ ab	۶۶/۶۸ d
تیمار کود نیتروژنه						
شاهد(بوون کود نیتروژنه)	۶۱۳۱ c	۱۸۴/۴ c	-	-	-	۷۸/۳۱ a
۵۰٪ کمتر از حد مطلوب	۸۳۸۳ b	۲۶۰/۰ b	۱۲/۷۲ a	۲۸/۳۲ a	۴۳/۱۴ ab	۷۸/۱۸ a
حد مطلوب	۹۰۰۵ a	۳۰۳/۵ a	۱۱/۰۵ b	۲۵/۴۱ ab	۴۵/۶۷ a	۷۹/۱۰ a
۵۰٪ بیشتر از حد مطلوب	۹۱۶۲ a	۳۰۲/۴ a	۸/۸۴ c	۲۳/۵۸ b	۳۷/۴۵ b	۷۸/۲۷ a
تیمار برگشت بقایا						
شاهد(بدون برگشت بقایا)	۸۱۸۶ a	۲۶۲/۹ a	۱۱/۰ a	۲۶/۵۹ a	۴۱/۷۶ a	۷۸/۷۰ a
برگشت ۵۰٪ بقایا	۸۱۵۴ a	۲۶۰/۲ a	۱۰/۷۵ a	۲۴/۹۴ b	۴۲/۴۱ a	۷۸/۲۳ b

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

جذب نیتروژن در تناوب‌های زراعی مورد آزمایش نیز در واکنش به مقادیر کود نیتروژنه مصرفی متفاوت بود(جدول۲). بیشترین میزان جذب نیتروژن از خاک در تناوب چغندرقند : گندم (۴۰۸/۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان در تناوب شبدر : گندم (۱۶۴/۸ کیلوگرم در هکتار) و گندم : گندم (۱۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول۳). با افزایش مصرف کود نیتروژنه، جذب نیتروژن از خاک در تناوب‌های مختلف افزایش یافت و در تناوب ذرت : گندم بیشترین عکس العمل به مصرف کود نیتروژنه (۵۰٪ افزایش جذب نیتروژن نسبت به تیمار شاهد) مشاهده شد. گویی لارد و همکاران (۱۲) نیز گزارش نمودند با افزایش کاربرد کود نیتروژنه، عملکرد ماده خشک و جذب نیتروژن در تناوب‌های فاقد بقولات افزایش یافت در حالی که کارآیی استفاده از نیتروژن و بازیافت نیتروژن در این تناوب ها کاهش یافت. برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم تاثیر معنی داری بر عملکرد کل و جذب کل نیتروژن در تناوب‌های زراعی نداشت. به نظر می‌رسد اثرات برگشت بقایا در مدت کوتاه آزمایش آشکار نشده است و به زمان بیشتری جهت مشاهده اثرات مفید برگشت بقایا در خاک احتیاج است.

کارآیی زراعی نیتروژن (NAE)

نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های دوگانه مورد آزمایش اختلاف معنی داری داشت و واکنش هر تناوب به کود نیتروژنه متفاوت بود (جدول۲).

جدول۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تاثیر تناوب زراعی و کود نیتروژنه و برگشت بقایا

