نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۴، ص. ۱۳-۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 1, Spring. 2015, p. 1-13

اثرسطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه

علیرضا کوچکی[1*]- مهدی نصیری محلاتی[2]- روح الله مرادی[3]- یاسر علی‌زاده[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۰۳

چکیده

جهت ازریابی عملکرد و کارایی نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کود نیتروژنه در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و الگوی کاشت نیز در ۳ سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص پنبه و کشت مخلوط یک در میان) بود. نتایج نشان داد که سطوح کودی و الگوی کاشت بر عملکرد اقتصادی و بیولوژیک، میزان جذب نیتروژن و انواع کارایی های نیتروژن در ذرت و پنبه تاثیر معنی داری دارند. در طول فصل رشد، غلظت نیتروژن در پنبه و ذرت کاهش نشان داد. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، بیوماس، غلظت و میزان جذب نیتروژن در هر دو گیاه افزایش یافت. بیشترین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک در پنبه و ذرت در بالاترین سطح کودی و کشت خالص آنها بدست آمد. در کلیه سطوح نیتروژن، نسبت برابری زمین بیشتر از یک شد و این نشان دهنده تاثیر مثبت کشت مخلوط بر عملکرد دو گیاه می باشد. کارایی زراعی استفاده از نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن در هر دو گیاه پنبه و ذرت با افزایش سطوح نیتروژن کاهش معنی داری را نشان داد. همچنین، کارایی نیتروژن در تمامی تیمارهای مورد آزمایش در ذرت بالاتر از پنبه بود. بررسی نسبت برابری زمین برای تمامی کارایی های نیتروژن نشان داد که هر دو گونه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، نیتروژن را با کارایی بالاتری جذب و مصرف می کنند. نسبت رقابتی نیتروژن نشان داد که ذرت در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ و پنبه در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، سهم بیشتری از نیتروژن را جذب می کنند.

واژه های کلیدی: الگوی کاشت، جذب، کارایی استفاده از نیتروژن، نسبت برابری زمین، نسبت رقابتی نیتروژن

مقدمه

گرایش جدید جامعه جهانی به سمت کشاورزی پایدار، در راستای پائین آوردن استفاده از نهاده های مختلف، بویژه نهاده های شیمیایی است و هدف نهایی آن دستیابی به ثبات عملکرد و کاهش اثرات سوء زیست محیطی است. یکی از این سیستم‌ها کشت مخلوط است. سامانه ای که در گذشته های دور ابداع شده و به دلیل مسایل و مشکلات کشاورزی رایج، امروزه دوباره مطرح شده است (۴۰). در کشت مخلوط، با بهره گیری از اصول طبیعی تنوع گیاهی در مزرعه و مدیریت مطلوب کنترل آفات و علف های هرز، عملکرد بیشتری نسبت به کشت خالص تولید می گردد (۲۳). بعبارت دیگر، کشت مخلوط نمودی از یک نظام پایدار کشاورزی است که اهمیت فراوانی را از نظر استفاده بهینه از تمامی منابع مانند نور، آب و عناصر غذایی خاک دارد (۳۸). کنولی و همکاران (۱۲) با بررسی مقالات انتشار یافته در طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله، پژوهش های انجام شده در مورد کشت های مخلوط را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که بخش عمده ای از این تحقیقات تنها به مقایسه عملکرد مخلوط ها با کشت های خالص پرداخته‌اند و در نتیجه سایر مزایای اکولوژیکی این نوع نظام های زراعی از نظر دور مانده است. بنظر می رسد که توجه به سایر ویژگی های کارکردی کشت های مخلوط و بهره گیری از آنها نیز می تواند راهکارهای مناسبی را برای بالابردن بهره وری منابع در مناطق خشک نظیر ایران فراهم سازد.

نیتروژن نقش اساسی در دستیابی به عملکرد بالای کمی و کیفی در محصولات زراعی ایفا می کند، در عین حال این عنصر به آسانی از داخل خاک شسته می شود و موجب آلودگی سفره های آب می گردد (۱۰). علاوه بر آن طبق برآوردهای انجام شده فقط حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد کود نیتروژنه اضافه شده به خاک از طریق محصول کشاورزی از

۱ و۲- استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
۳- استادیار دانشکده بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان و دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام و دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد

خاک خارج می شود. البته این مقدار نیز با افزایش کاربرد کود کاهش می یابد. در نتیجه، میزان باقیمانده کود در خاک افزایش می یابد و علاوه بر کاهش کارایی مصرف نیتروژن، می تواند به راحتی شسته شود و موجب آلودگی بیشتر منابع آبی گردد (۱۳). این عنصر بیش از عناصر غذایی دیگر در اکوسیستم های زراعی تلفات نشان داده است و مقدار بازیافت آن کمتر از نصف مقدار به کار رفته در سیستم زراعی است (۸). کارایی جهانی جذب نیتروژن در تولید غلات حدود ۳۳ درصد در نظر گرفته می شود و ۶۷ درصد بقیه که رقمی بالغ بر ۱۵/۹ میلیارد دلار می گردد به صورت هدر رفت نیتروژن به شکل های تصعید، فرسایش، آبشویی و ... است (۲۹).

میزان عملکرد، کیفیت مواد غذایی و خطرات محیطی در کشاورزی مدرن ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند، از این‌رو استفاده کارا از کودهای شیمیایی و بویژه نیتروژن ضروری بنظر می رسد (۳۷). بخش زیادی از افزایش عملکرد ایجاد شده در محصولات زراعی در طول نیم قرن اخیر، به استفاده از کودهای نیتروژنه مربوط می باشد. کارایی نیتروژن شامل کارایی زراعی استفاده از نیتروژن[1]، کارایی جذب (بازیافت)[2] و کارایی مصرف[3] (کارایی فیزیولوژیک) است. کارایی زراعی، حاصلضرب کارایی جذب و مصرف نیتروژن است. کارایی جذب نیتروژن، نسبت میان نیتروژن موجود در زیست توده به نیتروژن موجود در خاک است و نشان دهنده این است که از مجموع کود نیتروژنه بکار رفته، چه میزان در بیوماس محصول تجمع یافته است (۳۷). میزان فراهمی نیتروژن می تواند بر این کارایی ها تاثیر داشته باشد و از آنجاییکه کارایی مصرف نیتروژن نشان دهنده توانایی گیاه در استفاده از نیتروژن مصرفی است، بنا براین در شرایط کمبود نیتروژن کارایی جذب آن اهمیت زیادی خواد داشت (۲۱). شناخت راه های مدیریتی که موجب افزایش کارایی استفاده از نیتروژن می شود، می تواند در کاهش آلودگی های محیطی و افزایش بهره وری از آن موثر باشد (۳۵). کشت مخلوط یکی از راه هایی است که بدلیل برخورداری از سیستم ریشه ای گسترده و متفاوت، می تواند موجب کاهش آبشویی نیتروژن شود و در نتیجه کارایی استفاده از این عنصر را افزایش دهد (۲۷).

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی است از تیره گرامینه که از غلات مهم مناطق گرمسیری و معتدل جهان است و از نظر تولید جهانی بعد از گندم و برنج مقام سوم را به خود اختصاص داده است. این گیاه اهمیت زیادی را در تامین غذای دامها و پرندگان و مصارف داوریی و صنعتی دارد (۳) و با توجه به روند تغییرات اقلیمی اخیر و گرم شدن هوا، کشت و کار این گیاه بعنوان یک گیاه با مسیر فتوسنتزی C4 اهمیت بیشتری یافته است (۴).

