نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۱، ص. ۳۳۴-۳۲۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 2, Summer. 2012, p. 327-334

ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه و ذرت

علیرضا کوچکی[۱]- زینت برومند رضازاده[۲] - مهدی نصیری محلاتی[۳]- سرور خرم‌دل[۴*]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۶/۲۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه و ذرت، آزمایشی در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت از چهار نوع کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت به صورت سه ردیف گندم + یک ردیف ذرت (۱:۳)، سه ردیف گندم + دو ردیف ذرت (۲:۳)، چهار ردیف گندم + دو ردیف ذرت (۲:۴) و شش ردیف گندم + دو ردیف ذرت (۲:۶) و کشت خالص گندم و ذرت بود. نتایج نشان داد که کشت مخلوط تأخیری تأثیر معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۵$) بر میزان نیتروژن جذب شده، جذب نسبی و کارایی جذب و مصرف نیتروژن گندم و ذرت داشت. بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن برای گندم و ذرت به ترتیب در کشت مخلوط سه ردیف گندم+دو ردیف ذرت (۳۳/۷۰ و ۳۶/۵۰ کیلوگرم نیتروژن اندام گیاهی به ازای کیلوگرم نیتروژن خاک) و کشت خالص (۱۴/۷۳ و ۱۹/۳۷ کیلوگرم نیتروژن اندام گیاهی به ازای کیلوگرم نیتروژن خاک) مشاهده شد. دامنه جذب نسبی نیتروژن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری برای گندم بین ۱/۴۷-۱/۰۸ و برای ذرت بین ۰/۵۴-۰/۴۱ بود. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد دانه برای گندم و ذرت به ترتیب ۸۸/۶۲ و ۱۴۷/۳۳ کیلوگرم نیتروژن دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن اندام گیاه بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که کشت مخلوط تأخیری گندم با ذرت موجب افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری جذب، جذب نسبی نیتروژن، نسبت برابری زمین

مقدمه

نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف و موثر در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. نتایج برخی از بررسی‌ها نشان داده است که افزایش تولیدات کشاورزی در طی ۵۰ سال گذشته بیشتر بدلیل مصرف انواع کودهای نیتروژن‌دار بوده است (۲۰). استیسی و همکاران (۳۱) میزان ذخیره نیتروژن موجود در کره زمین را حدود $۱/۶۹\times۱۰^{۱۷}$ تن تخمین زده‌اند، با این وجود از آنجایی که گیاهان قادرند تنها اشکال خاصی (نیترات و آمونیوم) از این عنصر را مورد استفاده قرار دهند، بنابراین نیتروژن به عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر محدودکننده رشد گیاهان بشمار می‌آید. بهمین منظور، کمبود این عنصر در اکثر بوم نظام‌های زراعی از طریق مصرف انواع مختلفی از کودهای شیمیایی جبران می‌شود.

با وجود مزایای بی‌شمار کودهای نیتروژن‌دار در افزایش رشد، تولید و عملکرد گیاهان زراعی، مصرف بیش از حد آنها از طریق آبشویی و فرسایش، می‌تواند موجب افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی و افزایش هزینه‌ها گردد. بنابراین، مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه علاوه بر کاهش آلودگی‌های نیتراتی و حفظ تنوع زیستی با اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه عناصر غذایی، هزینه‌ها را به حداقل می‌رساند و کارآیی مصرف نهاده‌ها را افزایش می‌دهد (۱۰، ۱۲ و ۱۶).

کارآیی مصرف نیتروژن (NUE)[۵]، عبارت از میزان تولید به ازای نیتروژن قابل دسترس در خاک است که دو جزء عمده کارآیی جذب[۶] و بهره‌وری نیتروژن[۷] را شامل می‌شود. کارآیی جذب نیتروژن، مقدار نیتروژن جذب شده به ازای ذخیره اولیه این عنصر در خاک است و بهره‌وری، میزان تولید دانه به ازای نیتروژن اندام‌های گیاه در مرحله رسیدگی است (۲۴). کارآیی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده میزان قابل مصرف نیتروژن از کل میزان نیتروژن موجود در خاک است. به عبارت دیگر، گیاه از میزان نیتروژن قابل دسترس در خاک، چه میزانی از آن را جذب می‌کند و این میزان را با چه راندمانی برای تولید محصول

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب استاد، دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استاد و استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: khorramdel@um.ac.ir)

5 -Nitrogen Use Efficiency (NUE)
6 - Nitrogen Absorption Efficiency (NAE)
7 - Nitrogen Productivity= Nitrogen Utilization

اقتصادی (نظیر دانه) مصرف می‌کند (۱۸،۲۲،۲۹ و ۳۰). به اعتقاد بروسارد و همکاران (۵)، کارایی مصرف نیتروژن عبارت از تولید خالص اولیه به ازای میزان نیتروژن جذب شده است. تی‌تونل و همکاران (۳۰) کارآیی تبدیل[1] یا بهره‌وری را کیلوگرم ماده خشک تولید شده به ازای کیلوگرم عنصر جذب شده تعریف کرده‌اند. آن‌ها همچنین بیان داشتند که این شاخص معکوس میزان غلظت عنصر در اندام‌های مختلف گیاهی است. راتکه و همکاران (۲۷) نیز بهره‌وری نیتروژن را نسبت عملکرد دانه بر مقدار کل نیتروژن جذب شده گزارش کرده‌اند. کارایی جهانی مصرف نیتروژن در تولید غلات در حدود ۳۳ درصد است، در نتیجه ۶۷ درصد عدم کارآیی این عنصر، موجب اتلاف ۱۵/۹ میلیارد دلار می‌گردد (۱۴ و ۲۸). کارایی مصرف نیتروژن در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته به ترتیب ۲۹ و ۴۲ درصد گزارش شده است (۲۸). برخی از نتایج (۲۸) نیز نشان داده است که اتلاف نیتروژن در نظام‌های تولید غلات بین ۵۰-۲۰ درصد است.