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع عملکرد ماده خشک در تناوب	مجموع نیتروژن جذب شده در تناوب	کارآیی زراعی نیتروژن در کل تناوب	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در کل تناوب	بازیافت ظاهری نیتروژن	شاخص برداشت نیتروژن
تکرار	۲	۱۷۵۵۰۰۲/۵ ns	۲۳۱۱/۳ ns	۲۹/۹ ns	۱۰۷/۹ ns	۴۰/۱ ns	ns۴۱/ ۰
اثر (A)تناوب	۴	۵۰۳۰۹۴۷۴۸/۲**	۲۶۹۲۹۵/۱**	۷۳۴/۳**	۲۰۷۲/۴**	۱۹۹۲/۹**	۲۵۰۹/۳ **
خطای (a)	۸	۵۹۲۶۹۰/۳	۲۱۹۲/۷	۱۷/۸	۷۹/۵	۱۸۱/۱	۱۵/۹
اثرکود نیتروژنه (B)	۳	۵۸۸۳۹۷۵۷/۶**	۹۳۷۸۴/۸**	۱۱۳/۶**	۱۷۱/۲*	۵۳۲/۲*	۵/۵ ns
اثر AB متقابل	۱۲	۸۰۲۲۶۴۷/۷**	۶۶۷۳/۲**	۳۶/۲**	۱۵۰/۷**	۲۹۶/۱*	۱۸/۷**
(b)خطای	۳۰	۴۴۰۰۲۰/۴	۳۶۰/۳	۴/۱	۴۱/۸	۱۱۳/۷	۵/۲ ns
اثر برگشت (C)بقایا	۱	۳۱۱۰۹/۶ ns	۱۳/۵ ns	۱/۴ ns	۶۱/۳**	۹/۵ ns	۶/۶*
اثر AC متقابل	۴	۶۳۹۲۸/۸ ns	۴۹/۹ ns	۲/۳ ns	۲۳/۳**	۳/۸ ns	۱/۲ ns
اثر BC متقابل	۳	۶۱۹۷/۳ ns	۷/۴ ns	۰/۴ ns	ns۰/۶	۰/۲*	۱/۴ ns
اثر ABC متقابل	۱۲	۷۱۳۴۰/۳*	۲۸/۹ ns	۱/۴ ns	ns۹/۶	۶/۶ ns	۷/۷**
خطای (C)	۴۰	۳۰۵۰۴/۵	۳۴/۷	۱/۷	۴/۸	۱۳/۷	۱/۳
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۱۴	۲/۲۴	۱۱/۹۳	۸/۵۳	۸/۷۸	۲/۴۶

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

تناوب ذرت : گندم دارای بیشترین NAE بود به طوری که در این تناوب بازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۲۱/۳ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت در حالی که در تناوب چغندرقند : گندم با کمترین NAE، بازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۴/۲ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت(جدول۳). اما کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های گندم : گندم، سیب زمینی : گندم و شبدر : گندم اختلاف معنی داری نداشت .از آنجا که وزن خشک محصول بیشترین همبستگی را با NAE دارد (۱۸) به دلیل وزن بالای علوفه ذرت، تناوب ذرت : گندم از بیشترین کارآیی زراعی نیتروژن برخوردار بود و تناوب چغندرقند : گندم به دلیل وزن پایین قند حاصله در چغندر قند دارای کمترین کارآیی زراعی نیتروژن بود. یکی دیگر از دلایل برتری تناوب ذرت : گندم آن است که ذرت به عنوان یک گیاه علوفه ای چهار کربنه از پتانسیل جذب و بهره وری بالای نیتروژن نسبت به سایر گیاهان در تناوب‌های مورد بررسی برخوردار می‌باشد. در تناوب شبدر : گندم نیز کاهش NAE، ناشی از پایین بودن عملکرد علوفه خشک شبدر به دلیل کوتاه بودن طول دوره رشد و برداشت تنها دو چین علوفه می‌باشد.

با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های مورد بررسی بجز کشت متوالی گندم (گندم : گندم) کاهش یافت در حالی که در کشت متوالی گندم بیشترینNAE با مصرف بهینه