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) نقش مهمی را در تامین غذا (روغن و پروتئین)، الیاف مورد نیاز انسان و غذای دام دارد و همواره میزان نیاز به منسوجات پنبه ای در جهان در حال افزایش است. کشت و کار پنبه در خراسان رضوی طی دهه های اخیر بدلیل برخورد پنبه با سرما در پاییز و کاهش عملکرد کاهش یافته است (۱)، ولی، با توجه به روند تغییرات اقلیمی اخیر و طولانی تر شدن فصل رشد گیاهان کشت بهاره در استان خراسان (۵)، توجه به کشت و کار این گیاه می تواند سودمند باشد و این گیاه دوباره وارد سیستم کشت این استان گردد.

برخی بررسی های انجام شده در مورد برتری عملکرد کشت‌های مخلوط نسبت به خالص نشان داده است که افزایش عملکرد ممکن است از افزایش جذب یا تسخیر منابع، افزایش کارآیی مصرف منابع و یا هر دو مورد بصورت توام ناشی گردد (۳۶). بر این اساس، هدف از این پژوهش ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط پنبه و ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد و مقایسه آن با کشت خالص این گونه ها در سطوح مختلف نیتروژن است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۹-۸۸ در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا شد. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل کود نیتروژن در چهار سطح: (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر اساس اوره) و الگوی کاشت نیز در ۳ سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص پنبه و کشت مخلوط یک در میان پنبه و ذرت) بود.

زمین محل اجرای آزمایش، در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک به صورت تصادفی از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و جهت تعیین عناصر غذایی پر مصرف و pH به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. کاشت در کرت‌های ۴×۳ متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتی متر انجام گرفت. فاصله دو بوته ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) روی ردیف ۲۰ سانتی متر و فاصله دو بوته پنبه (رقم ورامین) بر روی ردیف ۱۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در دو نوبت قبل از کاشت و ۵۰ روز بعد از کاشت به زمین اضافه شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر ۱۰ روز یکبار بصورت نشتی و مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در ۳ نوبت انجام گرفت.

1- Agronomic Nitrogen Use Efficiency
2- Nitrogen Uptake (Recovery) Efficiency
3- Nitrogen Utilization Efficiency

اندازه گیری ها

۴۰ روز پس از کاشت هر دو هفته یکبار نمونه برداری تخریبی به منظور اندازه گیری سطح برگ، وزن خشک کل و اندازه گیری میزان نیتروژن موجود در بیوماس گیاه انجام گرفت. برای اندازه گیری شاخص سطح برگ از دستگاه Leaf Area Meter مدل Licor استفاده شد. همچنین، در مراحل یاد شده، مقدار ۱۰۰ گرم از اندام هوایی خشک شده برای تعیین مقدار نیتروژن، نمونه برداری و یک گرم آن انتخاب شده و با استفاده از دستگاه میکروکجلدال (۲۲)، مقدار نیتروژن نمونه ها تعیین گردید. در انتهای فصل رشد نمونه ای به وزن ۵۰ گرم از دانه و کاه و کلش ذرت و وش و کاه و کلش پنبه در هر تیمار بصورت جداگانه انتخاب و میزان نیتروژن در آنها توسط دستگاه میکروکجلدال اندازه گیری گردید. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت دو ردیف کناری و نیم متراز ابتدا ونیم متر از انتهای هر کرت بعنوان اثر حاشیه ای حذف شد و در سطح باقیمانده عملکرد بیولوژیک (تر و خشک) و عملکرد دانه (اقتصادی) تعیین گردید. همچنین، از حاصلضرب عملکرد و بیوماس در درصد نیتروژن جذب شده توسط گیاه در تیمارهای مختلف، درصد نیتروژن جذب شده محاسبه گردید.

محاسبه کارآیی و نسبت رقابتی مصرف نیتروژن

برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان کود موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. که برای این منظور عمق خاک حاصلخیز برای پنبه و ذرت ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد نیتروژن و وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول۱)، میزان نیتروژن برای هر هکتار ۶۸ کیلوگرم بدست آمد.

جنبه های مختلف کارایی نیتروژن با استفاده از معادلات زیر محاسبه گردید:

کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (ANUE):

$$ANUE = \frac{Y}{Ns} \quad (۱)$$

در این معادله، Y: عملکرد دانه ذرت یا عملکرد وش پنبه (Kg/ha) و Ns: کود نیتروژنه مصرفی بعلاوه مقدار موجود در خاک (Kg/ha) است.

کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن (NRE):

$$\boldsymbol{NRE = \frac{Nuptake}{Ns}} \quad (۲)$$

در این معادله، Nuptake: نیتروژن جذب شده توسط دانه ذرت یا وش پنبه و یا بیوماس آنها (Kg/ha) و Ns: کود نیتروژن مصرفی بعلاوه مقدار موجود در خاک (Kg/ha) است.

کارایی مصرف نیتروژن (کارایی فیزیولوژیک) NUE:

$$\boldsymbol{NUE = \frac{Y}{Nuptake}} \quad (۳)$$

در این معادله، Y: عملکرد دانه ذرت یا عملکرد وش پنبه (Kg/ha) و Nuptake: نیتروژن جذب شده توسط پنبه و ذرت (Kg/ha)

شاخص برداشت نیتروژن[1] (NHI):

$$NHI = \frac{Grain_N}{Shoot_N + Grain_N} \quad (۴)$$

در این معادله، GrainN و ShootN بترتیب نشان دهنده میزان نیتروژن در دانه (وش) و بیوماس (بخش غیر از دانه و یا وش) است.

نسبت رقابتی نیتروژن[2] (NCR):

$$NCR = \frac{\left(\frac{NU_{ia}}{NU_{sa} \times Fa}\right)}{\left(\frac{NU_{ib}}{NU_{sb} \times F_b}\right)} \quad (۵)$$

در این معادله، NU_{ia} و NU_{ib} بترتیب میزان نیتروژن جذب شده (Kg/ha) توسط گونه a و b در کشت مخلوط، NU_{sa} و NU_{sb} بترتیب میزان نیتروژن جذب شده (Kg/ha) توسط گونه a و b در کشت خالص و F_a و F_b نشاندهنده سهم سطح زمین اشغال توسط گونه a و b در کشت مخلوط است. هنگامیکه NCR_{ab} بیشتر از ۱ است، یعنی گونه a نیتروژن را با قدرت بیشتری نسبت به گونه b جذب می کند و هنگامیکه کمتر از ۱ است، یعنی گونه b نیتروژن را با قدرت بیشتری نسبت به گونه a جذب می کند (۱۹).

جهت مقایسه عملکرد کشت های مخلوط با خالص، نسبت برابری زمین[3] (LER) از طریق معادله ۶ محاسبه شد:

$$LER = \sum \frac{Y_{i,m}}{Y_{i,s}} \quad (۶)$$

در این معادله، $Y_{i,m}$ و $Y_{i,s}$ به ترتیب عملکرد گونه ها در کشت مخلوط و خالص هستند، همچنین، LER برای کارایی های مختلف نیتروژن نیز محاسبه گردید. بدین صورت که کارایی های مختلف بجای عملکرد برای ذرت و پنبه در کشت مخلوط و خالص در نظر گرفته خواهد شد.

داده ها توسط نرم افزار SAS در معرض تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تجمع ماده خشک

افزایش بیوماس ذرت و پنبه در طول فصل رشد از روند مشابهی تبعیت کرد (شکل۱).