بدین ترتیب، با در نظر گرفتن آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از ورود نیتروژن اضافی به آب‌های زیرزمینی و سایر منابع طبیعی و در نتیجه بر هم خوردن تعادل آنها، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم نظام‌های زراعی یک امر بسیار ضروری است. از جمله عوامل مدیریتی موثر در افزایش کارایی مصرف این عنصر پرمصرف در نظام‌های زراعی می‌توان به مواردی نظیر بهره‌گیری از انواع سیستم‌های کشت مخلوط، تناوب، روش، زمان و میزان مصرف کودهای نیتروژن‌دار اشاره کرد (۴، ۱۲ و ۱۸).

کشت مخلوط، کشت بیش از یک گیاه زراعی در یک زمین و در یک سال زراعی می‌باشد، بطوریکه یک گیاه حداقل در بخشی از دوره رویش خود در مجاورت گیاه دیگر قرار گیرد. اهداف متنوعی برای کشت مخلوط قابل ذکر است که عمده‌ترین آنها عبارت از استفاده بهتر از عوامل محیطی و افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها از جمله نور و عناصر غذایی (۱۹)، افزایش کیفیّت و کمیّت محصول، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی (۲ و ۲۳)، کاهش مصرف سموم و آفت کش‌های شیمیایی (۸) و در نهایت ایجاد تنوع و ثبات در بوم نظام‌های زراعی (۳) است. گراهام و وانس (۱۳) گزارش کردند که بهره‌گیری از سیستم‌های کشت مخلوط به افزایش جذب و بهبود کارایی مصرف نیتروژن منجر می‌شود. نتایج دیگر مطالعات (۱۴، ۳۳ و ۳۷) نشان داده است که نظام‌های کشت مخلوط در مقایسه با نظام‌های تک کشتی عناصر غذایی را با کارایی بیشتری مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند. دلیل آن، بیشتر به افزایش بازیافت نیتروژن[2] و تولید ماده خشک مربوط می‌شود. بعضی دیگر از محققان (۱۲ و ۱۹) مزیت کشت مخلوط را در مقایسه با تک کشتی به تنوع بالاتر و به تبع آن کارایی بهتر در استفاده از منابع محیطی نسبت می‌دهند. برابر برخی از بررسی‌ها (۳ و ۳۶)، سیستم کشت مخلوط زمانی سودمند خواهد بود که منابع محیطی مورد نیاز گونه‌ها بطور مناسبی در مکان و زمان متفاوت توزیع شده باشد. یکی از انواع روش‌های افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها عبارت از کشت مخلوط به صورت تأخیری است. بنابراین بنظر می‌رسد که بهره‌گیری از این نظام مخلوط به دلیل رشد دو گونه در دو زمان تا حدودی متفاوت می‌تواند موجب افزایش بهتر کارایی جذب و مصرف نهاده‌ها شود.

بنابراین، هدف از اجرای این آزمایش محاسبه کارایی جذب و مصرف نیتروژن و مقایسه نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری گندم – ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

بمنظور ارزیابی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری گندم-ذرت از بُعد اقتصاد نیتروژن، آزمایشی در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ´۲۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۵ °۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. بافت خاک محل آزمایش لومی بود. زمین آزمایش در سال قبل از شروع آزمایش به صورت آیش بود که با انجام عملیات شخم و دیسک در پاییز آماده شد.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت از چهار نوع کشت مخلوط نواری تأخیری ذرت و گندم به صورت سه ردیف گندم+ یک ردیف ذرت (۱:۳)، سه ردیف گندم+ دو ردیف ذرت (۲:۳)، چهار ردیف گندم+ دو ردیف ذرت (۲:۴) و شش ردیف گندم+ دو ردیف ذرت (۲:۶) و کشت خالص گندم و ذرت بود.

کاشت گندم رقم کاسکوژن در نیمه مهر ماه سال ۱۳۸۷ بر روی نوارهای مربوطه با تراکم یکسان (معادل ۴۰۰ بوته در متر مربع) با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در کلیه تیمارهای خالص و مخلوط انجام شد. کود مورد نیاز گندم بر اساس آزمایش خاک به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر محاسبه شد. تمامی کود فسفر (به صورت فسفات آمونیوم) و ۳۰ درصد از کود نیتروژن‌دار (به صورت اوره) همزمان با کاشت و باقیمانده آن به صورت سرک و در دو مرحله استفاده گردید. آبیاری و سایر عملیات زراعی در دوره داشت منطبق بر نیازهای گونه و عرف منطقه و بطور یکسان در تمام تیمارها انجام شد. همچنین بمنظور جلوگیری از تأثیر علفهای هرز بر اقتصاد نیتروژن، کنترل علفهای هرز از طریق وجین‌دستی انجام گرفت.