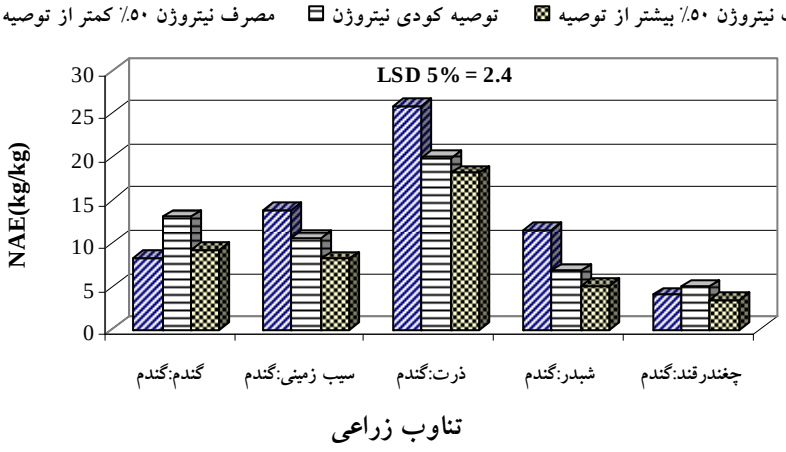
نیتروژن بدست آمد (شکل۱). این نتیجه گویای آن است که در کشت متوالی گندم عکس العمل گیاه به مصرف کود نیتروژنه بیشتر می‌باشد. قاعدتا استفاده از کود نیتروژنه کمتر بدون کاهش چندانی در عملکرد محصول منجر به افزایشNAE می شود (۲۵). نتایج نشان می‌دهد در کشت متوالی گندم کاهش نیتروژن مصرفی می‌تواند به کاهش شدید عملکرد منجر شود در حالی که در نظام‌های تناوبی به دلیل اثرات مثبت تناوب حساسیت عملکرد به کود نیتروژنه کمتر می‌باشد. در تناوب شبدر : گندم در شرایط مصرف حداکثر نیتروژن نسبت به شاهد (بدون نیتروژن) NAE ۵۵/۶٪ کاهش یافت لذا در این تناوب افزایش مصرف نیتروژن نتوانسته است چندان در افزایش عملکرد محصول موثر باشد. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۱۶) و توی و همکاران (۲۵) نیز گزارش نمودند که اثر متقابل تناوب زراعی و کود نیتروژنه بر NAE معنی دار بوده و با افزایش مصرف نیتروژن NAE کاهش یافت.

همچنین نتایج آزمایش حاکی از آن است که برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم تاثیری بر کارآیی زراعی نیتروژن مصرفی نداشت (جدول۲). همانطور قبلا اشاره شد در طول مدت محدود آزمایش اثرات برگشت بقایا به خاک ظاهر نگردیده است و برای حصول نتیجه قطعی به زمان بیشتری نیاز است. توی و همکاران (۲۵) نیز در آزمایش سه ساله ای که در چند منطقه چین به انجام رساندند مشاهده نمودند برگشت بقایای گندم تاثیر معنی داری بر NAE در برنج نداشت.

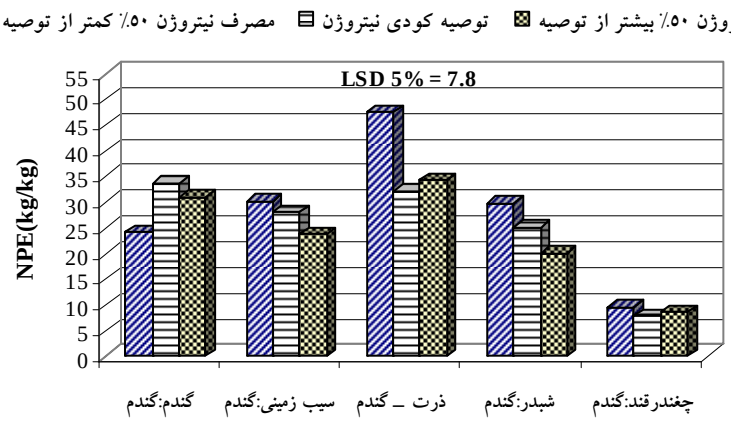
کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (NPE)

نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب‌های مورد بررسی تفاوت معنی داری داشت و عکس العمل NPE در تناوب‌های مورد بررسی به کود نیتروژنه متفاوت بود (جدول۲). کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب ذرت : گندم بیش از سایر تناوب ها بود به طوری که بازاء هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۳۸ کیلوگرم عملکرد کل تناوب افزایش یافت در حالی که در تناوب چغندرقند : گندم که کمترین NPE را داشت تنها بازاء هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۸/۶ کیلوگرم عملکرد کل تناوب افزایش یافت (جدول۳). این نتیجه ناشی از آن است که اولا گیاه ذرت مانند سایر گیاهان چهار کربنه توانایی بالایی در بهره برداری از نیتروژن داشته و ثانیا چون به صورت سیلویی برداشت شده عملکرد حاصله بازاء هر واحد نیتروژن جذب شده بیشتر است. در حالی که در چغندرقند، که عملکرد قند مبنای محصول اقتصادی است نیتروژن جذب شده تاثیر کمتری در افزایش تولید قند داشته و بیشتر در رشد رویشی بخش‌های غیر اقتصادی موثر بوده است. بر اساس نظر مول و همکاران (۱۸) عواملی چون: پتانسیل جذب و انتقال نیترات در گیاه، پتانسیل انتقال مجدد عناصر، مورفولوژی ریشه، مکانیسم‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوت در اسیمیلاسیون نیترات گیاهان موجب اختلاف در کارآیی زراعی و فیزیولوژیکی نیتروژن در آنها می‌شود.