1- Nitrogen Harvest Index
2- Nitrogen Competitive Ratio
3- Land Equivalent Ratio

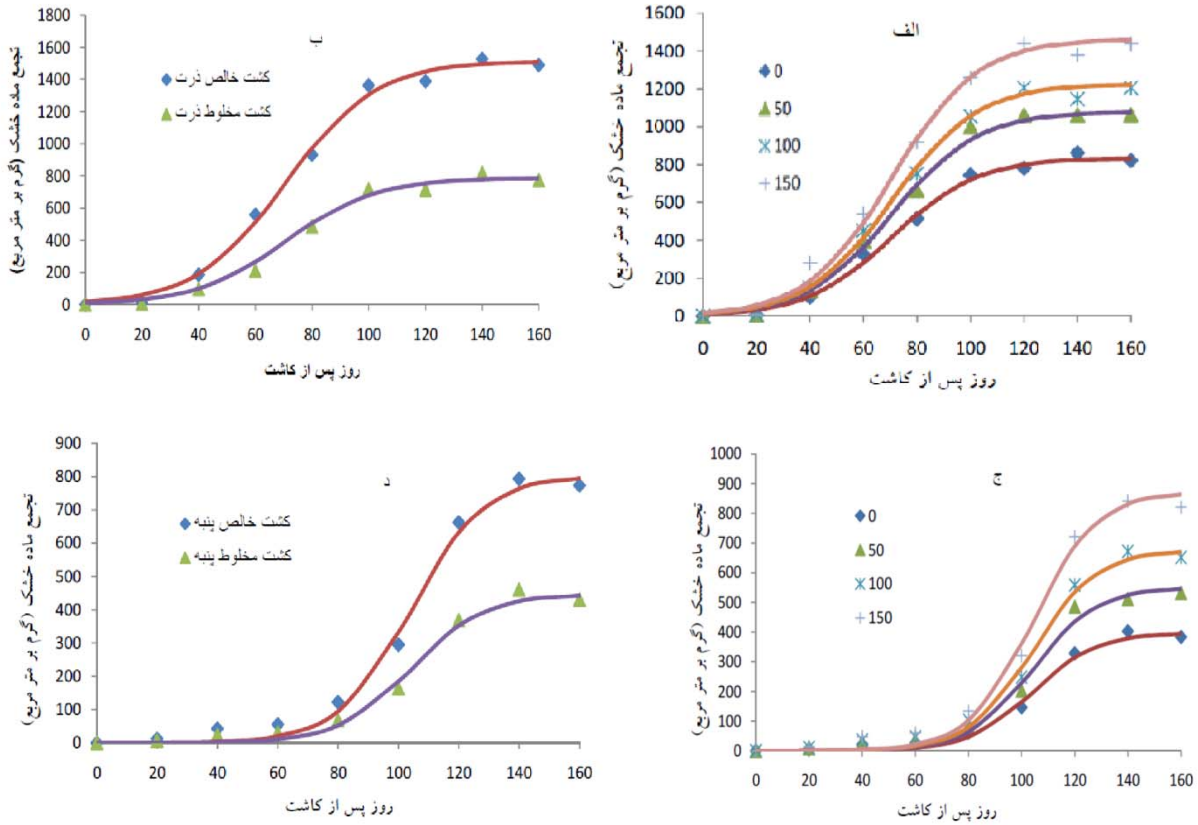
جدول۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

	بافت	نیتروژن ppm	فسفر ppm	پتاسیم ppm	EC (dS m^{-2})	pH
خاک مزرعه	لومی-سیلتی	۱۵/۴	۱۳/۷	۱۱۹	۱/۲	۷/۵

بطوریکه در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان بیوماس بـه کنـدی افزایش یافت و در ادامه افزایش آن در دو گیاه روند خطی پیدا کـرد و برای ذرت و پنبه بترتیب در ۱۲۰ و ۱۳۵ روز پس از کاشت به حـداکثر مقدار خود رسید. در ابتدای فصل رشد بدلیل کوچک تر بودن بوته هـا تفاوت چندانی بین تیمارهای مختلف از نظر افزایش وزن خشک کـل ذرت و پنبه مشاهده نشد. با افزایش سطوح نیتروژن از صـفر بـه ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، بیوماس هر دو گیاه افزایش یافت (شـکل۱ الـف و ج). پنگ و همکاران (۲۵)، نیز با بررسی سطوح مختلـف نیتـروژن بـر ذرت گزارش کردند که با افـزایش سـطوح نیتـروژن از صـفر تـا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، در طول فصل، بیومـاس آن افـزایش مـی یابـد. از آنجایی که نیتروژن یکی از عناصر غذایی موثر بر میزان فعالیت آنـزیم های فتوسنتزی و در نتیجه میزان تجمع ماده خشـک گیاهـان اسـت (۲۶)، بنابراین با افزایش سطوح نیتروژن موجب افـزایش تجمـع مـاده خشک در دو گیاه شد.

غلظت نیتروژن در گیاه در طی فصل رشد

روند تغییرات غلظت نیتروژن در اندام هوایی دو گیاه ذرت و پنبـه مشابه بود (شکل۲). بطوریکه در اوایل فصل رشد غلظـت نیتـروژن در هر دو گیاه بالا بود، تا ۶۰ روز پس کاشت بطور ناگهانی کاهش یافـت و بعد از آن تا انتهای فصل رشد، تا حدودی روند ثابتی داشت. احتمال دارد که افزایش تجمع ماده خشک در طول فصل رشد موجـب رقیـق تر شدن نیتروژن در اندام دوگیاه شده بود. برخی از آزمایشات کـاهش غلظت نیتروژن در اندام ذرت و پنبه را در طـول فصـل رشـد گـزارش کرده اند. بعنوان مثال پنگ و همکاران (۲۵)، با بررسی میـزان جـذب نیتروژن در اندام ریشه و انـدام هـوایی ذرت، گـزارش کردنـد کـه بـا افزایش بیوماس در طول فصل رشد، غلظت نیتروژن در انـدام هـوایی ذرت کاهش نشان داد.



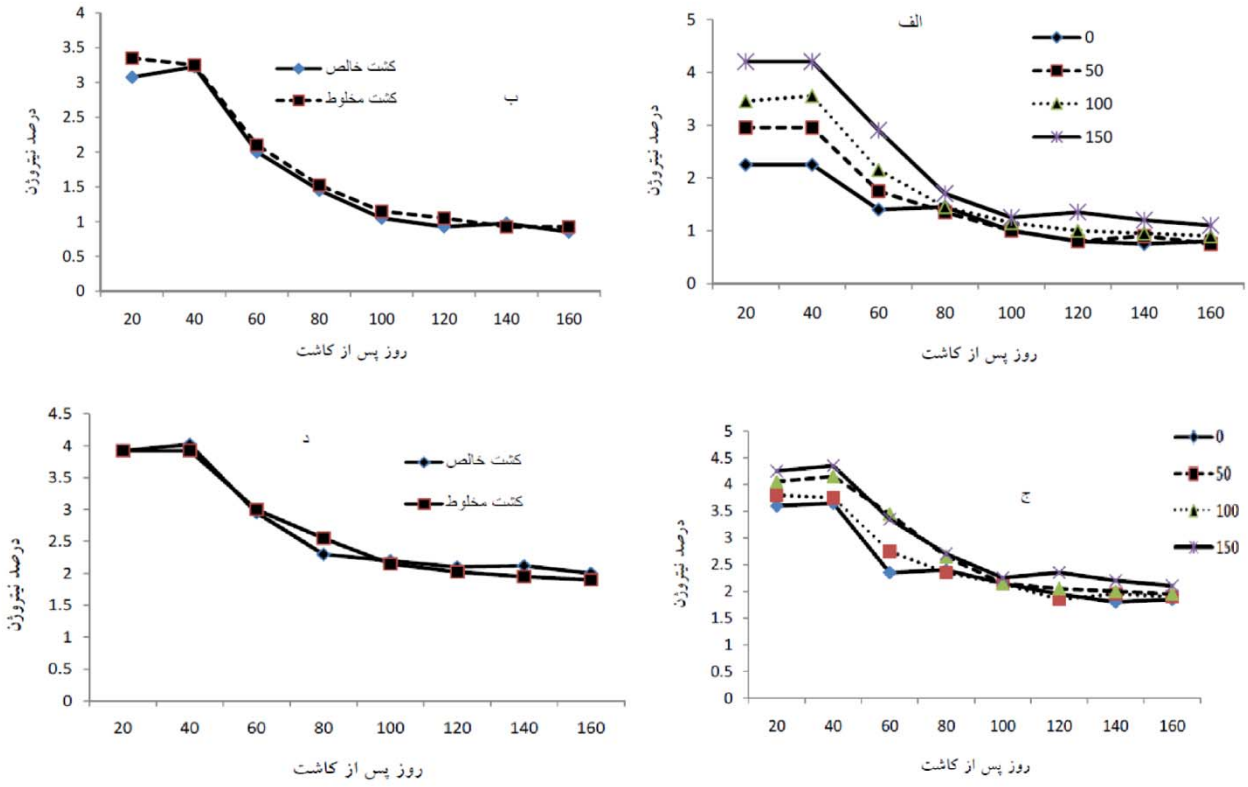
شکل ۱- تجمع ماده خشک ذرت (الف و ب) و پنبه (ج و د) تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن و الگوی کاشت

