نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۵۶۹-۵۵۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 553-569

ارزیابی تأثیر تناوب و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزاء عملکرد گندم (*Triticum aestivum L.*) و شاخص‌های کارآیی نیتروژن

رضا نصری[۱]- علی کاشانی[۲*]- فرزاد پاک نژاد[۳]- سعید وزان[۴]- مهرشاد براری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹

چکیده

به‌منظور تعیین مناسب‌ترین تناوب دوگانه و میزان نیتروژن از نظر کارآیی زراعی، فیزیولوژیک، بازیافت و شاخص برداشت نیتروژن آزمایشی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در ایلام به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی در شش سطح شامل (آیش، گیاهان پرکو، بوکو، شبدر برسیم، تربچه روغنی و ترکیب سه گیاه رامتیل، فاسیلیا، شبدر برسیم) و فاکتور فرعی کود نیتروژن در چهار سطح (صفر، توصیه کودی، ۵۰٪ کمتر و ۵۰٪ بیشتر از توصیه کودی) در نظر گرفته شد. میان سطوح فاکتور اصلی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. تناوب بوکو: گندم با میانگین ۸۳۴۵ کیلوگرم بالاترین و تناوب آیش: گندم با ۴۴۹۱ کیلوگرم کمترین دانه را تولید نمود. بیشترین جذب نیتروژن در تناوب بوکو: گندم و کمترین در تناوب شبدر: گندم مشاهده شد. اختلاف میان تناوب‌های مختلف از نظر کارآیی زراعی نیتروژن معنی‌دار بود و در تناوب تربچه‌روغنی: گندم به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۲۰/۳۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. با افزایش مصرف نیتروژن به‌جز تناوب آیش: گندم کارآیی زراعی سایر تناوب‌ها کاهش یافت. کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب آیش: گندم بیش از سایر تناوب‌ها بود و به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۳۹ کیلوگرم عملکرد تناوب افزایش یافت. بیشترین کارآیی بازیافت نیتروژن در تناوب تربچه روغنی: گندم حدود ۴۵٪ و پرکو: گندم حدود ۳۶٪ مشاهده شد. بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در تناوب بوکو: گندم (۸۶/۵٪)، و پرکو: گندم (۸۵٪) و کمترین شاخص در تناوب آیش: گندم (۷۹/۲۸٪) مشاهده گردید. در نهایت تناوب پرکو: گندم و بوکو: گندم به دلیل بالا بودن عملکرد اقتصادی تناوب مناسب و قابل توصیه در منطقه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تناوب، شاخص برداشت نیتروژن، کارآیی بازیافت نیتروژن، کارآیی مصرف نیتروژن

مقدمه

تربچه روغنی[۶] از جنس براسیکا از تیپ‌های توسعه‌یافته خردل است. پرکو گیاه علوفه‌ای از خانواده براسیکا حاصل تلاقی گیاهان تتراپلویید شده کلزای پاییزه[۷] و کلم‌چینی[۸] می‌باشد. بوکو گیاه آمفی‌پلویید جدیدی است که حاصل تلاقی تتراپلوییدی کلزای‌پاییزه[۹]، کلم‌چینی[۱۰] و شلغم[۱۱] می‌باشد (۱۴ و ۲۳). رامتیل[۱۲] متعلق به خانواده استراسه، فاسیلیا[۱۳] متعلق به خانواده بوراگیناسه[۱۴] (۲۴) و شبدر برسیم از خانواده فاباسه می‌باشد که به‌منظور کسب علوفه کشت می‌شوند.

پرکو در یک دوره ۱۱۵روزه در خوزستان بیش از ۷۰ تن علوفه تر معادل۶ تن علوفه خشک در هکتار تولید نمود و در مدت ۵ ماه ۱۳۴ تن علوفه سبز و ۱۲/۷ تن علوفه خشک با متوسط ۲۴ درصد پروتئین، مقدار ۲۷۷۰ کیلوگرم پروتئین خام در هکتار تولید نمود (۱۰).

کاشانی و همکاران (۱۴) سه رقم نوکو، بوکو و پرکو را با کشت مخلوط شبدربرسیم[۱۵]، یولاف[۱۶] در خوزستان مقایسه نمودند، نتایج

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیاران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه زراعت و اصلاح نباتات، البرز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ali. kashani@kiau.ac.ir)
۵- استادیار دانشگاه ایلام، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، ایلام، ایران

6- *Raphanus sativus*
7- *Brassica napus* L. var napus
8- *Brassica campestris* L. var.sensulato
9- *Brassica napus*
10- *Brassica campestris* L. var.sensulato
11- *Brassica campestris* L. var. rapa
12- *Guizotia abyssinica*
13- *Phacelia tanacetifolia*
14- Boraginaceae
15- *Trifolium alexandrium*
16- *Avena sativa* L.

نشان داد که عملکرد گیاهان مذکور بهتر از مخلوط شبدر، یولاف بود. در ضمن میان سه رقم مورد بررسی نوکو با حداکثر محصول ماده خشک در یک دوره رشد ۵۰ روزه با عملکرد ۶/۰۷ تن در هکتار و در یک دوره ۷۳ روزه با عملکرد ۱۱/۹۷ تن در هکتار به‌عنوان بهترین علوفه شناخته شد.

استیسی و همکاران (۳۵) ذخیره نیتروژن موجود در کره زمین را حدود $۱/۶۹ \times ۱۰^{۱۷}$ تن تخمین زده‌اند، از آن‌جایی‌که نیتروژن به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر محدودکننده رشد گیاهان به‌شمار می‌رود. کمبود این عنصر در اکثر بوم نظام‌های زراعی از طریق مصرف انواع مختلفی از کودهای شیمیایی جبران می‌شود. بنابراین، مدیریت صحیح کود و اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه عناصرغذایی، هزینه‌ها را به حداقل می‌رساند و کارآیی مصرف نهاده‌ها را افزایش می‌دهد (۱۱).

افزایش نیتروژن در مراحل مختلف رشد گندم در افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، افزایش وزن دانه، شاخص برداشت، درصد پروتئین و افزایش کارآیی مصرف نیتروژن مؤثر است (۳۷). با افزایش مصرف کود نیتروژن در گندم، تعداد پنجه‌های بارور، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه افزایش می‌یابد (۴۳)، افزایش سطوح نیتروژن افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در واحد سطح را در بردارد (۴۱ و ۴۲).

براساس مطالعه‌ی ران و جانسون (۳۱) از مجموع کود نیتروژنه مصرفی در زراعت گندم زمستانه[۲] ۴۱-۲۱ درصد جذب نشده و تلف می‌گردد. آنها کارآیی کودهای نیتروژنه مصرفی را در زراعت غلات ۵۰-۳۳ درصد گزارش نموده‌اند، این مقدار در کشورهای در حال توسعه ۲۹ درصد و در کشورهای توسعه‌یافته ۴۲ درصد برآورد گردیده است. دوبرمن (۷) مقدار بازیافت ظاهری نیتروژن را برای برنج[۳] ۴۴ درصد، گندم ۵۴ درصد و ذرت ۶۳ درصد گزارش نمود. رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹) گزارش کردند حداکثر بازیافت نیتروژن در تناوب ذرت:[۴] گندم ۵۶ درصد و چغندرقند[۵]: گندم به میزان ۴۸ درصد مشاهده شد.

کارآیی زراعی نیتروژن[۶] (NAE) توانایی گیاه یا سیستم را در افزایش عملکرد در پاسخ به نیتروژن مصرف شده 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. کارآیی زراعی نیتروژن به دو مؤلفه شامل کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن و بازیافت ظاهری نیتروژن تقسیم می‌شود (۲۷). به اعتقاد بروسارد و همکاران (۳)، کارایی مصرف نیتروژن عبارت از تولید خالص اولیه به‌ازای میزان نیتروژن جذب شده است مول و همکاران (۲۷)، لیمون‌اورتگا و همکاران (۲۱) بیان نمودند، کارآیی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده میزان قابل مصرف نیتروژن از کل میزان نیتروژن موجود در خاک است.

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن[۷] (NPE) توانایی گیاه یا سیستم را در افزایش عملکرد در پاسخ به نیتروژن جذب شده نشان می‌دهد (۲۷). کارآیی بازیافت نیتروژن[۸](NRE) توانایی گیاه یا سیستم را در جذب نیتروژن به ازاء هر واحد نیتروژن مصرفی نشان می‌دهد. پایین بودن کارآیی بازیافت نیتروژن در نظام‌های تناوبی رایج حاکی از تلفات بالای نیتروژن دراین نظام‌های زراعی و پایداری پایین این سیستم‌ها است (۱۲). شاخص برداشت نیتروژن[۹](NHI) 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 بنابراین کیفیت تغذیه‌ای دانه را بیان می‌کند (۱۲).