در تناوب‌های مورد بررسی با افزایش مصرف نیتروژن NPE کاهش یافت در حالی که در کشت متوالی گندم (گندم : گندم) در شرایط مصرف بهینه کود نیتروژنه NPE در حداکثر مقدار بود (شکل۲). این نتیجه موید آن است که در کشت متوالی گندم به دلیل کاهش حاصلخیزی خاک و وجود عوامل محدود کننده تولید، واکنش به جذب نیتروژن در سیستم بیشتر است. نتایج آزمایش لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۱۶) و باربیری و همکاران (۵) نیز حاکی از آن است که کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در نظام‌های تناوبی به میزان نیتروژن مصرفی بستگی دارد.



شکل ۱- اثر مقدار نیتروژن مصرفی برکارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش



شکل۲- اثر مقدار نیتروژن مصرفی برکارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش

نتایج نشان داد برگشت ۵۰٪ بقایای محصول پیش کاشت گندم در خاک موجب کاهش NPE در تناوب‌های مورد بررسی شد و عکس العمل هر یک از تناوب ها به این تیمار از جهت NPE متفاوت بود (جدول۲). در تناوب سیب زمینی : گندم و شبدر : گندم برگشت بقایا موجب کاهش NPE شد اما در سایر تناوب ها برگشت بقایا تاثیری بر NPE نداشت (شکل۳).

این نتیجه ناشی از آن است که بقایای شبدر و سیب زمینی از C/N و وزن خشک کمتری نسبت به سایر گیاهان پیش کاشت گندم برخوردار است و برگشت این مقدار از بقایا با کیفیت مناسب منجر به افزایش جذب نیتروژن در گندم گردیده است در حالی که نتوانسته در افزایش عملکرد اقتصادی گندم تاثیر معنی داری داشته باشد. تجزیه کند و آزاد شدن دیر هنگام نیتروژن در خاک منجر به این گردیده که جذب بیشتر نیتروژن توسط گندم در این تناوب ها تاثیر معنی داری بر عملکرد نداشته باشد.

کارآیی بازیافت نیتروژن (NRE)

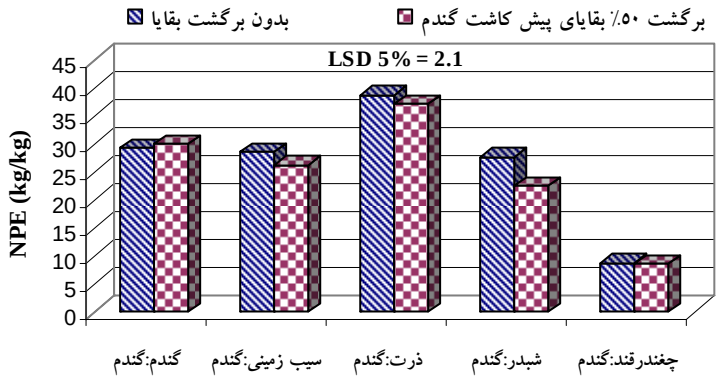
نتایج نشان داد کارآیی بازیافت نیتروژن در بین تناوب‌های مورد آزمایش اختلاف معنی داری داشت و عکس العمل تناوب‌های مختلف به کود نیتروژنه از جهت NRE متفاوت بود (جدول۲). بیشترین NRE در تناوب ذرت : گندم (۵۶/۴٪) و چغندرقند : گندم (۴۸/۶٪) مشاهده شد و بین سایر تناوب‌های مورد بررسی تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول۳). بالا بودن کارآیی بازیافت نیتروژن در تناوب ذرت : گندم گویای آن است که در این تناوب تلفات نیتروژن در خاک کمتر از دیگر تناوب ها است، اما با این وجود در حدود نیمی از نیتروژن مصرفی تلف شده یا در خاک بفرم آلی باقی می‌ماند. به گزارش باندی و آندراسکی (۷) عمق نفوذ بیشتر ریشه ها در گیاهی مانند ذرت عامل موثری در جهت افزایش بازیافت ظاهری نیتروژن می‌باشد. مونت مورو و همکاران (۱۹) نیز گزارش نمودند NRE در ذرت نسبت به سایر گیاهان مورد آزمایش بیشتر بود و این شاخص تحت تاثیر مقادیر نیتروژن مصرفی قرار گرفت.