همچنین، روچستر و همکاران (۳۰) با بررسی تجمع نیتروژن در اندام گیاه پنبه بعد از کشت غلات، گزارش کردند که بدلیل افزایش تجمع ماده خشک در طول فصل رشد، درصد نیتروژن در اندام گیاه در طول این مدت کاهش می یابد. نتایج نشان داد که با افزاش سطوح نیتروژن، غلظت نیتروژن در اندام هر دو گیاه افزایش می یابد، بطوریکه بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن در کل فصل رشد بترتیب در سطوح ۱۵۰ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (شکل۲). گزارش شده است که غلظت نیتروژن موجود در اندام گیاه تحت تاثیر میزان ماده خشک و میزان و نوع نیتروژن استفاده شده در واحد سطح قرار می گیرد (۱۶). بنابراین، با افزایش سطوح نیتروژن، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و موجب افزایش درصد نیتروژن در اندام هوایی دو گیاه می شود. چیکوا و همکاران (۱۱) بیان کردند که با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، غلظت نیتروژن در اندام گیاه ذرت افزایش معنی داری را نشان داد. بین کشت خالص و مخلوط اختلافی از نظر غلظت نتیروژن در طول فصل رشد در هر دو گیاه ذرت و پنبه مشاهده نشد (شکل۲). بطور کلی غلظت نیتروژن در پنبه بویژه در اواخر فصل بیشتر از ذرت بود، بطوریکه پایینترین غلظت نتیروژن برای پنبه و ذرت در طول فصل رشد بترتیب ۱/۹ و ۰/۹ بود (شکل۲). احتمال دارد که این امر از بیوماس بیشتر ذرت نسبت به پنبه ناشی شده باشد.

عملکرد اقتصادی و بیولوژیک

نتایج نشان داد که عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت تحت تاثیر سطوح نیتروژن و الگوی کاشت اختلاف معنی داری دارد (جدول۲). بطوریکه با افزایش سطوح نیتروژن عملکرد دانه ذرت افزایش یافت و سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار شاهد، عملکرد دانه ذرت را ۳۰ درصد افزایش داد (جدول۳). این امر می تواند بدلیل تاثیر نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آنها نسبت به تیمار عدم مصرف کود باشد (۳۵). این عمل موجب بهبود ذخائر فتوسنتزی (۲۴) و بهبود عملکرد ذرت شده است. روند مشابهی نیز در مورد عملکرد بیولوژیک ذرت مشاهده شد (جدول۲و۴).

سطوح مختلف نیتروژن و الگوی کاشت تاثیر معنی داری را بر عملکرد وش و عملکرد بیولوژیک پنبه داشتند (جدول۳). کمترین و بیشترین عملکرد وش بترتیب در تیمارهای صفر و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (جدول۵). با وجود این، بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی داری مشاهده نشد. عملکرد بیولوژیک پنبه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن نسبت به تیمار شاهد حدود ۵۴ درصد افزایش نشان داد (جدول۵).



شکل ۲- غلظت نیتروژن در ذرت (الف و ب) و پنبه (ج و د) تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن و الگوی کاشت

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده های صفات اندازه گیری شده در تیمارهای مورد بررسی در گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درصد نیتروژن دانه	درصد نیتروژن بیوماس	میزان جذب نیتروژن دانه	میزان جذب نیتروژن بیوماس	شاخص برداشت نیتروژن	کارایی استفاده از نیتروژن (زراعی)	کارایی جذب نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن (فیزیولوژیکی)
بلوک	۲	۵۹۱۰۳/۸ns	۱۳۱۷۱۶۳/۷ns	۰/۰۰۷ns	۰/۰۰۲ns	۱۰۸/۶ns	۱۴۰/۶ns	۱۲/۳۵ns	۲۰/۸۱ns	۰/۰۲۱ns	۱/۳۵ns
سطوح نیتروژن (F)	۳	۴۰۵۱۰۶۰/۸**	۴۰۵۵۳۵۶۲/۵**	۰/۰۱۷ns	۰/۱۲۱*	۱۱۴۳/۴*	۹۸۱۷/۱**	۱۳۸/۵ns	۱۳۶۱/۲**	۲/۱۷**	۸۳/۶۳**
الگوی کاشت (P)	۱	۵۵۴۴۰۴۸۰/۳**	۳۰۸۲۹۹۸۹۶/۵**	۰/۰۱۲ns	۰/۰۰۳ns	۱۱۴۵۴/۸**	۲۴۶۹۰/۸**	۶/۹۵ns	۳۴۰۵/۹**	۳/۹۷**	۴/۲۱ns
P×F	۳	۵۱۳۶۵۰/۲ns	۲۹۶۰۷۸۰/۹ns	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۸ns	۱۱۱/۰ns	۷۸۷/۶ns	۱/۹۸ns	۱۰۰/۴ns	۰/۱۶۶ns	۱/۳۷ns
اشتباه	۱۴	۶۸۶۸۶۱/۵	۳۳۰۸۳۶۸/۸	۰/۰۴۶	۰/۰۳۰	۲۶۸/۵	۹۳۷/۸	۷۰/۰۷	۷۸/۱۲	۰/۰۸۳	۶/۸۸

** و *- به ترتیب معنی داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns عدم وجود تفاوت معنی دار را نشان می دهد.

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده های صفات اندازه گیری شده در تیمارهای مورد بررسی در گیاه پنبه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد وش	عملکرد بیولوژیک	درصد نیتروژن وش	درصد نیتروژن بیوماس	میزان جذب نیتروژن وش	میزان جذب نیتروژن بیوماس	شاخص برداشت نیتروژن	کارایی استفاده از نیتروژن (زراعی)	کارایی جذب نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن (فیزیولوژیکی)
بلوک	۲	۱۱۴۲۴/۵ns	۸۱۵۱۷۶/۰ns	۰/۰۲۲ns	۰/۰۱۸ns	۵/۸۸ns	۷۷۴/۳ns	۱/۱۱ns	۰/۲۲۲ns	۰/۰۳۱ns	۱/۱۹ns
سطوح نیتروژن (F)	۳	۱۲۵۰۸۴۰/۷**	۲۲۵۲۱۸۰۷/۹*	۰/۰۰۴ns	۰/۰۵۰*	۹۹/۹۷**	۱۰۷۵۱/۴**	۳/۶۵ns	۳۳/۴۹**	۰/۱۲۳*	۳/۴۰ns
الگوی کاشت (P)	۱	۵۰۰۶۸۹۳/۵**	۷۱۷۲۲۷۳۳۸/۱**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲۲ns	۳۵۰/۶**	۲۹۲۹۰/۶**	۱/۴۹ns	۲۸۵/۰**	۲/۰۸**	۰/۴۲ns
P×F	۳	۱۲۸۲۸۶/۱ns	۱۷۹۵۱۳۸/۴ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۱۸ns	۸/۶۳ns	۵۲۶/۸ns	۲/۳۷ns	۵/۳۶ns	۰/۰۳۶ns	۰/۷۱ns
اشتباه	۱۴	۴۱۷۳۲/۲	۱۰۸۴۴۹۳/۸	۰/۰۳۸	۰/۰۱۳	۶/۳۸	۴۵۴/۸	۵/۷۶	۳/۴۹	۰/۰۳۱	۱/۱۷