به گزارش دلوگو و همکاران (۶) با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژنه شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده پایین بودن سودمندی نیتروژن در این شرایط است. به گزارش ژائو و همکاران (۴۴) 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.

رحیمی‌زاده و همکاران (۳۰) تناوب‌های دو گانه شبدر: گندم، چغندرقند: گندم، سیب زمینی[۱۰]: گندم و ذرت سیلویی: گندم را بررسی و گزارش کردند که تناوب زراعی و میزان نیتروژن مصرفی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کل، جذب کل نیتروژن، کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیکی، کارآیی بازیافت و شاخص برداشت نیتروژن گندم دارد. افزایش مصرف نیتروژن در گندم منجر به کاهش کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک و کارآیی بازیافت نیتروژن شد. برگشت بقایای محصول پیش‌کاشت گندم شامل (ذرت سیلویی، شبدر، چغندرقند و سیب زمینی) تأثیر معنی‌داری بر کارآیی زراعی و کارآیی بازیافت نیتروژن نداشت، اما کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن را اندکی کاهش داد.

لطف‌الهی (۱۶) مصرف کود نیتروژن به‌صورت تقسیط در شش سطح را بررسی و گزارش نمود که در سال اول بیشترین عملکرد دانه گندم به میزان ۸/۴۵۸ تن مربوط به تیمار مصرف نیتروژن به‌صورت

1- *Avena sativa* L.
2- *Triticum aestivum* L.
3- *Oryza Sativa* L.
4- *Zea mays*
5- *Beta vulgaris* L.
6- Nitrogen Agronomic Efficiency
7- Nitrogen physiological efficiency
8- Nitrogen Recovery Efficiency
9- Nitrogen Harvest Index
10- *Solanum tuberosum* L.

ثلث قبل از کاشت، ثلث زمان پنجه دهی و محلول‌پاشی در زمان گلدهی و بیشترین درصد بازیافت نیتروژن به میزان ۲۹/۳۶ و همچنین بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن به میزان ۱۳/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم در تیماری که ثلث کود ازته زمان کاشت، ثلث زمان گل‌دهی و محلول‌پاشی در زمان پنجه‌دهی مصرف شد به‌دست آمد. در سال دوم بیشترین عملکرد دانه به میزان ۵/۰۳۱ تن، بیشترین درصد بازیافت نیتروژن به میزان ۳۹/۷۸ و همچنین بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن به میزان ۱۳/۳۲ کیلوگرم بر کیلوگرم در تیماری که ثلث کود ازته زمان کاشت، ثلث زمان گلدهی و محلول‌پاشی در زمان پنجه‌دهی مصرف شد به‌دست آمد.

کوچکی و همکاران (۱۵) خاطر نشان کردند که کشت مخلوط تأخیری، تأثیر معنی‌داری بر میزان نیتروژن جذب شده، جذب نسبی و کارایی جذب و مصرف نیتروژن گندم و ذرت داشت. بیشترین و کمترین کارایی جذب برای گندم و ذرت به‌ترتیب (۳۳/۷۰ و ۳۶/۵۰ کیلوگرم نیتروژن اندام گیاهی به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن خاک) مشاهده شد. بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن براساس عملکرد دانه برای گندم و ذرت به‌ترتیب ۸۸/۶۲ و ۱۴۷/۳۳ کیلوگرم نیتروژن دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن اندام گیاه بود.

لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰) گزارش نمودند درکشت متوالی گندم به دلیل بروز عوامل محدودکننده رشد (کاهش حاصلخیزی خاک، طغیان آفات و بیماری‌ها) و کاهش عملکرد محصول، توانایی گیاه در استفاده مناسب از نیتروژن قابل دسترس در خاک کاهش یافته و درنتیجه کارآیی مصرف نیتروژن دچار نقصان می‌گردد. افزایش سطح تنوع زیستی زراعی از طریق تناوب زراعی یکی از مهمترین عوامل مؤثر در جهت افزایش سطح کارآیی نیتروژن مصرفی در بوم نظام‌های زراعی رایج می‌باشد (۲۷). سی یو و همکاران (۵) گزارش نمودند که مدیریت استفاده از نیتروژن در مقایسه با اصول مرسوم مورد استفاده کشاورزان باعث شد که کارآیی بازیافت نیتروژن (REN)، کارآیی زراعی نیتروژن (AEN) و بهره‌وری جذب نیتروژن (PFPN) به‌ترتیب از ۱۸ درصد، ۳ و ۱ کیلوگرم بر کیلوگرم در روش متداول به ۴۴ درصد، ۱۱ و ۵۶ کیلوگرم بر کیلوگرم در روش مدیریت نیتروژن بهبود یابد.

آزمایش حسین و همکاران (۱۳) در فیض‌آباد پاکستان نشان داد، به‌کار بردن کود سبز در مقایسه با کودهای حیوانی بهترین نتیجه را بر روی عملکرد دانه و افزایش جذب نیتروژن در گندم داشته است. در این آزمایش مشخص شد که کود سبز تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به خاک اضافه می‌نماید.

مطالعات تناوب زراعی برانت وزنتنر (۲) در کشور کانادا نشان داد که وارد کردن براسیکا (کلزا) در تناوب با گندم، عملکرد گندم را ۹ درصد افزایش داد. مارتینز و فرانک‌برگر (۲۵) اضافه کردن مواد ارگانیک (کودهای آلی گیاهی) ازجمله کود سبز معمولاً باعث افزایش کربن آلی خاک، ثبات خاک‌دانه‌ها، افزایش قابلیت نفوذ خاک و هدایت هیدرولیکی خاک می‌گردد. استیونس و نوکسل (۳۶) بیان کردند که عملکرد گندم پس از نخود[1] نسبت به کشت مداوم گندم ۴۳ درصد افزایش نشان داد و کل نیتروژن تجمع یافته توسط گندم ۲۷ کیلوگرم در هکتار بیشتر از کشت مداوم گندم بود.

در یک تناوب طولانی مدت گندم با گیاهان لگوم که به مدت ده سال در آمریکا انجام گرفت گاریا و سیمز (۱۷) به این نتیجه رسیدند که میزان نیتروژن کل خاک در تناوب‌های گندم: شبدر و گندم: ماش به‌ترتیب ۲۳۹ و ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار بیشتر از کاشت ممتد گندم بود.

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 پیش‌کاشت، میزان برگشت بقایای محصول پیش کاشت به خاک و کیفیت بقایای برگشتی به خاک بستگی دارد (۳۹). به عقیده میلر و همکاران (۲۶) نوع گیاهان کشت شده در سال‌های قبل می‌توانند از طریق ایجاد شرایط متفاوت در خاک (فراهمی نیتروژن، ماده آلی، حجم آب قابل دسترس) موجب بهبود عملکرد گیاه بعدی شود. این آزمایش با هدف تعیین مناسب‌ترین تناوب زراعی و ارزیابی تأثیر مقادیر نیتروژن مصرفی از حیث کارآیی مصرف و کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن و همچنین شاخص برداشت نیتروژن طرح‌ریزی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش در موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و ۴۲ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی در ارتفاع ۱۲۵۷ متر از سطح دریای آزاد در دهستان کارزان در۲۰ کیلومتری ایلام، که دارای آب و هوای معتدل با میانگین دمایی حداکثر ۲۷/۲ در مرداد ماه و میانگین حداقل دمایی ۵/۹- درجه در بهمن ماه و متوسط بارندگی سالانه ۵۹۸/۶ میلی‌متر با متوسط رطوبت نسبی ۳۹/۹۳ و ۳۶ روز یخبندان در سال واقع گردیده است. جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از اعماق۳۰-۰ و۶۰-۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک به‌عمل آمد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

ابتدا گیاهان پیش‌کاشت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۴ تکرار کشت گردیدند. تیمارهای آزمایشی گیاهان (پرکو، بوکو، شبدر برسیم، تربچه روغنی، ترکیب سه گیاه رامتیل، فاسیلیا و شبدر برسیم و شاهد بدون پیش‌کاشت) در نظر گرفته شد. از ترکیب سه گیاه از خانواده‌های دیگر غیر از براسیکا جهت تلفیق خواص آنها در مقایسه با براسیکاها استفاده گردید. آزمایش در سال زراعی ۹۲-۹۱ به اجرا درآمد. کاشت در تاریخ ۱۳۹۱/۵/۲۰ در خطوط با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و در ابعاد کرت‌های ۳۰ متر مربعی صورت و برداشت و چپ نمودن در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۲۰ انجام گردید.

1- *Pisum sativum* L.