1- Nutrient Conversion Efficiency
2- Nitrogen-Recovery

سپس در مرحله گلدهی گندم، به عبارت دیگر در نیمه اردیبهشت، ذرت در نوارهای مشخص شده بین ردیف‌های گندم و همچنین در کرت‌های مربوط به کشت خالص با فاصله ۲۰ سانتیمتر روی ردیف کاشته شد. پس از برداشت گندم، آبیاری، توزیع کود سرک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و سایر عملیات داشت بطور یکسان در تمام تیمارها انجام شد. بوته‌های ذرت در حدود یک هفته پس از کاشت روی ردیف‌ها استقرار یافتند. در نهایت محصول ذرت در ۱۹ مهرماه ۸۸ برداشت شد.

بمنظور تعیین درصد نیتروژن اندام‌های هوایی و محاسبه کارایی جذب و مصرف نیتروژن، ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب و پس از هضم با اسید سولفوریک و کاتالیزور، مقدار نیتروژن موجود در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (۲۶) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه کارایی جذب و مصرف نیتروژن به ترتیب از معادلات ۱ و ۲ استفاده شد (۳۹ ، ۴۰ و ۴۱).

$$NAE= N_{DM} /N_{initial} \quad \text{(کارآیی جذب نیتروژن)} \qquad (۱)$$

$$NAE= Y /N_{initial} \quad \text{(کارآیی مصرف نیتروژن)} \qquad (۲)$$

در این معادلات، N_{DM}: میزان نیتروژن موجود در اندام‌های گیاه (کیلوگرم در هکتار)، N initial: میزان نیتروژن موجود در خاک در ابتدای کاشت (کیلوگرم در هکتار) و Y: عملکرد دانه یا عملکرد بیولوژیک گیاه (کیلوگرم در هکتار) است. بهره‌وری نیتروژن نیز از حاصلضرب کارایی جذب در کارایی مصرف محاسبه شد.

برای ارزیابی کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت در مقایسه با کشت خالص، نسبت برابری زمین برای کارایی جذب نیتروژن[1] (LER_{NAE}) بر اساس مجموع میزان جذب نسبی طبق معادله (۳) محاسبه گردید (۱۲).

$$LER_{NAE}= \sum \frac{Ypi}{Ymi} \qquad (۳)$$

در این رابطه *Ypi*: میزان نیتروژن جذب شده توسط هر گونه در کشت مخلوط و *Ymi*: میزان نیتروژن جذب شده همان گونه در کشت خالص بود.

لازم به ذکر است که بمنظور تعیین این شاخص‌ها از داده‌های میزان تجمع ماده خشک و عملکرد دانه در مقاله نصیری محلاتی و همکاران (۱) استفاده شد.

برای تجزیه آماری داده‌ها و رسم نمودارها، به ترتیب از نرم‌افزارهای MINITAB–ver 13 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و بر اساس آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت بر میزان نیتروژن جذب شده و کارایی جذب نیتروژن

انواع کشت‌های مخلوط تأخیری گندم و ذرت تأثیر معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۵$) بر میزان نیتروژن جذب شده، جذب نسبی و کارایی جذب نیتروژن دو گونه داشت. بیشترین و کمترین میزان نیتروژن جذب شده در گندم به ترتیب در مخلوط سه ردیف گندم + دو ردیف ذرت (۱۴۸/۵۶ کیلوگرم در هکتار) و کشت خالص (۱۰۱/۷۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. بالاترین میزان نیتروژن جذب شده برای ذرت در کشت خالص (۹۲/۹۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در کشت مخلوط شش ردیف گندم + دو ردیف ذرت (۳۸/۱۱ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۱).

چنین بنظر می‌رسد که افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن جذب شده برای ذرت در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط تأخیری به دلیل بالا بودن رقابت و همچنین سایه‌اندازی شدید گندم ($LAI>۳$) در مرحله اولیه رشد ذرت بوده است (۱). تأثیر رقابت برون گونه‌ای بر میزان جذب عناصر توسط برخی از محققان نیز مورد تأکید قرار گرفته است. در همین راستا، زومیگالسکی و وان– ایکر (۳۲) بیان داشتند که میزان جذب نیتروژن در کشت مخلوط گندم– کلزا– نخود و کلزا– نخود بالاتر از کشت خالص هر یک از اجزاء بود. همچنین با مقایسه میزان نیتروژن جذب شده توسط گندم و ذرت مشاهده می‌شود که میزان نیتروژن جذب شده در گندم بالاتر از ذرت بود (جدول ۱). نتایج برخی از تحقیقات (۲۱) نیز بالاتر بودن محتوی نیتروژن در اندام‌های گونه‌های سه کربنه را در مقایسه با گیاهان چهار کربنه نشان داده است.