** و *- به ترتیب معنی داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns عدم وجود تفاوت معنی دار را نشان می دهد.

عملکرد وش پنبه و ذرت در تمامی تیمارهای مخلوط بطور معنی داری کمتر از کشت خالص آنها بود. بدیهی است که افزایش عملکرد این دو گیاه در کشت خالص به خاطر تراکم بیشتر آنها است. پایین تر بودن عملکرد گونه ها در مخلوط نسبت به خالص که در اکثر مطالعات گزارش شده است، در برخی موارد بسیار چشمگیر می شود، بطوریکه موجب می گردد تا مزایای مخلوط از نظر عملکرد کل پنهان بماند (۱۷). بررسی نسبت برابری زمین برای عملکرد دو گونه در جدول۷ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می شود در کلیه سطوح نیتروژن نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود و این نشاندهنده تاثیر مثبت کشت مخلوط بر عملکرد دو گیاه است. بنظر می رسد که بجز در سطح کودی صفر، در بقیه سطوح کودی رقابت درون گونه ای ذرت در کشت خالص آن بیشتر از رقابت برون گونه ای پنبه و ذرت در مخلوط بوده است. در سطح کودی صفر، احتمال دارد که بدلیل کمبود عنصر نیتروژن و غالب بودن ذرت، گیاه پنبه با کمبود نیتروژن مواجه شده است و عملکرد نسبی آن نسبت به خالص کاهش نشان داده است، ولی بدلیل بالا تر بودن عملکرد نسبی ذرت در این تیمار در کل نسبت برابری زمین برای عملکرد بالاتر از یک بدست آمد (جدول۷). سطح کودی ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۱۱) را دارا بود. بنظر می رسد که در کشت مخلوط بدلیل سیستم ریشه ای متفاوت پنبه و ذرت، این دو گیاه از عناصر غذایی موجود در اعماق مختلف خاک، بهتر استفاده کرد و عملکرد نسبی بهتری را نسبت به کشت خالص نشان دادند. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کودی، عملکرد جزیی ذرت کاهش نشان می دهد (جدول۷). بنظر می رسد که با افزایش سطوح کودی، از غالبیت ذرت کاسته شده است.

جدول٤- اثر تیمارهای مختلف مورد آزمایش بر برخی صفات مورد مطالعه در گیاه ذرت

تیمار		عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	درصد نیتروژن دانه	درصد نیتروژن بیومس	میزان جذب نیتروژن دانه ($kg\ ha^{-1}$)	میزان جذب نیتروژن بیومس ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت نیتروژن
سطوح نیتروژن (Kg/ha)	۰	۴۱۹۵/۰	۸۲۰۱	۱/۴۹	۰/۸۱	۶۳/۲۶	۶۴/۴۱	۴۹/۰۱
	۵۰	۴۶۱۷/۵	۱۰۶۱۳	۱/۵۳	۰/۷۹	۷۰/۴۸	۸۳/۷۳	۴۶/۲۳
	۱۰۰	۵۴۶۱/۲	۱۲۰۵۱	۱/۴۷	۰/۹۱	۷۹/۴۲	۱۱۰/۳	۴۲/۸۱
	۱۵۰	۶۰۱۹/۸	۱۴۴۰۴	۱/۵۹	۱/۰۹	۹۵/۲۹	۱۵۴/۷	۳۷/۸۵
LSD 5%		۱۰۲۶/۳	۲۲۵۲/۳	۰/۲۶۴	۰/۲۱۵	۲۰/۶۹	۳۷/۹۲	۱۰/۳۶
الگوی کاشت	خالص	۶۵۹۳/۳	۱۴۹۰۱/۴	۱/۴۹	۰/۸۸۸	۹۸/۹۵	۱۳۶/۱	۴۳/۴۴
	مخلوط	۳۵۵۳/۵	۷۷۳۳/۲	۱/۵۴	۰/۹۱۳	۵۵/۲۶	۷۱/۹۸	۴۴/۵۱
LSD 5%		۷۲۵/۷	۱۵۹۲/۶	۰/۱۸۷	۰/۱۵۲	۱۴/۸۲	۲۶/۵۱	۷/۳۳

جدول۵- اثر تیمارهای مختلف مورد آزمایش بر برخی صفات مورد مطالعه در گیاه پنبه

تیمار		عملکرد وش ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	درصد نیتروژن وش	درصد نیتروژن بیومس	میزان جذب نیتروژن وش ($kg\ ha^{-1}$)	میزان جذب نیتروژن بیومس ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت نیتروژن
سطوح نیتروژن (Kg/ha)	۰	۹۵۷/۰	۳۸۱۳/۰	۰/۷۹۲	۱/۸۴	۷/۵۱	۷۰/۹	۹/۶۵
	۵۰	۱۲۵۴/۲	۵۳۳۵/۶	۰/۸۳۰	۱/۸۸	۱۰/۴۷	۱۰۱/۵	۹/۴۷
	۱۰۰	۱۴۸۲/۵	۶۵۱۴/۸	۰/۸۴۰	۱/۹۵	۱۲/۴۶	۱۲۸/۴	۸/۹۱
	۱۵۰	۲۰۳۶/۷	۸۴۰۲/۷	۰/۸۵۲	۲/۰۵	۱۷/۲۲	۱۷۰/۷	۹/۱۵
LSD 5%		۲۵۲/۹۶	۱۲۸۹/۵	۰/۲۴۱	۰/۱۴۳	۳/۱۳	۲۶/۴۱	۲/۹۷
الگوی کاشت	خالص	۱۸۸۹/۳	۷۷۴۵/۳	۰/۸۳۱	۱/۹۶	۱۵/۷۵	۱۵۲/۸۰	۹/۴۴
	مخلوط	۹۷۵/۸	۴۲۸۷/۸	۰/۸۲۶	۱/۹۰	۸/۰۹	۸۲/۹۳	۹/۱۵
LSD 5%		۱۷۸/۸	۹۱۱/۸	۰/۱۷۱	۰/۱۰۱	۲/۲۱	۱۸/۶۷	۲/۱۰

میزان جذب نیتروژن ($kg\ ha^{-1}$) در پنبه و ذرت

اثرات ساده کلیه تیمارهای مورد آزمایش، تاثیر معنی داری را بر میزان جذب نیتروژن در دانه و بیوماس ذرت داشتند، ولی اثر متقابل سطوح نیتروژن و الگوی کاشت تاثیر معنی داری را بر این صفت نداشت (جدول۲). میزان جذب نیترون برآیندی از درصد نیتروژن و عملکرد می باشد (۲۱). از آنجاییکه درصد نیتروژن در دانه و بیوماس ذرت در انتهای فصل رشد اختلاف معنی داری را از نظر تیمارهای مورد آزمایش نشان نداد (جدول۲)، بنابر این بنظر می رسد که این صفت بیشتر تحت تاثیر عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت قرار می گیرد. بیشترین و کمترین میزان جذب نیتروژن هم در دانه و هم در بیوماس بترتیب در تیمار کودی ۱۵۰ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (جدول۴). گالیس و همکاران (۱۴) همبستگی مثبتی را بین عملکرد و میزان جذب نیتروژن در ذرت گزارش کردند. ینگ و همکاران (۴۱) بیان کردند که هرچه عملکرد و بیوماس گیاه افزایش می یابد، گیاه باید نیترون بیشتری را جذب کند، بعنوان مثال، گیاهی که بیش از ۱۳ تن در هکتار بیوماس تولید می کند، به جذب بیش از ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیاز دارد. کشت خالص ذرت نسبت به کشت مخلوط حدود ۴۵ درصد نیتروژن بیشتری را جذب کرد (جدول۴)، که بدلیل دو برابر بودن تراکم ذرت در کشت خالص آن است. این امر نشان می دهد که ذرت در کشت مخلوط به نسبت تراکم، ۵ درصد نیتروژن بیشتری جذب کرده است. از آنجاییکه از نظر رقابت ذرت نسبت به پنبه برتری دارد، بنابر این نظر می رسد که در کشت مخلوط، ذرت توانسته است نیتروژن بیشتری را به ازای تک بوته جذب نماید. از طرفی ویلی و رائو (۳۹) نیز با بررسی نسبت رقابتی عناصر در کشت مخلوط، گزارش کردند که در کشت مخلوط بدلیل وجود رقابت برون گونه ای، دو گیاه نیتروژن بیشتری را به ازای تک بوته خالص جذب می کنند.