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Results of soil tests implementation of experimental site

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	پتاسیم Potassium (ppm)	نیتروژن Nitrogen (%)	کربن آلی (%) Organic Carbon (%)	اسیدیته خاک (pH)	شوری خاک EC ($dS\ m^{-1}$)	فسفر Phosphorus (ppm)
0-30	لومی – رسی Silty-Clay	760	0.11	1.06	7.90	0.58	10.5
31-60	لومی – رسی Silty- Clay	420	0.07	0.76	7.85	0.58	4.4

عمق خاک Soil depth (cm)	وزن مخصوص حقیقی Actual specific weights ($g\ cm^{-3}$)	وزن مخصوص ظاهری Apparent specific weights ($g\ cm^{-3}$)	روی Zinc (ppm)	مس Copper (ppm)	آهن Iron (%)
0-30	2.66	1.43	0.48	1.4	8.7
31-60	2.66	1.65	0.34	1.01	8.6

آزمایش اصلی به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار به اجرا درآمد. فاکتور اصلی شامل ۶ سطح (شاهد، پرکو، بوکو، شبدر برسیم، ترکیب سه گیاه رامتیل، فاسیلیا، شبدر برسیم، و تربچه روغنی) فاکتور فرعی کود نیتروژن در چهار سطح (صفر مقدار کود (شاهد)، ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (نیاز کودی گیاه)، ۵۰٪ کمتر از نیاز کودی، ۵۰٪ بیشتر از نیاز کودی). مقدار کود مورد نیاز گیاه براساس راندمان مصرف نیتروژن در ایلام و براساس میزان درصد مواد آلی (OC%) خاک، معادل ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص تعیین گردید که بر این اساس مقادیر ۵۰٪ کمتر به میزان ۷۵ کیلو نیتروژن خالص و مقدار ۵۰٪ بیشتر به میزان ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن خالص محاسبه گردید. گندم رقم پیشتاز براساس نظر کارشناسان مرکز تحقیقات ایلام و با عنایت به فراوانی سطح زیر کشت آن در منطقه مورد استفاده قرار گرفت و کشت آن در نیمه اول آبان صورت و برداشت در نیمه دوم خرداد ماه صورت پذیرفت. کود مصرفی در سه مرحله (پیش از کاشت، شروع ساقه‌دهی و قبل از گل‌دهی) به‌صورت مساوی اعمال گردید.

صفات مورد ارزیابی عبارت بودند از: عملکرد اقتصادی، اجزاء عملکرد، عملکرد بیولوژیک، وزن خشک محصول، میزان نیتروژن موجود در بخش اقتصادی محصول (دانه گندم)، میزان نیتروژن موجود در بقایای به‌جا مانده از محصول گندم، و میزان نیتروژن باقی‌مانده در خاک پس از برداشت 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 مترمربعی در هر کرت فرعی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای به‌دست آمد. جهت تعیین وزن خشک، یک نمونه نیم کیلوگرمی از محصول برداشتی پس از خرد 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 به‌دست آمد.

محاسبه شاخص‌های کارآیی زراعی نیتروژن، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن، بازیافت ظاهری نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن براساس روش مول و همکاران (۲۳) و لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۱۷، ۱۹ و ۲۰)، تایم سینا و همکاران (۳۸)، دلوگو و همکاران (۵)، سوورس و همکاران (۳۴)، لطف‌الهی (۱۶)، رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹ و ۳۰)، عباسی و همکاران (۱) و فان و همکاران (۷) به شرح فرمول‌های زیر انجام پذیرفت.

$$(NAE)= (YN_x-YN_0)/FN \quad (۱)$$

کارآیی زراعی نیتروژن

YN_x= عملکرد کل تناوب زراعی (شامل عملکرد بیولوژیک گیاه پیش‌کاشت و گندم) بر حسب کیلوگرم در واحد سطح در تیمار کودی

YN_0 = عملکرد کل تناوب زراعی بر حسب کیلوگرم در واحد سطح در تیمار شاهد که کودی دریافت نکرده است.

FN = کود نیتروژنه مصرفی بر حسب کیلوگرم در واحد سطح

$$(NPE) =(YN_x-YN_0)/(D-E) \quad (۲)$$

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن

$$(NRE)=(D-E)/FN \quad (۳)$$

بازیافت ظاهری نیتروژن

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

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

$$(NHI)=Ng/D\times100 \quad (۴)$$

شاخص برداشت نیتروژن

Ng = کل نیتروژن جذب شده در محصول اقتصادی (دانه) تناوب که برای هر گیاه برابر است با وزن خشک محصول اقتصادی در واحد

سطح× غلظت نیتروژن.

تجزیه و تحلیل اطلاعات با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه سبز پیش‌کاشت‌ها

براساس نتایج تجزیه واریانس میان ارقام مورد استفاده از نظر صفت عملکرد علوفه سبز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۱) (جدول ۲). بیشترین عملکرد علوفه سبز متعلق به پرکو، تربچه‌روغنی و بوکو به‌ترتیب با تولید ۶۹۵۸۶، ۶۹۱۶۴ و ۶۷۴۰۸ کیلوگرم در هکتار بود و این سه گونه در یک سطح آماری قرار گرفتند و کمترین عملکرد بیولوژیک متعلق به گونه شبدر برسیم با تولید ۳۸۴۶۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). بر این اساس عملکرد بیولوژیک ارقام تربچه‌روغنی و پرکو نسبت به سایر ارقام بهتر بوده و شاهد افزایش عملکرد آنها به میزان ۸۱ درصد و بوکو به میزان ۷۵ درصد نسبت به شبدر برسیم که رقم مناسب علوفه‌ای در منطقه می‌باشد بودیم. این نتایج با تحقیقات کاشانی و همکاران (۱۴)، حمدی و همکاران (۱۰) و لوپاشکوه (۲۳) مطابقت دارد.

وزن خشک کل پیش‌کاشت‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میان ارقام مورد استفاده در صفت وزن خشک کل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵ درصد وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۵) (جدول ۲). بیشترین عملکرد وزن خشک را پرکو با ۷۱۴۷/۵ کیلوگرم در هکتار داشت و کمترین عملکرد ماده خشک به ترکیب سه گونه شبدر برسیم، رامتیل و فاسیلیا با تولید ۴۸۶۶ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (جدول ۳). براساس نتایج پژوهش پرکو نسبت به شبدر عملکرد بیشتری به میزان ۴۴/۷۶ درصد تولید نمود.

درصد پروتئین پیش‌کاشت‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میان ارقام مورد استفاده از نظر درصد پروتئین اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P\leq$ ۰/۰۵) (جدول ۲). به‌طوری‌که بوکو با ۲۳/۳۶ درصد پروتئین بیشترین و تربچه روغنی با ۱۷/۹۵درصد، کمترین درصد پروتئین را دارا بود (جدول۳). کاشانی درصد پروتئین بوکو را ۲۵٪، حمدی و همکاران ۲۴ ٪ اعلام نمودند.

عملکرد دانه گندم

میان سطوح فاکتور اصلی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۴). بنابراین پیش‌کاشت‌ها باعث ایجاد تغییرات در میزان تولید دانه نسبت به شاهد گردیدند، به نحوی که گیاهان جدید پرکو، بوکو، تربچه‌روغنی و ترکیب سه گیاه (رامتیل، فاسیلیا و شبدر) در یک سطح آماری و شبدر برسیم و شاهد (عدم پیش‌کاشت) در سطح آماری دیگری قرار گرفتند. میزان تولید دانه گندم در تناوب بوکو: گندم با میانگین ۸۳۴۵ کیلوگرم در هکتار بالاترین تولید و تیمار شاهد (آیش: گندم) با میانگین ۴۴۹۱ کیلوگرم در هکتار کمترین دانه را تولید نمود (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف گونه‌های گیاهی مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance different plant species studied

S.O.V	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات Mean square		
		درصد پروتئین Percent protein	ماده خشک کل Total dry matter	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
تکرار Replication	3	12.139^{ns}	954922 ^{ns}	165379626 ^{ns}
تیمار Treatment	4	22.228**	4211174.8*	82875925 **
اشتباه Test error	12	5.964	864995.7	98432412
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	11.68	15.92	16.95

ns ، *و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*Significant at 0.05 probability level. ** Significant at 0.01 probability level.ns non-significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در گیاهان پیش‌کاشت

Table 3- Mean comparisons of different traits at different pre-sowing plants

شرح Description	پروتئین Percent protein	ماده خشک کل Total dry matter (kg ha^{-1})	عملکرد علوفه سبز Biological yield (kg ha^{-1})
پرکو Perko	20.98 abc	7147.5 a	69586 a
بوکو Buko	23.36 a	5598.7 bc	67408 a
شبدر برسیم Clover	19.28 bc	c4937.2 c	38464 b
رامتیل، فاسیلیا و شبدر برسیم Ramtil, Phacelia, Clover	22.36 ab	4866 c	47950 b
تربچه روغنی Oilseed radish	17.96 c	6664.4 ab	69164 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Treatment with the same letters don't show significant differences by Duncan multiple range test in each column

بین سطوح فاکتور فرعی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۴) بیشترین تولید گندم به میزان ۸۴۴۰/۸ کیلوگرم مربوط به تیمار توصیه کودی و کمترین ۵۰۳۹ کیلوگرم به تیمار شاهد (صفر مقدار کود) تعلق داشت (جدول ۵). در میان اثرات متقابل بیشترین عملکرد به تناوب بوکو: گندم و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن به میزان ۹۷۹۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین به تیمار شاهد (آیش: گندم) و صفر مقدار کود با تولید ۳۳۶۵ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. محققین دیگری نیزبر برتری ارقام براسیکا به‌عنوان پیش‌کاشت، جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم تأیید نمودند (۲۹).