با افزایش مصرف کود نیتروژنه، NRE در تناوب‌های مختلف کاهش یافت و بیشترین کاهش در تناوب شبدر ، گندم مشاهده شد، در حالی که در کشت متوالی گندم این چنین نبود و در شرایط مصرف بهینه نیتروژن NRE افزایش یافت (شکل۴). سیلینگ و همکاران (۲۳) و ژائو و همکاران (۲۷) نیز گزارش نموده اند با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی بازیافت نیتروژن کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش نشان داد برگشت بقایای محصول پیش کاشت گندم تاثیری بر NRE در تناوب نداشت (جدول۲).

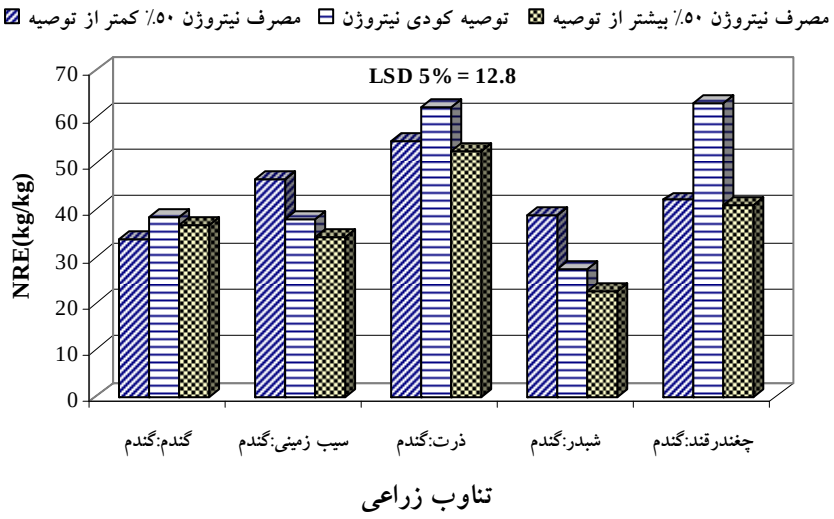
شاخص برداشت نیتروژن (NHI)

نتایج آزمایش گویای آن است که شاخص برداشت نیتروژن در بین تناوب‌های مورد آزمایش اختلاف معنی داری داشت (جدول۲) و بیشترین NHI به ترتیب در تناوب ذرت : گندم (۹۲/۳٪) و شبدر : گندم (۸۵/۴) و کمترین مقدار در تناوب چغندرقند : گندم (۶۶/۷٪) مشاهده شد (جدول۳). به عبارت دیگر در تناوب ذرت : گندم بیش از ۹۰٪ نیتروژن جذب شده، در محصول اقتصادی قابل برداشت متمرکز است در حالی که در تناوب‌های دیگر سهم کمتری از نیتروژن جذب شده در محصول اقتصادی گیاهان مورد کشت انباشته شده است. شاخص برداشت نیتروژن نمایانگر محتوی نیتروژن (پروتئین) محصول تولیدی می‌باشد.