میزان نیتروژن جذب شده توسط وش و بیوماس پنبه تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن و الگوی کاشت اختلاف معنی داری را نشان داد (جدول۳). پنبه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن نسبت به تیمار صفر و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بترتیب ۵۶ و ۳۹ درصد نیتروژن بیشتری را در وش و ۵۸ و ۴۰ درصد نیتروژن بیشتری در بیوماس خود جذب نمود (جدول۵). نتایج نشان داد که با افزایش سطوح نیتروژن میزان جذب هم در وش و هم بیوماس پنبه افزایش معنی داری می یابد (جداول۳و۵). روچستر و همکاران (۳۰) جذب نیتروژن توسط پنبه را بطور میانگین حدود ۱۷۷ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند و بیان داشته اند که با افزایش عملکرد و نیتروژن استفاده شده در هکتار، میزان جذب این گیاه افزایش می یابد. کومبار و همکاران (۱۸)، نیز گزارش کردند که با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، میزان جذب نیتروژن در پنبه افزایش معنی داری یافت. رامشوار (۲۸) نشان داد که، سطوح پایین نیتروژن، میزان جذب نیتروژن توسط گیاه و در نتیجه عملکرد گیاه را کاهش می دهد. میزان جذب نیتروژن هم در وش و هم در بیوماس پنبه در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود (جدول۵). از آنجاییکه درصد نیتروژن در دانه ذرت (بطور میانگین ۱/۵۰ درصد) بیشتر از وش پنبه (بطور میانگین ۰/۸۳درصد) بود، بنابر این، میزان نیتروژن جذب شده توسط دانه ذرت بیشتر از وش پنبه شد و بر عکس میزان آن در بیوماس پنبه بیشتر از ذرت بود (جداول ۴و۵).

کارایی نیتروژن[1]

کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (ANUE)

اثرات ساده کلیه تیمارهای مورد آزمایش بر این صفت در هر دو گیاه پنبه و ذرت معنی دار بود (جداول۲و۳)، بطوریکه در هر دو گیاه با افزایش سطوح نیتروژن کارایی زراعی استفاده از نیتروژن کاهش معنی داری را نشان داد (جدول ۶). افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم، کارایی استفاده از نیتروژن را در ذرت و پنبه بترتیب ۵۵ و ۳۵ درصد کاهش داد. با توجه به قانون بازده نزولی در مورد مصرف عناصر غذایی مبنی بر اینکه واحد های اولیه کود مصرفی تاثیر بیشتری روی عملکرد دارند، هر قدر مصرف نیتروژن افزایش یابد، کارایی استفاده از آن کاهش می یابد (۲). امروزه اصلاحگران واریته هایی را پیشنهاد می کنند که علاوه بر عملکرد بالا، دارای کارایی مصرف نیتروژن بالایی نیز باشند. این واریته ها به دلیل برخورداری از توانایی جذب و همچنین تبدیل بالا، که علاوه بر کاهش تلفات نیتروژن از قبیل آبشویی و تصعید، عملکرد بالایی را نیز تولید می کنند (۳۴). یوریبلارئا و همکاران (۳۷) با بررسی هیبریدهای مختلف ذرت و سطوح مختلف نیتروژن، بین کارایی مصرف و سطوح نیتروژن یک همبستگی منفی مشاهده کردند.

بطور کلی، کارایی زراعی استفاده از نیتروژن در تمامی تیمارهای مورد آزمایش در ذرت بالاتر از پنبه بود (جدول۶). سیگ و همکاران (۳۱)، با بررسی کارایی مصرف نیتروژن در دو گونه C3 و C4 که بترتیب شامل سلمه تره (*Chenopodium album*) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus*) بودند، گزارش کردند که شیب اولیه پاسخ CO_2 در فتوسنتز، به میزان نیتروژن موجود در برگ، در تاج خروس چهار برابر سلمه تره بود. یعنی تاج خروس نسبت به میزان نیتروژن برگ فعالیت فتوسنتزی بیشتری را نسبت به سلمه تره دارا بود. علاوه بر آن، آنها گزارش کردند که آنزیم رابیسکو[2] گیاهان C3 نسبت به آنزیم فسفوانول پیروات کربوکسیلاز[3] گیاهان C4 نیتروژن

1- Nitrogen Efficiency
2- Rubisco
3- Phosphoenolpyruvate carboxylase

بیشتری را مصرف می کند، که این عوامل موجب بالاتر بودن کارایی مصرف نیتروژن در تاج خروس نسبت به سلمه تره شد. بنظر می رسد که این عوامل در مورد ذرت (C4) و پنبه (C3) نیز صادق است و در نتیجه موجب بالا رفتن کارایی استفاده از نیتروژن ذرت نسبت به پنبه شده است (جدول۶).

کارایی زراعی استفاده از نیتروژن در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص هر دو گیاه بود (جدول۶). این موضوع از تراکم کمتر پنبه و ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر دو گیاه ناشی می شود و موجب کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش کارایی استفاده از نیتروژن می گردد. با وجود این، نسبت برابری زمین برای کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (LER_{ANUE}) نشان داد که در تمامی سطوح نیتروژن، کارایی زراعی نسبی استفاده از نیتروژن در هر دو گیاه ذرت و پنبه (بجز پنبه در سطح صفر) بیشتر از نیم است (جدول۷). همچنین، LER_{ANUE} در تمامی سطوح کودی بالاتر از ۱ بود، که این امر نشاندهنده نقش مثبت کشت مخلوط در استفاده بهتر از نیتروژن مصرفی است. از بین تیمارهای مورد آزمایش، سطح کودی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بالاترین نسبت برابری زمین را برای کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (۱/۱۰) دارا بود (جدول۷). ویلی و رائو (۳۹) نیز گزارش کردند که اگر دو گونه بصورت مخلوط کشت شوند، بدلیل اثرات رقابتی و نیز سیستم ریشه ای متفاوت از منابع غذایی و بویژه نیتروژن نسبت به کشت خالص، با کارایی بالاتری استفاده می کنند. بنابراین، بنظر می رسد از آنجاییکه پنبه و ذرت دارای سیستم ریشه ای کاملا متفاوتی می باشند، توانسته اند از نیتروژن موجود در اعماق مختلف خاک استفاده کرده و در نتیجه جذب و کارایی زراعی استفاده از نیتروژن را نسبت به کشت خالص هر دو گونه بهبود بخشند.

کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن (NRE)

این صفت نیز نسبت به اثرات ساده کلیه تیمارهای مورد آزمایش اختلاف معنی داری را نشان داد (جداول۲و۳). در هر دو گیاه افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن را بطور معنی داری کاهش داد (جدول۶). گواردا و همکاران (۱۵) نیز در آزمایش خود دریافتند که افزایش کاربرد کود نیتروژن از ۸۰ به ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار، موجب کاهش کارایی بازیافت نیتروژن در گندم می شود و آنرا از ۵۶ به ۳۴ درصد کاهش می دهد. در کلیه سطوح آزمایشی کارایی بازیافت نیتروژن در ذرت بالاتر از پنبه بود (جدول۶). کارایی بازیافت نیتروژن وابستگی زیادی به سیستم ریشه ای و توانایی جذب نیتروژن از خاک دارد (۲۰). از آنجاییکه ذرت نسبت به پنبه دارای سیستم ریشه ای گسترده تر است، بنابر این، بالا بودن کارایی جذب آن طبیعی بنظر می رسد. شفیع و همکاران (۳۲)، گزارش کردند که یکی از راههای بهبود کارایی جذب نیتروژن در ذرت، اصلاح واریته هایی با سیستم ریشه ای گسترده تر است. روچستر و همکاران (۳۰)، با بررسی تاثیر بقولات و سطوح کود نیتروژنه بر کارایی مصرف و جذب نیتروژن در گیاه پنبه، گزارش کردند که اگر نیتروژن بالاتر از حد بهینه اقتصادی مصرف شود، کارایی بازیافت آن کاهش می یابد.