در تمامی تناوب‌های مورد آزمایش با افزایش مصرف نیتروژن عملکرد کل افزایش یافت. بیشترین عکس‌العمل عملکرد به مصرف کود نیتروژنه در تناوب بوکو: گندم (۸۵/۸٪) افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد و تیمارپرکو: گندم (۸۰/۹٪) افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد، اما عملکرد کل در تناوب شبدر: گندم کمترین واکنش را به افزایش نیتروژن مصرفی (۴۵/۸٪) 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 تناوب‌زراعی نیاز سیستم زراعی به مصرف نهاده‌هایی چون کود نیتروژن کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش فوسی و همکاران (۹) کریستن و همکاران (۴) رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹) نیز نشان داد که کشت متوالی غلات بیشترین عکس‌العمل را به افزایش مصرف کود نیتروژنه نشان می‌دهد.

تعداد سنبله در واحد سطح

تعداد سنبله در واحد سطح تحت تأثیر تیمارهای پیش‌کاشت و اثرات متقابل پیش‌کاشت و کود نیتروژن قرار نگرفت. اما سطوح نیتروژن بر روی این صفت تأثیر معنی‌داری بر جای گذاشت و با افزایش میزان نیتروژن تعداد سنبله در واحد سطح افزایش یافت. زیرا کود نیتروژن تأثیر مثبتی بر افزایش تعداد پنجه داشته و تعداد پنجه‌های بارور نخستین پیش شرط دست‌یابی به عملکرد مطلوب (تعداد سنبله) در واحد سطح است. محققین دیگر نیز اعلام کردند، کود نیتروژن عملکرد دانه را به‌طور عمده از طریق افزایش تعداد سنبله در واحد سطح بالا می‌برد (۴۰ و ۴۱).

تعداد سنبلچه در سنبله

میان سطوح فاکتور اصلی و فرعی از نظر تعداد سنبلچه در سنبله اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۱) (جدول ۴) و تعداد سنبلچه در سنبله به شدت تحت تأثیر پیش‌کاشت‌ها و سطوح نیتروژن قرار گرفت. کاشت دو رقم پرکو و بوکو باعث تولید بالاترین تعداد سنبلچه در هر سنبله با میانگین ۱۳/۳۷ و ۱۳/۲۴ سنبلچه گردید. تیمار شاهد (بدون پیش‌کاشت) با میانگین ۱۰/۸۱ کمترین میزان تعداد سنبلچه در هر سنبله را تولید نمود. محققین دیگری نیز گزارش کرده‌اند که افزایش کود نیتروژن باعث افزایش تعداد سنبلچه در سنبله می‌گردد (۱۶ و ۲۹).

تعداد دانه در سنبله

مصرف کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر روی تعداد دانه در سنبله داشت ولی تیمارهای پیش‌کاشت و اثر متقابل پیش‌کاشت و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله نداشت (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در سنبله در تناوب پرکو: گندم به میزان ۲۷/۶۳ و کمترین در تناوب شبدر برسیم: گندم به میزان ۲۳/۹۵ دانه مشاهده گردید. نتایج حاکی از آن است که بیشترین تعداد دانه در سنبله با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن به میزان ۳۰/۴۶ دانه و کمترین تعداد در تیمار عدم مصرف نیتروژن به میزان ۲۳/۳۷ به‌دست آمد. رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹)، زبارت و شیرد (۴۳) اعلام کردند تعداد دانه در سنبله با افزایش نیتروژن کاهش یافت. محققین دیگری اثر مثبت کود نیتروژن را در افزایش تعداد دانه در سنبله را گزارش نموده‌اند (۴۱ و ۴۲).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد گندم

Table 4- Analysis of variance investigated yield and yield component of wheat

		میانگین مربعات Mean square							
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد سنبله بارور Number of fertile spikes	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	تعداد دانه در سنبلچه Number of grains per spike	تعداد سنبلچه در سنبله Number of spikelet per spike	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	3	83275 ns	0.141 *	0.444 **	6.31 *	22.66 ns	71.90 **	79.26 **	77374.6 *
سطوح تناوب Rotation (A)	5	95430.4 ns	0.06 ns	0.314 **	17.74**	36.16 ns	31.30 ns	251.64**	313645.6*
اشتباه اصلی(Ea) Test error (a)	15	50672	0.106	0.058	3.77	33.08	37.08	36.56	105349
سطوح نیتروژن Fertilizer (B)	3	143712*	0.096 ns	0.317 **	18.78 **	232.51 **	72.74 **	39.561 ns	627072**
اثر متقابل (a*b) Interaction (A*B)	15	48136 ns	0.053 ns	0.031 ns	1.28 ns	12.92ns	22.04 ns	25.73 ns	29297.6 ns
اشتباه فرعی (Eb) Test error (b)	54	50672	0.036	0.044	2.23	22.49	15.42	16.47	21684.2
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	23.4	20.12	9.74	12.23	18.01	11.03	10.64	20.96

ns، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار، اختلاف در سطح ۵٪ و اختلاف معنی دار در سطح۱٪ می باشند.

*Significant at 0.05 probability level. ** Significant at 0.01 probability level. ns, non-significant.

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میان سطوح فاکتور اصلی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. ولی میان سطوح فاکتور فرعی از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۱) (جدول ۴). وزن هزار دانه در پیش‌کاشت بوکو با میانگین ۳۶/۷۲ گرم بیشترین و تیمار شاهد با ۳۲/۹۲ گرم کمترین وزن هزار دانه را تولید نمود.

شاخص برداشت

میان سطوح فاکتور اصلی (پیش‌کاشت) اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۱)، ولی میان سطوح نیتروژن اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴). بیشترین شاخص برداشت متعلق به تناوب بوکو: گندم به میزان ۴۳/۲۶ بوده و کمترین به تناوب آیش: گندم تعلق داشت. با افزایش میزان نیتروژن شاخص برداشت کاهش یافت و کمترین شاخص متعلق به بالاترین سطح کودی به میزان ۳۶/۹۵ به‌دست آمد (جدول ۵). محققین دیگری نیز کاهش شاخص برداشت در اثر افزایش کود نیتروژن را تأیید نموده‌اند (۴۲). با عنایت به این که افزایش نیتروژن متناسب با افزایش عملکرد دانه، کاه و کلش را نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد لذا طبیعی به نظر می‌رسد با افزایش مصرف نیتروژن با کاهش شاخص برداشت مواجه شویم. زبارت و شیرد (۴۳) اعلام نمودند شاخص برداشت در اثر مصرف کود نیتروژن کاهش یافت.