دامنه جذب نسبی نیتروژن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری برای گندم بین ۱/۴۷–۱/۰۸ و برای ذرت بین ۰/۵۴–۰/۴۱ قرار داشت (جدول ۱). همانگونه که ملاحظه می‌شود جذب نسبی نیتروژن برای گندم در مخلوط تأخیری بالاتر از ذرت بود. ژانگ و لی (۴۳) با مقایسه سیستم‌های مختلف کشت مخلوط ذرت/گندم، گندم/سویا، باقلا/ذرت و بادام زمینی/ذرت دریافتند که کشت مخلوط، عملکرد و محتوی کل عناصر غذایی را در گیاهان تحت تأثیر قرار داد. نامبردگان اظهار داشتند که محتوای کل عناصر غذایی در الگوهای مخلوط به طور معنی‌داری بالاتر از خالص بود.

بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن برای گندم و ذرت به ترتیب در کشت مخلوط سه ردیف گندم+دو ردیف ذرت (۳۳/۷۰ و ۳۶/۵ کیلوگرم نیتروژن اندام گیاهی به ازای کیلوگرم نیتروژن خاک) و کشت خالص (۱۴/۷ و ۱۹/۴ کیلوگرم نیتروژن اندام گیاهی به ازای کیلوگرم نیتروژن خاک) مشاهده شد (جدول ۱).

1-Nitrogen Absorption Efficiency (NAE)

جدول ۱- میزان نیتروژن جذب شده، جذب نسبی و کارایی جذب نیتروژن برای گندم و ذرت در کشت خالص و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری

نسبت‌های مخلوط	گندم			ذرت		
	میزان نیتروژن جذب شده (کیلوگرم در هکتار)	جذب نسبی نیتروژن [۱]	کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم N اندام گیاهی به کیلوگرم N خاک)	میزان نیتروژن جذب شده (کیلوگرم در هکتار)	جذب نسبی نیتروژن	کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم N اندام گیاهی به کیلوگرم N خاک)
مخلوط ۱: ۳	۱۲۸/۰۲b*	۱/۲۷bc	۳۲/۹۱a	۴۳/۵۲b	۰/۴۸b	۳۴/۹۰a
مخلوط ۲: ۳	۱۴۸/۵۶a	۱/۴۷a	۳۳/۷۰a	۵۰/۴۱b	۰/۵۴a	۳۶/۵۰a
مخلوط ۲: ۴	۱۲۵/۰۹bc	۱/۴b	۲۰/۱۷b	۴۱/۷۸b	۰/۴۶bc	۳۲/۲۴a
مخلوط ۲: ۶	۱۱۰/۱۲cd	۱/۰۸cd	۱۹/۴۶b	۳۸/۱۱b	۰/۴۱c	۳۴/۱۹a
کشت خالص	۱۰۱/۷۰d	۱/۰۰d	۱۴/۷۳b	۹۲/۹۴a	۱/۰۰a	۱۹/۳۷b

۱. میزان جذب نسبی هر گونه برابر با میزان نیتروژن جذب شده در کشت مخلوط به میزان نیتروژن جذب شده در کشت خالص است.

* – میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

این نتایج نشان می‌دهد که کشت مخلوط گندم و ذرت شرایطی را ایجاد کرده است که میزان نیتروژن اضافه شده به خاک به نحو مطلوب‌تری توسط گونه‌ها جذب و در نتیجه موجب افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروزن هر دو گونه در کشت مخلوط تأخیری در مقایسه با کشت خالص شده است. نتایج ارایه شده توسط بسیاری از محققان نیز حاکی از بهبود کارایی جذب نیتروژن در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (۷، ۱۷ و ۳۴). تویزی و همکاران (۳۴) نشان دادند که آبشویی نیتروژن در کشت مخلوط گندم و فستوک قرمز بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به کشت خالص گندم کاهش یافت که این امر علاوه بر افزایش کارایی جذب نیتروژن برای گندم از آلودگی‌های نیتراتی نیز جلوگیری می‌کند.

همچنین همانگونه که ملاحظه می‌شود کارایی جذب نیتروژن برای ذرت بالاتر از گندم بود (جدول ۱). نتایج بررسی‌های مختلف، بالاتر بودن کارایی جذب گیاهان چهار کربنه را نسبت به گیاهان سه کربنه تأیید کرده است (۶).

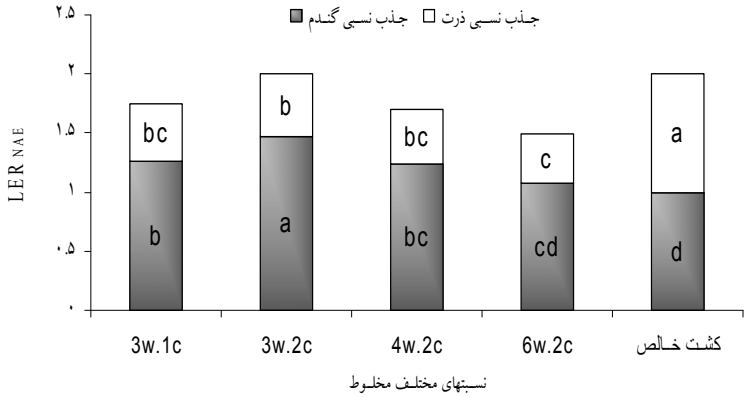
نسبت برابری زمین برای کارایی جذب نیتروژن (LER_{NAE}) در تمام کشت‌های مخلوط تأخیری گندم و ذرت بزرگتر از یک بود و بین ۲/۰۰–۱/۴۹ قرار داشت (شکل ۱). این امر نشان می‌دهد که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت در مقایسه با کشت خالص دو گونه در حدود ۱۰۰–۴۹ درصد کارایی جذب نیتروژن را در مقایسه با کشت خالص افزایش داده است. همچنین همانگونه که ملاحظه می‌شود افزایش LER_{NAE} بیشتر از بهبود جذب نسبی گندم بوده است. ژانگ و همکاران (۴۰) افزایش نسبت برابری زمین در مخلوط تأخیری گندم– پنبه را بیشتر از بهبود عملکرد نسبی گندم دانستند و نشان دادند که با افزایش عرض نوارهای گندم نسبت به نوارهای باریک‌تر، نسبت برابری زمین افزایش یافت. نتایج دیگر تحقیقات (۱۵، ۲۵ و ۳۲) نیز بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و از جمله نیتروژن را در مقایسه با کشت خالص نشان داده است.