بدلیل بیشتر بودن تراکم در کشت خالص هر دو گیاه نسبت به کشت مخلوط، کارایی جذب نیتروژن در کشت مخلوط کمتر از خالص دو گونه بود (جدول۶). با وجود این بررسی نسبت برابری زمین برای کارایی بازیافت نیتروژن (LER_{NRE})، نشان داد که کشت مخلوط دو گونه به ازای واحد سطح، نیتروژن مصرفی را با کارایی بالاتری جذب کرده اند (جدول۷)، بطوریکه در تمامی سطوح کودی مورد استفاده، LER_{NRE} بالاتر از یک بود. گیاه پنبه در سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، دارای بالاترین (۰/۵۷) کارایی نسبی جذب نیتروژن بود (جدول۷). بنظر می رسد که در سطوح بالاتر کودی، رقابت پنبه و ذرت بر سر نیتروژن کاهش می یابد و در نتیجه جذب نیتروژن توسط پنبه و در نتیجه کارایی جذب آن نسبت به کشت خالص بیشتر می شود. احتمال دارد که در سطوح بالای نیتروژن، رقابت درون گونه ای پنبه در کشت خالص بیشتر از رقابت برون گونه ای با ذرت در کشت مخلوط بوده است. ولی در سطح کودی صفر، بدلیل کمبود نیتروژن، ذرت با جذب سهم زیادی از آن موجب شده است که پنبه با کاهش نیتروژن مواجه گردد و موجب کاهش NRE نسبی پنبه (۰/۴۷) و افزایش آن در ذرت (۰/۵۵) شود.

کارایی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن (NUE)

کارایی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن در ذرت تحت تاثیر سطوح کودی مختلف اختلاف معنی داری را نشان داد، ولی الگوی کاشت تاثیر معنی داری را بر این صفت در ذرت نشان نداد (جدول۲). اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد آزمایش بر NUE گیاه پنبه تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول۳). با افزایش سطوح نیتروژن، NUE هم در ذرت و هم در پنبه کاهش نشان داد (جدول۶). یوریبلارئا و همکاران (۳۷) نیز گزارش کردند که با افزایش سطوح نیتروژن، کارایی فیزیولوژک مصرف نیتروژن در ذرت کاهش پیدا می‌کند. بررسی نسبت برابری زمین برای کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (LER_{NUE})، نشان داد که هر دو گیاه پنبه و ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، نیتروژن جذبی را با کارایی بالاتری به عملکرد اقتصادی تبدیل کرده‌اند (جدول۷).

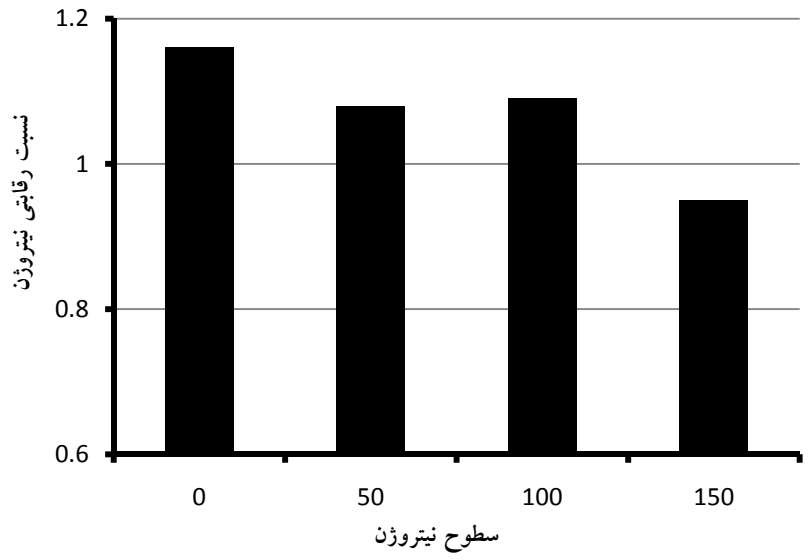
جدول٦- تاثیر سطوح مختلف نیتروژن بر کارایی های مختلف نیتروژن در پنبه و ذرت

تیمار		کارایی استفاده از نیتروژن (زراعی)		کارایی جذب نیتروژن (بازیافت)		کارایی مصرف نیتروژن (فیزیولوژیکی)	
		ذرت	پنبه	ذرت	پنبه	ذرت	پنبه
سطوح نیتروژن* ($kg\ ha^{-1}$)	۰	۶۱/۶۹	۱۴/۰۷	۱/۸۸	۱/۱۵	۳۲/۸۰	۱۲/۲۶
	۵۰	۳۹/۱۳	۱۰/۶۳	۱/۳۱	۰/۹۴۸	۳۰/۱۸	۱۱/۳۴
	۱۰۰	۳۲/۵۱	۸/۸۲	۱/۱۳	۰/۸۳۸	۲۸/۹۸	۱۰/۶۱
	۱۵۰	۲۷/۶۱	۹/۳۴	۱/۱۶	۰/۸۶۲	۲۳/۹۱	۱۰/۷۴
LSD 5%		۱۰/۹۴	۲/۳۱	۰/۳۵۷	۰/۲۱۸	۳/۲۵	۱/۳۴
الگوی کاشت	خالص	۵۲/۱۵	۱۴/۱۶	۱/۷۷۵	۱/۲۵	۲۸/۹۶	۱۱/۳۷
	مخلوط	۲۸/۳۲	۷/۲۷	۰/۹۶۲	۰/۶۵۶	۲۸/۹۸	۱۱/۱۱
LSD 5%		۷/۷۴	۱/۶۴	۰/۲۵۳	۰/۱۵۴	۲/۲۹	۰/۹۴۷

*- برای محاسبه کارایی نیتروژن سطوح نیتروژن مصرف شده بعلاوه نیتروژن موجود در خاک (۶۸ Kg/ha) در نظر گرفته شده است.

جدول۷- نسبت برابری زمین برای عملکرد و کارایی های مختلف نیتروژن تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن

سطوح نیتروژن	عملکرد (Yield)			کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (ANUE)			کارایی بازیافت نیتروژن (NRE)			کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن (NUE)		
	عملکرد نسبی ذرت	عملکرد نسبی پنبه	LER_{Yield}	ANUE نسبی ذرت	ANUE نسبی پنبه	LER_{ANUE}	NRE نسبی ذرت	NRE نسبی پنبه	LER_{NRE}	NUE نسبی ذرت	NUE نسبی پنبه	LER_{NUE}
۰	۰/۵۵	۰/۴۸	۱/۰۳	۰/۵۵	۰/۴۹	۱/۰۴	۰/۵۵	۰/۴۷	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۱	۲/۰۲
۵۰	۰/۵۵	۰/۵۶	۱/۱۱	۰/۵۴	۰/۵۵	۱/۱۰	۰/۵۳	۰/۵۵	۱/۰۸	۱/۰۱	۱/۰۲	۲/۰۴
۱۰۰	۰/۵۳	۰/۵۰	۱/۰۳	۰/۵۳	۰/۵۰	۱/۰۳	۰/۵۳	۰/۵۲	۱/۰۵	۰/۹۹	۰/۹۶	۱/۹۶
۱۵۰	۰/۵۲	۰/۵۲	۱/۰۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۱/۰۴	۰/۵۴	۰/۵۷	۱/۱۲	۰/۹۷	۰/۸۹	۱/۸۶