نیتروژن کل جذب شده

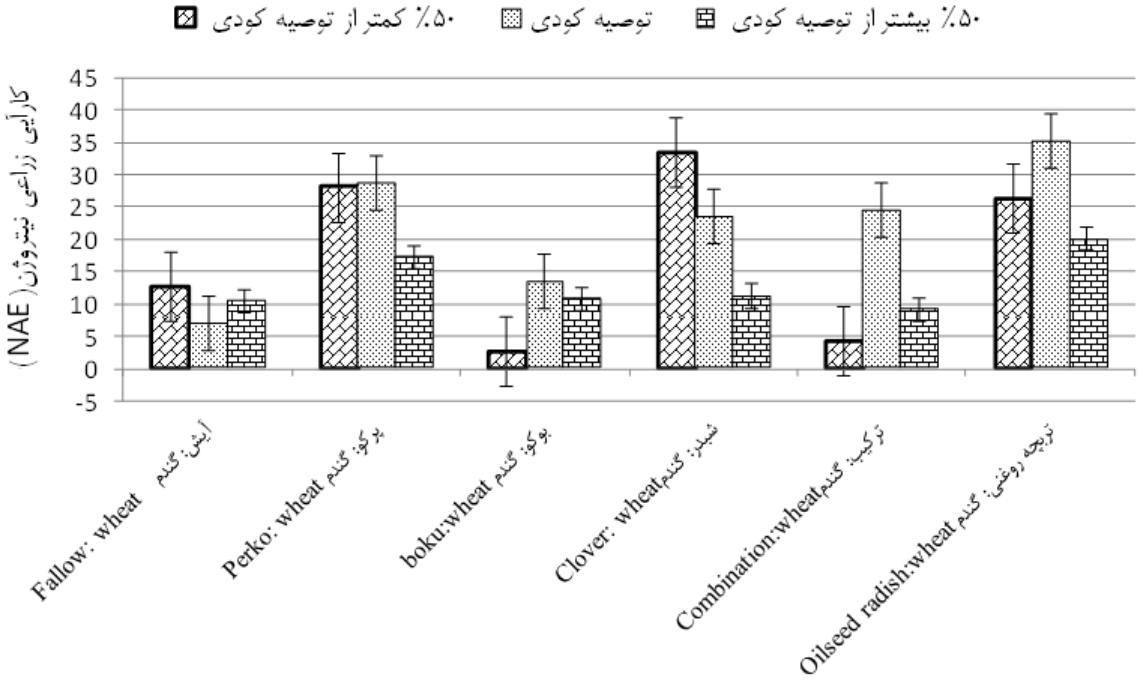
میان سطوح فاکتور اصلی از نظر نیتروژن کل جذب شده اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۵) (جدول ۵). جذب نیتروژن در تناوب‌های زراعی مورد آزمایش نیز در واکنش به مقادیر کود نیتروژنه مصرفی متفاوت بود (جدول ۳) بیشترین جذب نیتروژن از خاک به میزان ۱۷۲/۲ کیلوگرم در تناوب بوکو: گندم و کمترین میزان در تناوب شبدر: گندم به میزان ۱۳۳/۷۳ و تیمار شاهد ۹۰/۳۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۶). با افزایش مصرف کود نیتروژنه، جذب نیتروژن از خاک در تناوب‌های مختلف افزایش یافت و در تناوب بوکو: گندم بیشترین عکس‌العمل به مصرف کود نیتروژنه در بالاترین سطح تیمار کودی به میزان (۶۸٪) نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. گویی‌لارد و همکاران (۱۸) نیز گزارش نمودند با افزایش کاربرد کود نیتروژنه، عملکرد ماده خشک و جذب نیتروژن در تناوب‌های فاقد بقولات افزایش یافت در حالی‌که کارآیی استفاده از نیتروژن و بازیافت نیتروژن در این تناوب‌ها کاهش یافت.

کارآیی زراعی نیتروژن (NAE)

نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های شش‌گانه مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت ($P\leq$ ۰/۰۵) (جدول ۵). تناوب تربچه‌روغنی: گندم دارای بیشترین NAE بود به‌طوری‌که در این تناوب به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۲۰/۳۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. در حالی‌که در تناوب بوکو: گندم با کمترین NAE به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (جدول ۶). با افزایش مصرف نیتروژن به‌جز تناوب آیش: گندم کارآیی زراعی سایر تناوب‌ها کاهش یافت، بیشترین کارآیی زراعی به میزان ۲۲/۰۶ با مصرف نیتروژن منطبق بر توصیه کودی به‌دست آمد و کمترین عملکرد اقتصادی به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی ۱۳/۷۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

در تناوب بوکو: گندم به دلیل تولید بالای پیش‌کاشت بوکو نسبت به سایر پیش‌کاشت‌ها، بقایای بیشتری به خاک افزوده شده و با عنایت به درصد نیتروژن بالای این بقایا و بهبود ماده آلی خاک نسبت به سایر تناوب‌ها، در عمل گندم از نیتروژنی که از طریق بقایا به خاک افزوده شده نسبت به سایر تناوب‌ها استفاده بیشتری نموده و به دلیل یکسان بودن پتانسیل عملکرد رقم برای کلیه تیمارها کارآیی زراعی کود آن کمتر از سایر تیمارها است. به همین دلیل در تیمار بدون پیش‌کاشت به دلیل عدم افزایش بقایا به خاک، گندم قسمت اعظم نیتروژن مورد استفاده را از کود مصرفی تأمین کرده و به‌ازای هر واحد کود مصرفی عملکرد بیشتری تولید نمود.

همچنین نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی زراعی نیتروژن از نظر اثرات متقابل کود نیتروژن و تناوب زراعی مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۵). براساس نتایج مندرج در شکل ۱ مشاهده می‌گردد که مصرف کود تا توصیه کودی ابتدا کارآیی زراعی افزایش و سپس کارآیی زراعی نیتروژن کاهش یافت. بیشترین کارآیی زراعی به میزان ۳۵/۱۷ در تیمار مصرف نیتروژن منطبق بر توصیه کودی منطقه و در تناوب تربچه روغنی: گندم به‌دست آمد. در حالی‌که کمترین کارآیی زراعی به میزان ۲/۵ در تیمار مصرف نیتروژن به میزان ۵۰٪ کمتر از توصیه کودی و تناوب بوکو: گندم مشاهده شد (شکل ۱). نتایج نشان داد که در کشت تربچه روغنی: گندم کاهش نیتروژن مصرفی می‌تواند به کاهش شدید عملکرد منجر شود در حالی‌که در سایر نظام‌های تناوبی به دلیل اثرات مثبت تناوب حساسیت عملکرد به کود نیتروژن کمتر می‌باشد. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۲)، رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹)، عباسی و همکاران (۱)، توی و همکاران (۳۹) سی‌یو و همکاران (۵) نیز گزارش نمودند که اثر متقابل تناوب زراعی و کود نیتروژنه بر NAE معنی‌دار بوده و با افزایش مصرف نیتروژن NAE کاهش یافت.



شکل ۱- اثرات متقابل مقدار نیتروژن مصرفی و تناوب زراعی برکارآیی زراعی نیتروژن
Figure 1- Nitrogen Agronomic Efficiency (NAE) affected by different crop rotation

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (NPE)

نتایج نشان داد که کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نداشت و عکس‌العمل NPE در تناوب‌های مورد بررسی به کود نیتروژنه متفاوت بود ($P\leq$ ۰/۰۰۱) (جدول ۵). کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب آیش: گندم بیش از سایر تناوب‌ها بود به‌طوری‌که به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۳۹ کیلوگرم عملکرد کل تناوب افزایش یافت در حالی‌که در تناوب شبدر برسیم: گندم که کمترین NPE را داشت تنها به‌ازاء هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۲۶ کیلوگرم عملکرد کل تناوب افزایش یافت (جدول ۶).

در تناوب‌های مورد بررسی با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن به استثناء تناوب آیش: گندم کاهش یافت در حالی‌که در تناوب آیش: گندم کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در شرایط مصرف بهینه کود نیتروژنه در حداکثر مقدار بود و سپس روند کاهشی داشت (جدول ۶). این نتیجه مؤید آن است که در این تناوب به دلیل کاهش حاصلخیزی خاک و وجود عوامل محدودکننده تولید، واکنش به جذب نیتروژن در سیستم بیشتر است. نتایج آزمایش لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۱)، سی‌یو و همکاران (۵) و رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹) نیز حاکی از آن است که کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در نظام‌های تناوبی به میزان نیتروژن مصرفی بستگی دارد و با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن کاهش می‌یابد.

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در شرایط مصرف بهینه کود نیتروژنه حداکثر مقدار بود به‌طوری‌که به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۵۵ کیلوگرم عملکرد کل افزایش یافت. به گزارش ژائو و همکاران (۴۴) مصرف کود نیتروژنه در حد متعادل و بهینه در نظام تناوبی ذرت: گندم می‌تواند کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن مصرفی را نسبت به نظام رایج با مصرف زیاد کود نیتروژنه به میزان حدود ۳/۵ برابر افزایش دهد. از نظر بررسی اثرات متقابل بیشترین کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در شرایط مصرف بهینه کود نیتروژنه و در تناوب بوکو: گندم به‌دست آمد، به‌طوری که به‌ازاء هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده حدود ۱۱۴ کیلوگرم عملکرد کل افزایش یافت. محققین دیگری نیز بالا بودن کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن با مصرف بهینه کود را مورد تأیید قرار داده‌اند (۲۹ و ۳۰).