دوره رشد کند اولیه ذرت در شرایط مخلوط در دوره پرشدن دانه‌های گندم بود و در نتیجه بلافاصله پس از برداشت گندم مرحله رشد خطی ذرت آغاز گردید. چنین بنظر می‌رسد که سایه‌اندازی گندم بر سطح خاک مانع حضور علف‌های هرز شده و به تبع آن موجب جلوگیری از اتلاف منابع بویژه نور و نیتروژن و افزایش تولید ماده خشک و جذب نسبی نیتروژن در شرایط کشت مخلوط شده است. برتری کشت‌های مخلوط در استفاده بهتر از منابع توسط بسیاری از محققان اثبات شده است. در همین راستا نتایج بررسی‌های انجام شده بر کشت مخلوط تأخیری گندم – پنبه نشان داده است که افزایش تولید ماده خشک عمدتاً ناشی از جذب بهتر نیتروژن و نور بوده است (۳۹ و ۴۰).

تأثیر کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت بر کارایی مصرف نیتروژن

با گذشت زمان، کارایی مصرف نیتروژن گندم و ذرت کاهش یافت (شکل ۲)، چنین بنظر می‌رسد که با توجه به روند افزایشی تولید ماده خشک در طول فصل رشد و ثابت بودن میزان نیتروژن جذب شده، کاهش کارایی مصرف نیتروژن به دلیل رقیق سازی نیتروژن[۱] در اندام‌های گیاه بوده است. نتایج تحقیقات مختلف (۱۱،۹) نیز این مطلب را نشان داده است.

1-Nitrogen Dilution



شکل ۱- نسبت برابری زمین برای کارایی جذب نیتروژن (LER_{NAE}) گندم (W) و ذرت (C) در کشت خالص و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر گونه، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

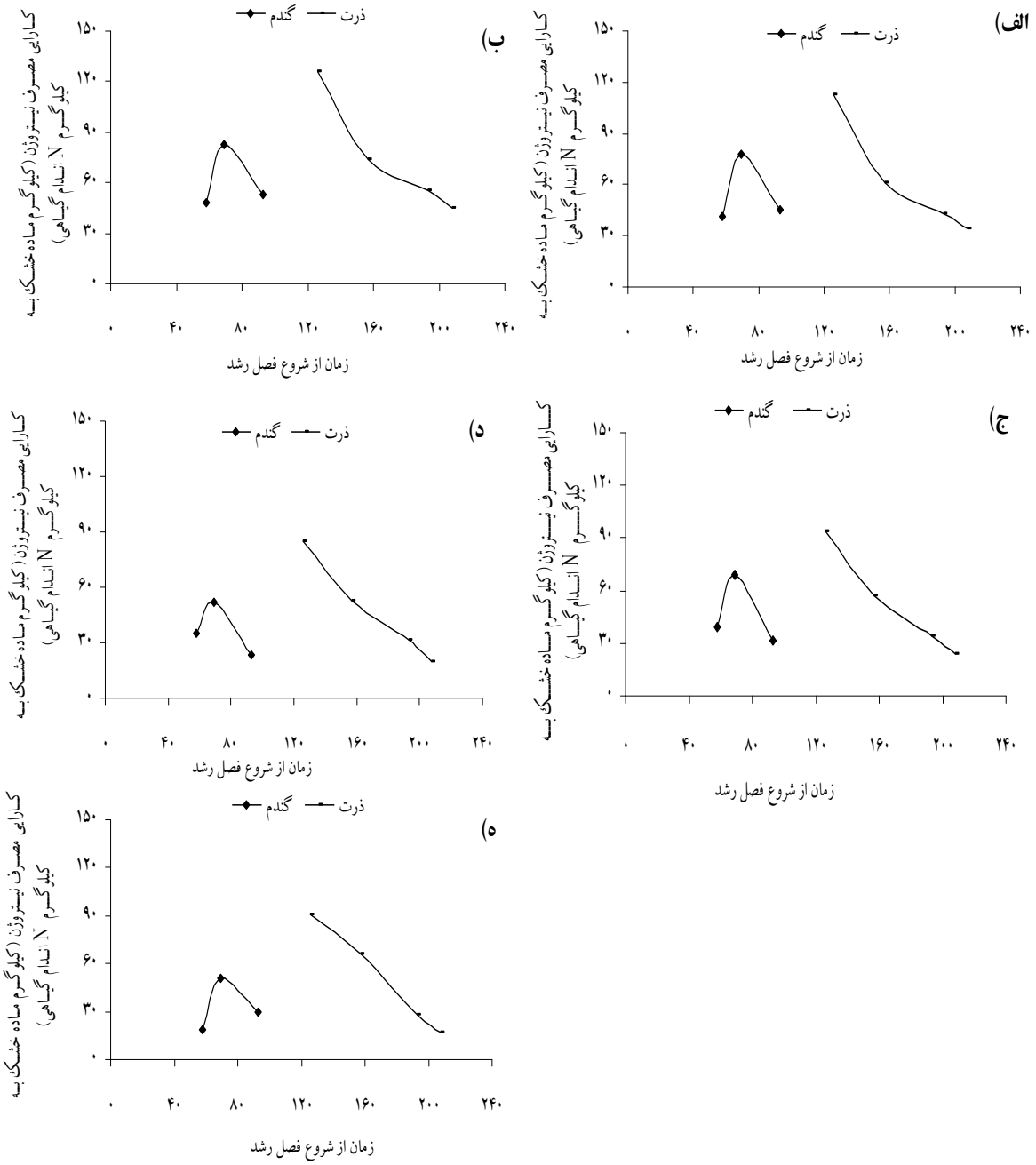
همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است با وجودیکه روند کارایی مصرف نیتروژن در کشت‌های مخلوط و خالص گندم و ذرت مشابه بود ولی کارایی مصرف هر دو گونه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بالاتر از خالص بود و بیشترین کارایی مصرف نیتروژن برای هر دو گونه در نسبت مخلوط سه ردیف گندم+ دو ردیف ذرت مشاهده شد.