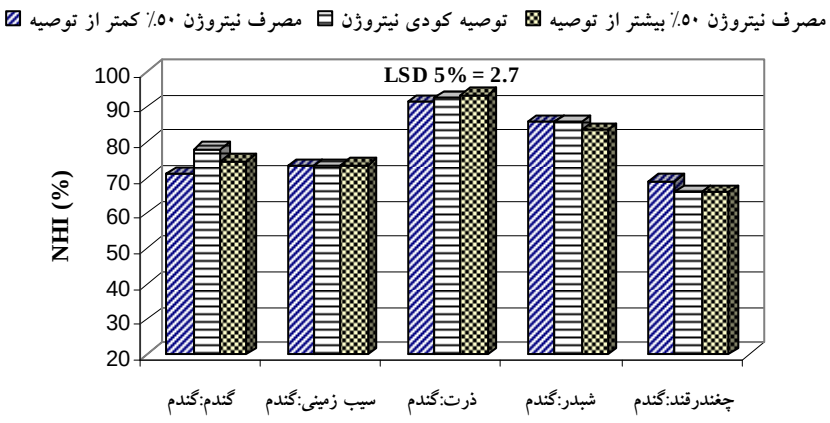
اگر چه مصرف نیتروژن تاثیر معنی داری بر NHI نداشت اما واکنش تناوب‌های مختلف به مصرف نیتروژن متفاوت بود (جدول۲). در تناوب چغندرقند : گندم و شبدر : گندم افزایش مصرف نیتروژن موجب کاهش NHI شد اما در تناوب گندم : گندم در شرایط مصرف بهینه نیتروژن (معادل توصیه کودی) NHI ارتقا یافت (شکل۵).



شکل۳- اثر برگشت بقایا برکارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش



شکل٤- اثر مقدار نیتروژن مصرفی بر بازیافت ظاهری نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش



شکل۵- اثر مقدار نیتروژن مصرفی برشاخص برداشت نیتروژن در تناوب‌های مورد آزمایش

این نتیجه می‌تواند ناشی از آن باشد که در شرایط مصرف زیاد نیتروژن، نیتروژن اضافی جذب شده نمی تواند در افزایش عملکرد تاثیر چندانی داشته باشد و قاعدتا نیتروژن جذب شده صرف رشد بخشهای رویشی (غیر اقتصادی) می‌گردد. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۱۶) و دلوگو و همکاران (۹) گزارش نمودند تناوب زراعی و کود نیتروژنه تأثیر معنی داری بر NHI گندم دارد و با افزایش نیتروژن بیش از مقدار مورد نیاز NHI کاهش می‌یابد. اما به گزارش مونت مورو و همکاران (۱۹) اگر چه افزایش مصرف نیتروژن موجب کاهش NAE و NRE شد اما اثر معنی داری بر NHI نداشت. نتایج آزمایش نشان داد که برگشت بقایای ذرت در تناوب ذرت : گندم توانست شاخص برداشت نیتروژن را تا حدودی کاهش دهد که به نظر می‌رسد ناشی از وزن زیاد و C/N بالای یقایای ذرت نسبت به سایر محصولات پیش کاشت گندم می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که تناوب ذرت : گندم به دلیل کارآیی فیزیولوژیک بالاتر نیتروژن بهتر می‌تواند از نیتروژن مصرفی بهره برداری نماید و تلفات نیتروژن در این نظام تناوبی به حداقل می‌رسد. کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب ذرت ، گندم دو برابر کشت متوالی گندم بود، به عبارت دیگر بازده اقتصادی کود نیتروژنه مصرفی در تناوب ذرت : گندم دو برابر نظام‌های رایج کشت متوالی گندم بود. در حالی که کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های گندم : گندم، سیب زمینی : گندم و شبدر : گندم اختلاف معنی داری نداشت. مصرف بیش از حد مناسب نیتروژن (توصیه کودی) اگر چه عملکرد کل سیستم تناوبی را افزایش داد اما منجر به کاهش کارآیی زراعی نیتروژن (بازدهی اقتصادی کود نیتروژنه) و اعمال فشار بیشتر به محیط زیست می‌شود.

منابع

۱- آینه بند، ا. ۱۳۸۴. تناوب گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۷ ص.

۲- خواجه پور، م. ر. ۱۳۷۳. تناوب زراعی در کشاورزی پایدار، مجموعه مقالات کلیدی سومین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، تبریز. ص ۱۰۴-۹۵.