کارآیی بازیافت ظاهری نیتروژن (NRE)

کارآیی بازیافت نیتروژن در بین تناوب‌های مورد آزمایش در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری داشت و عکس‌العمل تناوب‌های مختلف به کود نیتروژنه از جهت کارآیی بازیافت نیتروژن بسیار معنی‌دار بود

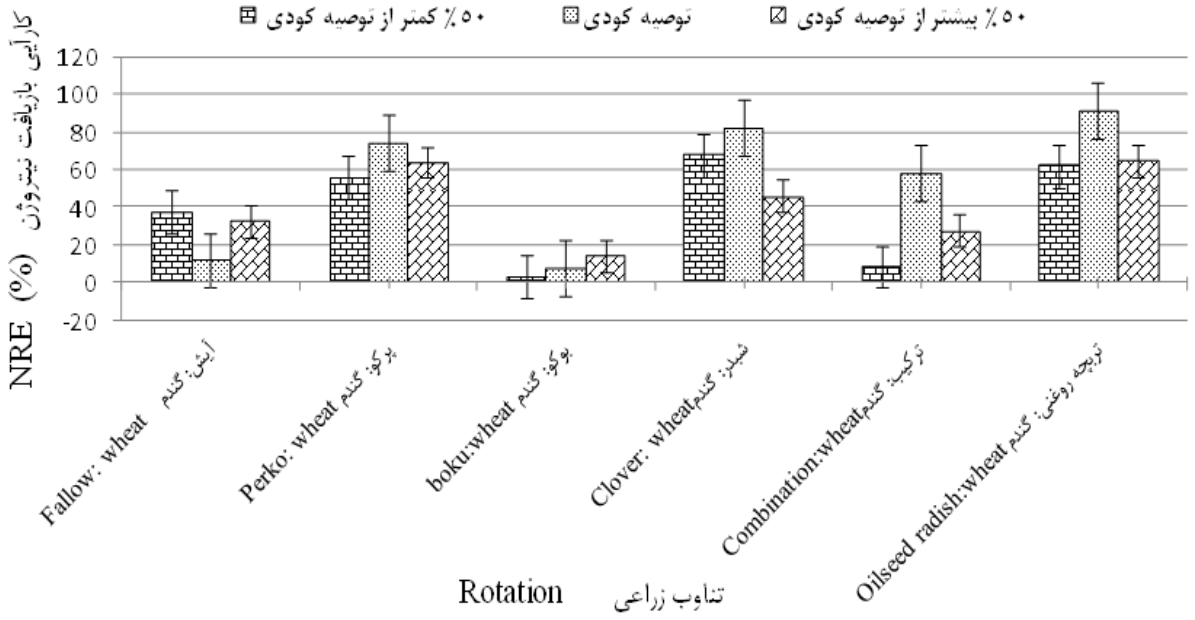
پرکو: گندم به میزان ۳۶٪ مشاهده شد (جدول ۶). کمترین کارآیی بازیافت نیتروژن به تناوب بوکو: گندم تعلق داشت و در این تناوب به دلیل عملکرد بالای تیمار بدون کود نسبت به سایر تیمارهای کودی کارآیی بازیافت کمتر است و گیاه گندم از نیتروژن و ماده آلی حاصل از برگردان پیش‌کاشت‌ها بهتر استفاده نموده است. بالا بودن کارآیی بازیافت نیتروژن در تناوب تربچه‌روغنی: گندم گویای آن است که در این تناوب تلفات نیتروژن در خاک کمتر از دیگر تناوب‌ها است، اما با این وجود در حدود نیمی از نیتروژن مصرفی تلف شده یا در خاک بفرم آلی باقی مانده است. رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹) نیز تأثیر مثبت نظام‌های تناوبی را بر کارآیی بازیافت نیتروژن مورد تأیید قرار داده‌اند. همچنین نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی بازیافت نیتروژن از نظر اثرات متقابل کود نیتروژن و تناوب زراعی مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت ($P\leq$ ۰/۰۰۱) (جدول ۵). بیشترین کارآیی بازیافت نیتروژن در تیمار مصرف نیتروژن منطبق بر توصیه کودی منطقه و در تناوب تربچه‌روغنی: گندم به‌دست آمد (شکل ۲).

با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی بازیافت نیتروژن تا شرایط مصرف بهینه کود نیتروژنه روندی افزایشی و سپس روند کاهشی داشت. رحیمی‌زاده و همکاران (۲۹)، سیلینگ و همکاران (۳۲) و ژائو و همکاران (۴۴) گزارش نموده‌اند با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی بازیافت نیتروژن کاهش می‌یابد.

شاخص برداشت نیتروژن (NHI)

نتایج آزمایش نشان‌دهنده آن است که شاخص برداشت نیتروژن در بین تناوب‌های مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت (۰/۰۵ $P\leq$) (جدول ۵). بیشترین شاخص برداشت نیتروژن به‌ترتیب در تناوب بوکو: گندم (۸۶/۵٪)، پرکو: گندم (۸۵٪) وکمترین مقدار شاخص برداشت نیتروژن در تناوب آیش: گندم (۷۹/۲۸٪) مشاهده گردید (جدول ۶). به‌عبارت دیگر در تناوب بوکو: گندم بیش از ۸۶ درصد نیتروژن جذب شده، در محصول اقتصادی قابل برداشت متمرکز شده است در حالی‌که در تناوب‌های دیگر سهم کمتری از نیتروژن جذب شده در محصول اقتصادی گیاهان مورد کشت انباشته شده است. نظر به این که شاخص برداشت نیتروژن نمایانگر محتوی نیتروژن (پروتئین) محصول تولیدی می‌باشد. بنابراین شاخص برداشت نیتروژن تناوب بوکو: گندم و سپس پرکو: گندم به دلیل محتوی پروتئین بالاتر نسبت به سایر تناوب‌ها بیشتر بود.

اگرچه مصرف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نیتروژن نداشت (جدول ۵) اما واکنش تناوب‌های مختلف به مصرف نیتروژن متفاوت بود. در تناوب بوکو: گندم، پرکو: گندم و آیش: گندم افزایش مصرف نیتروژن باعث کاهش شاخص برداشت گردید ولی در تناوب تربچه‌روغنی: گندم شاخص برداشت نیتروژن تا مصرف بهینه نیتروژن (توصیه کودی منطقه) افزایش و با افزایش مصرف نیتروژن روندی کاهشی داشت. نتایج آزمایش دیگر محققین (۱۶، ۲۰، ۲۲ و ۲۵) نیز منطبق با نتایج این آزمایش می‌باشد.



شکل ۲- اثرات متقابل مقدار نیتروژن مصرفی و تناوب زراعی بر کارآیی بازیافت نیتروژن

Figure 2- Nitrogen Recovery Efficiency (NRE) affected by different crop rotations

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تناوب‌های مختلف کاشت و تیمار های کود نیتروژن

Table 5- Mean comparisons of traits at different rotations and nitrogen fertilizer treatments

شرح Description		وزن دانه در سنبله (گرم) Grain weight per spike(g)	تعداد دانه در سنبلچه Number of grains per spike	تعداد سنبلچه در سنبله Number of spikelet per spike	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه (گرم) Thousand kernel weight(g)	شاخص برداشت Harvest index	تعداد سنبله بارور Number of fertile spikes	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg\ ha^{-1}$)
تناوب per sowing plant	شاهد Fallow	0.897 a	2.43 a	10.81 c	26.44 a	32.92 a	31.27 c	812.5 a	4491b
	پرکو Perko	1.004 a	2.066 b	13.37 a	27.63 a	36.35 a	40.03 ab	1024.1 a	8125 a
	بوکو Buko	1.0004 a	2.02 b	13.24 a	27.26 a	36.72 a	43.26 a	964.4 a	8345 a
	شبدر Clover	0.860 a	2.084 b	11.49 bc	23.95 a	36.12 a	37.11 b	957.7 a	6550 ab
	رامتیل، فاسیلیا و شبدر Ramtil,Phacelia,Clover	0.897 a	2.158 b	11.57 bc	25.11 a	36.21 a	38.87 ab	993.4 a	7199 a
	تریچه روغنی Oilseed radish	0.975 a	2.155 b	12.70 ab	27.59 a	35.25 a	38.29 b	1013.06 a	7438 a
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	بدون مصرف کود Control (no fertilizer)	0.900 b	2.039 c	11.43 b	23.37 c	37.72 a	37.11 a	854.7 b	5039.2 c
	۵۰٪ کمتر از توصیه کودی 50%lower than recommended rate	0.886 b	2.093 bc	11.79 b	24.61 bc	36.13 ab	39.77 a	967.3 b	6379.2 b
	توصیه کودی Recommended rate	0.943 ab	2.186 ab	12.32 b	26.87 b	34.88 bc	a39.22 a	991.7 a	8440.8 a
	۵۰٪ بیشتر از توصیه کودی 50%more than recommended rate	1.027 a	2.303 a	13.24 a	30.46a	33.65 c	36.95 a	1039.7 a	8238.8 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Treatment with the same letters don't show significant differences by Duncan multiple range test In each column

جدول ٦- تجزیه واریانس صفات مجموع نیتروژن جذب شده، کارآیی زراعی نیتروژن، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن، کارآیی بازیافت نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن

Table 6- Analysis of variance for grain yield, total nitrogen uptake, nitrogen agronomic efficiency, Nitrogen physiological efficiency, Nitrogen Recovery Efficiency and nitrogen harvest index

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (M.S) Mean square				
		شاخص برداشت نیتروژن NHI	کارآیی بازیافت نیتروژن NRE	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن NPE	کارآیی زراعی نیتروژن NAE	مجموع نیتروژن جذب شده TNU
تکرار Replication	3	9.63 ^{ns}	1006.53 ^{ns}	781.19 ^{ns}	148.47^{ns}	2830.6 ^{ns}
تیمار (تناوب) Rotation (A)	5	93.15 **	9248.32*	430.03^{ns}	587.62*	15089.3 *
سطوح نیتروژن Fertilizer (B)	3	15.29 ^{ns}	12652.06**	13355.8**	2197.15**	47724.9 **
تناوب × سطوح نیتروژن (A×B) Interaction (A*B)	15	8.48 ^{ns}	2123.15**	1728.6 ^{ns}	201.39*	3091.9*
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	3.46	23.7	12.4	23.5	21.8

ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف در سطح ۵٪ و اختلاف معنی‌دار در سطح۱٪ می باشند.