با اینکه میزان ماده خشک تولید شده برای گندم و ذرت در کشت خالص بطور معنی‌داری بیشتر از مخلوط‌های تأخیری بود (۱)، ولی کارایی مصرف نیتروژن برای گندم و ذرت در تمام کشت‌های مخلوط بجز شش ردیف گندم+دو ردیف ذرت به طور معنی‌داری بالاتر از کشت خالص بود. بطوریکه در کشت مخلوط با نسبت سه ردیف گندم+دو ردیف ذرت بیشترین کارایی مصرف نیتروژن بر اساس ماده خشک کل برای گندم و ذرت به ترتیب با ۹۸/۵۷ و ۱۲۶/۰۶ کیلوگرم نیتروژن ماده خشک به ازای کیلوگرم نیتروژن بافت گیاهی مشاهده شد. همچنین کارایی مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد دانه برای گندم و ذرت، به ترتیب در محدوده ۸۸/۶۲-۴۹/۴۸ و ۱۴۷/۳۳-۸۶/۴۲ کیلوگرم نیتروژن دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن اندام گیاه بود (جدول ۲).

جدول ۲- میزان کارایی مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و ماده خشک کل گندم و ذرت در کشت خالص و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری

نسبت‌های مخلوط	گندم			ذرت		
	کارایی مصرف نیتروژن برای ماده خشک کل (کیلوگرم ماده خشک به ازای کیلوگرم N اندام گیاهی)	کارایی مصرف نیتروژن برای عملکرد دانه (کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم N اندام گیاهی)	بهره‌وری (کیلوگرم بر کیلوگرم)	کارایی مصرف نیتروژن برای ماده خشک کل (کیلوگرم ماده خشک به ازای کیلوگرم N اندام گیاهی)	کارایی مصرف نیتروژن برای عملکرد دانه (کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم N اندام گیاهی)	بهره‌وری (کیلوگرم بر کیلوگرم)
مخلوط ۳:۱	۹۶/۱۵a*	۶۴/۸۵b	۵۱/۸۱a	۱۱۳/۰۹ab	۱۲۵/۵۲b	۲۵/۶۵bc
مخلوط ۳:۲	۹۸/۵۷a	۸۸/۶۲a	۴۳/۰۶ab	۱۲۶/۰۶a	۱۴۷/۳۳a	۲۱/۱۰c
مخلوط ۴:۲	۶۹/۰۹b	۵۷/۸۰bc	۳۵/۳۰bc	۹۴/۱۲bc	۱۰۳/۶۵c	۳۱/۶۸ab
مخلوط۶:۲	۵۲/۲۱b	۴۹/۴۸c	۳۹/۵۱abc	۸۵/۱۳c	۸۶/۴۲d	۳۹/۵۲a
کشت خالص	۶۳/۹۱b	۵۱/۴۳c	۲۸/۶۳c	۹۰/۷۴c	۱۱۳/۹۰bc	۱۷/۰۹c

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.