۳- رضایی، ح و م.ج. ملکوتی.۱۳۸۲. راههای افزایش کارآیی ازت و جلوگیری از هدر رفت آن. مجله علمی وپژوهشی خاک وآب ویژه نامه مصرف بهینه کود، جلد۱۲، شماره۱۴ ،،موسسه تحقیقات خاک وآب، ص ۵۳-۴۷ .

4- Badaruddin, M., and D.W. Meyer. 1994. Grain legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrient of wheat. Crop Sci. 34: 1304-1309.

5- Barbieri, P.A., H.E. Echeverria, H.R. Sainz Rozas. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen available and row spacing. Agron. J. 100: 1094-1100.

6- Berzsenyi, Z., B. Gyorffy, and D. Lap. 2000. Effect of crop rotation and fertilization on maize and wheat yields and stability in a long-term experiment. Eur. J. Agron.13 (2-3): 225-244.

7- Bundy, L.G., and T. W. Andraski. 2005. Recovery of fertilizer nitrogen in crop residues and cover crop on an irrigated sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 640-648.

8- Christen, O., K. Sieling, and H. Hanus. 1992. The effect of different preceding crops on the development, growth of winter wheat. Eur. J. Agron. 1: 21-28.

9- Delogu, G., L. Cattivelli, N. Pecchioni, D. Defalcis, T. Maggiore, and A.M. Stanca. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. Eur.J. Agron. 9: 11-20.

10- Dobermann, A. 2006. Nitrogen use efficiency in cereal systems. http// www. regional. org .au/ asa/2006/plenary/soil/dobermann.

11- Fauci, M., and R. Dick. 1994. Soil microbial dynamics, short and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 801-806.

12- Guillard, K., G. Griffin, and S. Pietrzyk. 1995. Nitrogen utilization of selected cropping systems in U.S. Northeast. Agron. J. 87: 193-199.

13- Harper, L.A., R.R. Sharpe, G.W. Langdale, and J.E. Giddens. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil, plant and aerial nitrogen transport. Agron. J. 79: 965-973.

14- Hirel, B., J. Le Gouis, B. Ney, and A. Gallais. 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(9): 2369-2387.

15- Koizumi, H., Y. Usami, and M. Satoh. 1990. Annual net primary production and efficiency of solar energy utilization in three double cropping agro ecosystems in Japan. Agric. Ecosystems Environ. 32: 241-255.

16- Lopez-Bellido, R. J., and L. Lopez-Bellido. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean condition:

effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Res. 71: 31-64.
17- Mahler, R.L., F.E. Koehler, and L.K. Lutcher. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. Agron. J. 86: 637-642.
18- Moll, R.H., E.J. Kamprath and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74: 562-564.
19- Montemuro, F., M. Maiorana, D. Ferri, and G. Convertini. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. Field Crops. Res. 99: 114-124.
20- Pierce, F.J.,and C.W. Rice. 1988. Crop rotation and its impact of efficiency of water and nitrogen use. In: Hargrove(Ed.), Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA, Special publication. No.15, Wisconsin: 101-113.
21- Power, J.F., R. Wiese, and D. Flowerday. 2000. Managing nitrogen for water quality: Lesson from management systems evaluation area. J. Environ. Qual. 29: 335-366.
22- Raun, W.R., and G.V. Johnson. 1991. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91: 357-363.
23- Sieling, K., H. Schroder, M. Finck, and M. Hanus. 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.
24- Stockdale, E.A., J.L. Gaunt, and J. Vos. 1997. Soil-Plant nitrogen dynamics: What concepts are required? Eur. J. Agron. 7: 145-159.
25- Thuy, N.H., Y. Shan, B. Singh, K. Wang, Z. Cai, Y. Singh, and R.J. Buresh. 2008. Nitrogen supply in rice-based cropping systems as affected by crop residue management. Soil Sci. Soc. Am. J. 72: 514-523.
26- Yamoah, C.F., G.E. Varvel, W.J. Waltman, and C.A. Francis. 1998. Long-term nitrogen use and nitrogen removal index in continuous crops and rotations. Field Crops Res. 57: 15-27.
27- Zhao, R.F., X.P. Chen, F.S. Zhang, H. Zhang, J. Schroder, and V. Romheld. 2006. Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in North China. Agron. J. 98: 935-945.