*Significant at 0.05 probability level. ** Significant at 0.01 probability level. ns, non-significant.

نظر به این که در شرایط مصرف زیاد نیتروژن، نیتروژن اضافی جذب شده نمی‌تواند در افزایش عملکرد اقتصادی تأثیر چندانی داشته باشد و قاعدتاً نیتروژن جذب شده صرف رشد بخش‌های غیر اقتصادی (بیولوژیکی) می‌گردد. لذا شاخص برداشت با افزایش مصرف نیتروژن روند افزایشی نخواهد داشت. لوپزبلیدو و لوپزبلیدو (۲۰) و دلوگو و همکاران (۶) گزارش نمودند تناوب زراعی و کود نیتروژنه تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نیتروژن گندم دارد و با افزایش نیتروژن بیش از مقدار مورد نیاز شاخص برداشت نیتروژن کاهش می‌یابد. اما به گزارش مونت مورو و همکاران (۲۸) افزایش مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نیتروژن نداشت.

نتیجه‌گیری

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در تناوب آیش: گندم بیش از سایر تناوب‌ها بود و این موضوع سبب می‌گردد که تلفات نیتروژن در این نظام تناوبی به حداقل برسد. تناوب تربچه‌روغنی: گندم دارای بیشترین کارآیی زراعی نیتروژن بود به‌طوری‌که این تناوب به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۲۰/۳۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب تربچه‌روغنی: گندم سه برابر تناوب آیش: گندم بود، به‌عبارت دیگر بازده اقتصادی کود نیتروژنه مصرفی در تناوب تربچه‌روغنی: گندم سه برابر نظام‌های رایج کشت گندم در این منطقه بود. بیشترین شاخص برداشت نیتروژن به‌ترتیب در تناوب بوکو: گندم (۸۶/۵٪)، پرکو: گندم (۸۵٪) و کمترین مقدار شاخص برداشت نیتروژن در تناوب آیش: گندم (۷۹/۲۸٪) مشاهده گردید. مصرف بیش از حد مناسب نیتروژن (توصیه کودی) اگرچه 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 و در نهایت با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی بازیافت نیتروژن تا شرایط مصرف بهینه کود نیتروژنه روندی افزایشی و سپس روند کاهشی داشت. با عنایت به این که در حال حاضر میانگین تولید گندم آبی در منطقه کمتر از ۳/۵ تن با مصرف کود منطبق بر توصیه کودی می‌باشد پس می‌توان گفت تناوب پرکو: گندم و بوکو: گندم به دلیل بالا بودن عملکرد اقتصادی با مصرف کود کمتر، تناوب مناسب و قابل توصیه در منطقه می‌باشند. زیرا مجموع عملکرد ماده خشک در این تناوب‌ها با مصرف کود منطبق بر توصیه کودی منطقه بیشتر از سایر تناوب‌های مورد مطالعه بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین مجموع نیتروژن جذب شده، کارآیی زراعی نیتروژن، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن، کارآیی بازیافت نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن

Table 7- Mean comparisons of nitrogen agronomic Efficiency (NAE), Nitrogen physiological efficiency (NPE), Nitrogen Recovery Efficiency (NRE), Total nitrogen uptake (TNU, N harvest index (NHI) of wheat at different crop rotations and N application rates

شرح Description	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)	کارآیی بازیافت نیتروژن NRE (%)	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن NPE (kg ha^{-1})	کارآیی زراعی نیتروژن NAE (kg ha^{-1})	مجموع نیتروژن جذب شده TNU (kg ha^{-1})
آیش: گندم Wheat: Fallow	79.38 b	5.63 b	39.86 a	7.47 ab	90.31 b
پرکو: گندم Wheat: Perko	85 a	36.98 a	26.87 a	18.47 a	162.99 a
بوکو: گندم Wheat: Buko	86.5 a	3.58 a	34.78 a	6.67 b	172.2 a
شبدر برسیم : گندم Wheat: Clover	83.34 a	40.84 a	26.14 a	17.07 a	133.73 b
رامتیل، فاسیلیا، شبدر برسیم: گندم Wheat: Ramtil, Phacelia,Clover	83.6 a	29.04a	30.09 a	9.46 ab	142.85 a
تربچه روغنی: گندم Wheat: Oilseed radish	84.48 a	45.37 a	30.15 a	20.36 a	145.82 a
شاهد (بدون کود نیتروژن) Control (no fertilizer)	83.74 ab	-	-	-	100.59 c
۵۰٪ کمتر از حد مطلوب 50%lower than recommended rate	84.57 a	29.01 b	36.44 ab	17.86 ab	120.04 b
حد مطلوب نیتروژن Recommended rate	83.93 ab	53.77 a	57.05 a	A22.06	170.42 a
۵۰٪ بیشتر از حد مطلوب 50%more than recommended rate	82.65 b	40.91 ab	31.76 b	13.07 b	174.19 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Treatment with the same letters don't show significant differences by Duncan multiple range test in each column

References

1. Abbasi, M. K., Kazmi, M., and Hussan, F. 2005. Nitrogen use efficiency and herbage production of an established grass sward in relation to moisture and nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition 28: 1693-1708.
2. Brandt, S. A., and Zentner, R. P. 1995. Crop production under alternate rotations on a dark brown chernozemic soil at Scott, Saskatchewan. Canadian Journal of Plant Science 75: 789-794.
3. Brussaard, H. L., De Ruiter, P. C., and Brown, G. G. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 121: 233-244.
4. Christen, O., Sieling, K., and Hanus, H. 1992. The effect of different preceding crops on the development, growth of winter wheat. European Journal of Agronomy 1: 21-28.
5. Cui, Z., Zhang, F., Chen, X., Miao, Y., Li, J., Shi, L., Xu, J., Ye, Y., Liu, C., Yang, Z., Zhang, Q., Huang, S., and Bao, D. 2008. On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil Nmin test. Field Crops Research 105 48-55.
6. 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. European Journal of Agronomy 9: 11-20.
7. Dobermann, A. 2006. Nitrogen use efficiency in cereal systems. Available at http// www. regional. org .au/asa/2006/plenary/soil/dobermann.
8. Fan, X., Lin, F., and Kumar, D. 2004. Fertilization with a new type of coated urea. Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. Journal of Plant Nutrition 25: 853-865.