شکل ۲- روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن گندم و ذرت در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری (الف) ۳W:1C، (ب) ۳W:2C، (ج) ٤W:2C و (د) ٦W:2C و (ه)کشت خالص هر گونه بر اساس میزان تجمع ماده خشک

زومیگالسکی و وان- ایکر (۳۲) بیان داشتند که کشت مخلوط گندم- کلزا- نخود در مقایسه با کشت خالص کارایی مصرف عناصر غذایی و بویژه نیتروژن را به میزان زیادی بهبود بخشید. افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و از جمله نیتروژن در کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی ممکن است از این طریق قابل توصیف باشد که دو گونه در شرایط مخلوط، در مکان و یا در زمان یکسان برای جذب منابع غذایی رقابت نمی‌کنند. بنابراین ساختار ریشه و فنولوژی گونه-های همراه به ایجادحالت تکمیل کنندگی در تسخیر منابع منجر شده

و این امر در نهایت موجب افزایش کارایی مصرف منابع در کشت مخلوط می‌گردد (۳۵،۱۵). نتایج ارایه شده توسط بسیاری از محققان نیز حاکی از بهبود کارایی مصرف نیتروژن در کشت‌های مخلوط است. در همین راستا، کوره هللو و همکاران (۷) با استفاده از مدل شبیه-سازی نشان دادند که کارایی مصرف نیتروژن در مخلوط جو- نخود نسبت به کشت خالص این گونه‌ها بهبود یافت. البته میزان افزایش کارایی مصرف نیتروژن به شدت رقابت بین گونه‌ها بستگی داشت. تأثیر رقابت برون گونه‌ای بر کارایی مصرف عناصر در کشت مخلوط توسط سایر محققان نیز مورد تأکید قرار گرفته است. لی و همکاران (۲۱) با بررسی کشت مخلوط تأخیری گندم- ذرت و گندم- سویا نشان دادند که کارایی مصرف نیتروژن در در بوته‌های ذرت و سویا قبل از برداشت گندم به دلیل سایه‌اندازی شدید گندم بطور چشمگیری کمتر از کشت‌های خالص این دو گونه بود، در حالیکه پس از برداشت گندم کارایی مصرف نیتروژن برای گونه‌های باقیمانده در مخلوط بطور معنی‌داری بهبود یافت و بین ۴۰-۳۰ درصد نسبت به کشت‌های خالص افزایش یافت. این محققان با اندازه‌گیری کارایی مصرف نیتروژن در ردیف‌های مختلف نوارهای کشت نشان دادند که شدت افزایش کارایی مصرف نیتروژن در ردیف‌های ذرت و سویای مجاور یعنی در منطقه حداکثر رقابت، بیشتر از ردیف‌های دورتر بود. بر این اساس، به نظر می‌رسد که افزایش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن ذرت در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری با گندم نسبت به کشت خالص نیز به دلیل رقابت و سایه‌اندازی شدید گندم در مرحله اولیه رشد ذرت و حذف ناگهانی این رقابت پس از برداشت گندم بوده است.

با توجه به خصوصیات مسیر فتوسنتزی گونه‌های چهار کربنه کارایی مصرف نیتروژن در این گونه‌ها بالاتر از گیاهان سه کربنه است (۶). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن ذرت بعنوان یک گیاه چهار کربنه بالاتر از گندم بود (جدول ۲).

بیشترین بهره‌وری نیتروژن برای گندم و ذرت به ترتیب در کشت مخلوط سه ردیف گندم+دو ردیف ذرت (۵۱/۸۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) و شش ردیف گندم+دو ردیف ذرت (۳۹/۵۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۲). کمترین بهره‌وری نیتروژن نیز برای هر دو گونه در کشت خالص بدست آمد. بنابراین کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت به افزایش بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کشت خالص منجر شد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۵۳.پ مورخ ۱۳۸۹/۲/۲۵ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱- نصیری محلاتی، م.، ع. کوچکی و م. جهان. ۱۳۸۹. کارآیی جذب و مصرف نور در کشت مخلوط تاخیری و کشت متوالی گندم زمستانه و ذرت. مجله پژوهشهای زراعی ایران.

2- Aggarwell, P.K., D.P. Garrity, S.P. Liboon, and R.A. Morris. 1992. Resource use and interactions in a rice-mungbean Intercrop. Agronomy Journal, 84:71-78.

3- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 74:19-31.

4- Bock, R.H. 1984. Efficient water use of nitrogen in cropping system. Pp. 273-294. In: "Hauck, R.D. (ed.). Nitrogen in Crop Production. ASA, CSSA, SSSA". Madison, Wiscansin, USA.

5- Brussaard, L., P.C. De Ruiter, and G.G. Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121: 233 – 244.

6- Cassman, K.G., A. Dobermann, and D.T. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. Ambio, 31(2): 132-140.

7- Corre-Hellou, G., M., Faure, M., Launay, N., Brisson, and Y. Crozat. 2009. Adaptation of the STIC Sintercrop model to simulate crop growth and N accumulation in pea/barley intercrops. Field Crops Research, 113: 72-81.

8- De Bach, P. 1974. Biological Control by Natural Enemies. Cambridge University Press, UK.

9- Demotes-Mainard, S., and M. Jeuffroy. 2004. Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat. Field Crops Research, 87(2-3): 221-233.

10- Dobermann, A. 2005. Nitrogen use efficiency-state of the art. IFA International workshop on enhanced-efficiency fertilizers Frankfurt, Germany.

11- Eskandari, H., A. Ghanbari, and A. Javanmard. 2009. Intercropping of cereals and legumes for forage production. Notulae Scientia Biologicae, 1(1): 07-13.

12- Gliessman, S.R. 1997. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Arbor Press. 357 pp.