9. Fauci, M., and Dick, R. 1994. Soil microbial dynamics, short and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. Soil Science Society of America Journal 58: 801-806.
10. Hamdi, H., Kashani, A., Bahrain, M. J., Mamghani, R., and Syadat, A. 1992. Determine the growth of perko forage plants (genus Brassica) and the Effect of nitrogen fertilizer on yield due to harvest time in Ahvaz weather conditions. Master's thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Persian).
11. Hiremath, A. J., and Ewel, J. J. 2001. Ecosystem nutrient use efficiency, productivity and nutrient accrual in model tropical communities. Ecosystems 4: 669-682.
12. 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. Journal of Experimental Botany 58 (9): 2369-2387.
13. Hussain, T., Jilani, G., Parr, J. F., and Ahamd, R. 2001. Transition from conventional to alterative agriculture in Pakistan: The role of green manure in Substitution for inorganic "N" fertilizer's in a rice – wheat farming systems. American Journal of Alternative Agriculture 10 (3): 133-137.
14. Kashani, A., Bahrain, J., Alami- Saeeid, K., and Mesgarbashi, M. 1986. Science report introduces three varieties of forage plants of the genus Brassica and report preliminary results in Khuzestan. Journal of Agricultural Science 11: 74-78. (in Persian with English abstract).
15. Koocheki, A., Bromand-Rezazadeh, Z., Nasriri- Mahalati, M., and Khoramdel, S. 2012. Evaluation of uptake and nitrogen use efficiency in winter wheat and maize intercropping delay, Journal of Field Crops Research 10 (2): 327-334. (in Persian with English abstract).
16. Lotfolahi, M. 2012. Evaluation of grain protein concentration of wheat by nitrogen foliar application. Journal of Agronomyand Plant Breeding 8 (4): 1-6. (in Persian with English abstract).
17. Garya, P., and Sims, J. R. 1994. Legume cover crops in fallow as an integrated crop livestock alternative in the northern and central Great Plains. Research and Extension Center, University of Wyoming. USA.
18. Guillard, K., Griffin, G., and Pietrzyk, S. 1995. Nitrogen utilization of selected cropping systems in U.S. Northeast. Agronomy Journal 87: 193-199.
19. Limon-Ortega, A., Sayre, K. D., and Francis, C. A. 2000. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in northwest Mexico. Agronomy Journal 92: 303-308.
20. 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 Crops Research 71: 31-64.
21. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R. J., and Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Research 92: 86-97.
22. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R. J., and Lopez-Bellido, F. J. 2006. Fertilizer Nitrogen Efficiency in Durum Wheat under Rain fed Mediterranean Conditions: Effect of Split Application, Agronomy Journal – Abstract 98: 55-62.
23. Lupashku, M. F. 1980. Perko RVH - a new fodder crop. Vestnik Sel'skokhozyaistvennoi Nauki. Moscow, USSR 4 (6): 94-98.
24. Marianne, S. 1994. Rodale Institute; Managing Cover Crops Profitably, Sustainable Agriculture Research and Education Program, USDA
25. Martens, D. A., and Frankenberger, W. T. 1992. Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated soil. Agronomy Journal 84: 707-717.
26. Miller, P., McConkey, B., Clayton, G., Brandt, S., Baltensperger, D., and Neil, K. 2002. Pulse crop adaptation in the Northern Great Plains. Agronomy Journal 94: 261-272.
27. Moll, R. H., Kamprath, E. J., and Jackson, W. A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.
28. 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 Research 99: 114-124.
29. Rahimizadeh, M., Kashani, A., and Zare Faizabadi, A. 2011. Investigation of Pre-Sowing Plants and return of crop residue and the Different Levels of Nitrogen on the Yield Wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Field Crops Research 9 (2): 211-221. (in Persian with English abstract).
30. Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare-Feizabadi, A., Koocheki, A. R., and Nassiri-Mahallati, M . 2012. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. Australian Journal of Crop Science 4 (5): 363-368.
31. Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1991. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal 91: 357-363.
32. 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. Journal Agriculture Science 131: 375-387.
33. Soon, Y. K., Clayton, G. W., and Rice, W. A. 2001. Tillage and previous effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. Agronomy Journal 93: 842-849.

34. Sowers, K. E., Miller, B. C. and Pan, W. L. 1994. Optimizing grain yield in soft white winter wheat with split nitrogen applications. Agronomy Journal 86: 1020-1025.
35. Stacey, G., Burris, R. H., and Evans, H. J. 1992. Biological Nitrogen Fixation. Chapman and Hall, New York.
36. Stevenson, F. C., and Kessel, C. V. 1996. The nitrogen and non-nitrogen rotation benefits of pea to succeeding crops. Canadian Journal of Plant Science 76: 735-745.
37. Subedi, K. D., Ma, B. L., and Xue, A. G. 2007. Planting Date and Nitrogen Effects on Grain Yield and Protein Content of Winter Wheat. Crop Science 47: 36-44.
38. Timsina, T., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C., and Amin, M. R. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. Field Crop Research 72: 143-161.
39. Thuy, N. H., Shan, Y., Singh, B., Wang, K., Cai, Z., Singh, Y., and Buresh, R. J. 2008. Nitrogen supply in rice-based cropping systems as affected by crop residue management. Soil Science Society of America Journal 72: 514-523.
40. Velasco, J. L., Rozas, H. S., Echeverría, H. E. and Barbieri, P. A. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. Canadian Journal of Plant Science 92: 847-856.
41. Whingwiri, E. E., and Kemp, D. R. 1980. Spikelet development and grain yield of the wheat ear in response to applied nitrogen. Australian Journal of Agricultural Research 31: 637-647.
42. Wiese, A. F., Harman, W. L., Bean, B. W., and Salisbury, C. D. 1994. Effectiveness and economics of dryland conservation tillage systems in the Southern Great Plains. Agronomy Journal 86: 725-730.
43. Zebart, B. J., and Sheard, R.W. 1992. Influence of rate timing of nitrogen fertilization on yield and quality of red winter wheat in Ontario. Plant Science 72: 13-19.
44. 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. Agronomy Journal 98: 935-945.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 553-569

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۵۶۹-۵۵۳

Evaluation of the Effect of Rotation and Application Rate of Nitrogen on Yield, Yield Components and Nitrogen Efficiency Indexes in wheat

R. Nasri[1]- A. Kashani[2*]- F. Paknejad[3]- S. Vazan[4]- M. Barary[5]

Received: 31-10-2013
Accepted: 10-08-2015

Introduction

There are about 160 species in *Brassica* genus, which are mostly annuals and biennials. The plants in this genus have potential for fodder uses. The progress in plant breeding science has produced new crop varieties for oil and forage usages. Perko varieties are derived from crosses between tetraploid plants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.Var. napus) and Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. var. sensulato). The new plants are superior to their parents from various aspects. Buko varieties are new amphiploid plants obtained by crossing between tetraploid winter rapeseed, Chinese cabbage and turnips (*Brassica campestris* L. var. Rapa). Oilseed radish with scientific name (*Raphanus sativus* L.) is a genus of the Brassica and consumption, oil, green manure, feed and fodder (24). This plant in many countries, including Canada, is cultivated in gardens as cover crop. Oilseed radish grows fast in the cool seasons. Ramtil (*Guizotia abyssinica*) belongs to the *Compositae* family, Phasilia (*Phaceli atanacetifolia* L.) belongs to *Boraginaceae* family and clover is from *Fabaceae* family that is grown for feeding purposes.

Materials and Methods

A field experiment was conducted from 2011 to 2012 in the Karezan region of Ilam, Iran (42º33′N, 33º46′E) on a silty-clay with low organic carbon (1.26%) and slightly alkaline soil (pH=7.9). This site is characterized as temperate climate with 370 mm annual precipitation. The experiment was arranged in a split plot based on randomized complete block design with four replications. The main plots consisted of 6 pre-sowing plant treatments (control, Perko PVH, Buko, Clover and Oilseed radish and combination of three plants Ramtil, Phaselia andclover), and sub plots covered four N fertilizer rates including no fertilizer N (Control), 50% lower than recommended N rate, recommended N rate and 50% more than recommended N rate. Winter wheat (cv. Pishtaz) was sown on mid-November with the row spacing of 15 cm and a seeding rate of 200 kg ha^{-1}. Soil samples were collected after harvest of each crop from 0 to 30 cm and 31 to 60 cm soil depths using a soil auger. Wheat grain yield (according to 14% moisture) obtained by harvesting the central area of 3 in 10 m in each plot. Yield components were determined from two randomly selected areas ($2m^2$) within each plot. Plant samples collected at harvest were separated into grain and straw and oven-dried at 60˚C for 72hr. Biomass and grain sub samples analyzed for total N content using a micro-Kjeldahl digestion with sulfuric acid. The terminology of N efficiency parameters was considered according to Delogu et al, (11) and Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, (22), Rahimizadeh et al. (30), Limon-Ortega et al. (20) methods.

Results and Discussion

The results showed that there were highly significant differences ($P \leq 0.01$) in forage yield. There were also significant differences ($P \leq 0.05$) in total dry weight, protein content and protein yield between treatments. Perko varieties produced higher fresh and dry matter yield with 69,586 (kg ha^{-1}) and 7147 (kg ha^{-1}), respectively compared to other varieties. Buko varieties showed greater protein percentage with 23.36 compared to the rest of the varieties. The highest and lowest grain yield, with 8345, and 4491 (kg ha^{-1}) were obtained for Buko; wheat rotation and fallow, wheat rotation, respectively. The highest and lowest nitrogen uptake was obtained for Buko; wheat and clover, wheat rotation, respectively. The differences between the rotations were significant for various agronomic nitrogen efficiency. The rotation of oilseed radish and wheat showed greater nitrogen economic

1- PhD. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
5- Assistance Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran
(*- Corresponding Author Email: ali.kashani@kiau.ac.ir)

performance with 36.20 kg ha^{-1}. By increasing nitrogen rate agronomic performance decreased with the exception in fallow- wheat. Physiological efficiency of nitrogen in fallow-wheat rotation was more than 39 (kg kg^{-1}) of nitrogen. The maximum efficiency of nitrogen recovery was obtained for oilseed radish: wheat and Perko PVH; wheat rotations with 45% and 36%, respectively. The highest nitrogen harvest index was observed in Buko; wheat rotation: (86.5%), and Perko: wheat (85%) and the lowest nitrogen harvest index was in fallow; wheat (79.28%).

Conclusions

The results showed that Perko; wheat and Buko; wheat rotations due to the higher economic performance in the region were appropriate rotations and were recommended for the study area.

Keywords: Harvest index nitrogen, Nitrogen recovery efficiency, Nitrogen uptake efficiency, Pre-sowing