13- Graham, P.H., and Vance, C.P. 2000. Nitrogen fixation in perspective: a over view of research and extension needs. Field Crop Research, 65: 23-106.

14- Hauggaard-Nielsen, H., P. Ambus, and E.S. Jensen. 2001. Interspecific competition, N use and interference with

weeds in pea barley intercropping. Field Crops Research, 70: 101-109.
15- Hauggaard-Nielsen, H. and Jensen, E.S. 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarily in intercropping at different levels of soil N availability. Field Crops Research, 72: 185-196.
16- Heichel, G.H., and D.K. Barnes. 1984. Opportunities for meeting crop nitrogen needs from symbiotic nitrogen fixation. p. 49-59. In: "D.A. Bezdicek (ed.) Organic farming: Current technology and its role in a sustainable agriculture". Spec. Pub. 46. American Society of Agronomy, Madison, WI.
17- Hiremath, A.J., and J.J. Ewel. 2001. Ecosystem nutrient use efficiency, productivity and nutrient accrual in model tropical communities. Ecosystems, 4: 669-682.
18- Huggins, D.R., and Pan, W.L. 1993. Nitrogen use efficiency components analysis: an evaluating of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal, 85: 898-905.
19- Hulugalle, N.R., and Lal, R. 1986. Soil water balance of intercropped maize and cowpea grown in tropical hydromophic soil Western Nigeria. Agronomy Journal, 74: 86-90.
20- Laegreid, M., O.C. Bockman, and O. Kaarstad., 1999. Agriculture, Fertilizers and the Environment. CABI Publishing.
21- Li, L., Sun, J., F. Zhang, X., Li, S. Yang, and Z. Rengel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: 1. yield advantage and interspecific interactions on nutrient. Field Crops Research, 71(2): 123-137.
22- Limon-Ortega, A., K.D., Sayre, and C.A. Francis. 2000. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in northwest Mexico. Agronomy Journal, 92: 303-308.
23- Mandal, B.K., R.K. Ghsh, N.C. Das, and A.K.S. Choudhury. 1987. Studies on cotton based multiple cropping. Experimental Agriculture, 23: 443-449.
24- Moles, D.J., S.S. Rangai, R.M. Bourke, and C.T. Kasamani. 1984. Fertilizer Responses of Taro in Papua New Guinea. In: "Edible Aroids. Chandra, S. (Ed.)". Clarendon Press, Oxford, pp. 64-71.
25- Ofsu-Budu, K.G., K., Noumura, and K.J. Fujita. 1995. N_2 fixation, N transfer and biomass production of soybean cv. Bragg or its supernodulating nts 1007 and sorghum mixed-cropping at two rates of N fertilizer. Soil Biology and Biochemistry, 27(3): 311-317.
26- Ogg, C.L. 1960. Determination of nitrogen by the micro-Kjeldahl method. Journal of the Association of official Analytical Chemists, 43: 689-693.
27- Rathke, G.W., T. Behrens, and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Agriculture, Ecosystems and Environment, 117: 80–108.
28- Raun, W.R. and Johnson, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production: a review. Agronomy Journal, 91: 357-363.
29- Sorgona, A., M.R. Abenavoli, P.G. Gringeri, and G. Cacco. 2006. A comparison of nitrogen use efficiency definitions in citrus rootstocks. Scientia Horticulturae, 109: 389-393.
30- Sowers, K.E., W.L., Pan, B.C., Miller, and J.L. Smith. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft white winter wheat. Agronomy Journal, 86: 942-948.
31- Stacey G., R.H., Burris and H.J. Evans 1992. Biological Nitrogen Fixation. Chapman and Hall, New York.
32- Szumigalski, A.R., and Van Acker, R.C. 2006. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops. Agronomy Journal, 98: 1030-1040.
33- Tittonell, P., S., Zingore, M.T., Van Wijk, M., Corbeels, and K.E. Giller. 2007. Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: exploring management strategies across soil fertility gradients. Field Crops Research, 100: 348-368.
34- Touzi, I.S., De Tourdonnet, M., Launay, and Dore, T. 2010. Does intercropping winter wheat (*Triticum aestivum*) with red fescue (Festuca rubra) as a cover crop improve agronomic and environmental performance? A modeling approach. Field Crops Research, 116: 218-229.
35- Vandermeer, J., M. Van Noordwijk, J. Anderson, C. Ong, and I. Perfecto. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues. Agriculture, Ecosystems and Environment, 67: 1-22.
36- Weil, R.R., and Mc Fodden, M.E. 1991. Fertility and weed stress effects on performance of maize- soybean intercrop. Agronomy Journal, 88: 717-721.
37- Zhang, F., and L. Li. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil, 248: 305–312.
38- Zhang, F., J., Shen, L., Li, and X. Liu. 2004. An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major intercropping systems in China. Plant and Soil, 260: 89-99.
39- Zhang, L., J.H.J. Spiertz, S. Zhang, B. Li, and W. van der Warf. 2008. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. Plant and Soil, 303: 55-68.
40- Zhang, L., W. van der Werf, L. Bastiaans, S. Zhang, B. Li, and J.H.J. Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research, 107: 29–42.
41- Zhang, L., W. van der Werf, S. Zhang, B. Li, and J.H.J. Spiertz. 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. Field Crops Research, 103: 178–188.