شکل۳- نسبت رقابتی $\frac{\text{ذرت}}{\text{پنبه}}$ تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن در کشت مخلوط

نسبت رقابتی نیتروژن (NCR)

نسبت رقابتی نیتروژن در کشت مخلوط ذرت- پنبه، نشان دهنده سهم هر یک از دو گونه در جذب نیتروژن مصرفی است. NCR بالاتر از ۱ نشاندهنده سهم بیشتر ذرت و کمتر از ۱ نشاندهنده سهم بیشتر پنبه در جذب نیتروژن مصرفی خاک است. بجز تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در بقیه تیمارها ذرت سهم بیشتری از نیتروژن را جذب کرده است (NCR بالاتر از ۱) و نسبت به پنبه غالب بوده است (شکل۳). غالبیت ذرت در جذب نیتروژن در تیمار صفر بیشتر از دیگر تیمارها بود و در تیمار ۱۵۰کیلوگرم، پنبه سهم بیشتری از نیتروژن را نسبت به ذرت جذب کرده بود. این موضوع با نظریه کریمز[1] که بیان می کند، گونه ای در رقابت موفقتر است که منابع را با قدرت بیشتری جذب کند، همخوانی دارد (۹). لی و همکاران (۱۹)، با بررسی نسبت رقابتی عناصر در کشت مخلوط تاخیری ذرت و گندم، گزارش کردند که در تمامی طول فصل رشد که دو گیاه باهم بودند، گیاه گندم از قدرت رقابتی بالاتری نسبت به ذرت برخوردار بود.

نتیجه‌گیری کلی

بطور کلی مهمترین مزیت کشت های مخلوط بالا بردن کارآیی جذب و مصرف منابع است که در مطالعات مختلف در مورد عناصر غذایی به تایید رسیده است (۷، ۱۹ و ۲۴). البته استفاده از این مزایا مستلزم طراحی صحیح مخلوط و انتخاب مناسب گونه های همراه است. در این پژوهش، کشت مخلوط پنبه و ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، بیوماس، غلظت و میزان جذب نیتروژن در هر دو گیاه افزایش می یابد. در کلیه سطوح نیتروژن، LER بیشتر از یک بود و این نشان دهنده تاثیر مثبت کشت مخلوط بر عملکرد دو گیاه است. کارایی نیتروژن در تمامی تیمارهای مورد آزمایش در ذرت بالاتر از پنبه بود. کارایی زراعی استفاده از نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن در هر دو گیاه پنبه و ذرت با افزایش سطوح نیتروژن کاهش معنی داری را نشان داد. بررسی نسبت برابری زمین برای تمامی کارایی های نیتروژن نشان داد که هر دو گونه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، نیتروژن را با کارایی بالاتری جذب و مصرف می کنند. بنابراین، کشت مخلوط ذرت و پنبه با کاهش تلفات و جذب بهتر نیتروژن موجود در اعماق مختلف خاک، کارایی استفاده از نیتروژن را بهبود بخشید.

منابع

۱- سازمان جهاد کشاورزی ایران. آمارنامه تولید محصولات زراعی. www.maj.ir/portal/Home/Default.aspx.

۲- عامری، ع. ا.، م. نصیری محلاتی و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۶. اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم بر کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد گل و مواد موثره همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). مجله پژوهشهای زراعی ایران. ۵: ۳۲۵-۳۱۵.

۳- کاظم پور، س. و م. تاجبخش. ۱۳۸۱. اثر برخی مواد ضد تعرق بر خصوصیات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت آبیاری محدود. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۳: ۲۱۱-۲۰۵.

۴- مجیدیان، م.، ا. قلاوند، ع. ا. کامکار حقیقی و ن. کریمیان. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی، کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی بر قرائت کلروفیل متر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت دانه ای. مجله علوم زراعی ایران. ۳- ۳۳۰-۳۰۲.

۵- نصیری محلاتی، م. و ع. ر. کوچکی. ۱۳۸۸. پهنه بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: برآورد پتانسیل و خلاء عملکرد. پژوهش های زراعی ایران. ۷: ۷۱۰-۶۹۵.

6- Alfred, E. H., M. Johnston, J. N. O'Sullivanc, and S. Polomad. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. Agriculture, Ecosystems and Environment. 79: 271– 280.

7- Benites, J. R., R. E. McCollum, and C. C. Naderman, 1993. Production efficiency of intercrops relative to sequentially planted sole crops in a humid tropical environment, Field Crops Research, 31: 1-18.

8- Boswell, F. C., J. J. Meisinger, and W. L. Case. 1985. Production, marketing and use of nitrogen fertilizers. In Fertilizer Technology and Use. European Journal of Agronomy. 25: 229-292.

9- Casper, B. B. and R. B. Jackson. 1997. Plant competition underground. Annual Review of Ecological Systems. 28: 561-573.

10- Cassman, K. G., A. Dobermann., D. T. Walters and H. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual Review of Environmental Resources. 28: 315–358.

11- Chikowo, R., P. Mapfumob, P. Nyamugafata, and K. E. Giller. 2004. Maize productivity and mineral N dynamics

1- Crimes

following different soil fertility management practices on a depleted sandy soil in Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment. 102: 119–131.
12- Connolly, J., H.C., Goma, and K. Rahim. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agriculture, Ecosystems and Environment. 87: 191–207.
13- Coque, M. and A. Gallais. 2007. Genetic variation among European maize varieties for nitrogen use efficiency under low and high nitrogen fertilization. Maydica. 52: 383–397.
14- Gallais, A., M. Coque, I. Quillere, J. L. Prioul, and B. Hirel. 2006. Modelling post-silking N-fluxes in maize using 15N-labeling-field experiments. New Phytology. 172: 696-607.
15- Guarda, G., S. Padovan and G. Delogu. 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bred-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy. 21: 181-192.
16- Hirel, B., A. Martin, T. Terce-Laforque, M. B. Gonzalez-Moro, and J. M. Estavillo. 2005. Physiology of maize I: a comprehensive and integrated view of nitrogen metabolism in a C4 plant. Physiology of Plant. 124: 167–177.
17- Jahansooz, M. R., I. A. M. Yunusa, D. R. Coventry, A. R. Palmer, and D. Eamus. 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. European Journal of Agronomy. 26: 275–282.
18- Kumbhar, A. M., U. A. Buriro, S. Junejo, F. C. Oad, G. H. Jamro, B. A. Kumbhar, and S. A. Kumbhar. 2008. Impact of different nitrogen levels on cotton growth, yield and N-uptake planted in legume rotation. Pak. J. Bot. 40: 767-778.
19- Li, L., J. H. Sun, F. S. Zhang, X. L. Li, S. C. Yang, and Z. Rengel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. Field Crops Research. 71: 123–137.
20- Ma, B. L., L. M. Dwyer, and E. G. Gregorich. 1999. Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize. Agronomy Journal. 91: 650–656.
21- Moll, R. H., E. J. Kamprath, and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal. 74: 562–564.
22- Nelson, D. W. and L. E. Somers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agron. J. 65: 109–112.
23- Oswald, A., J. K. Ransom, J. Kroschel, and J. Sauerborn. 2002. Intercropping controls *Striga* in maize based farming systems. Crop Protection. 21: 367-374.
24- Pandey, R. K., J. W. Maranville, and A. Admou. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. Agricultural Water Management. 46: 1–13.
25- Peng, Y., J. Niu, Z. Peng, F. Zhang, and C. Li. 2010. Shoot growth potential drives N uptake in maize plants and correlates with root growth in the soil. Field Crops Research. 115: 85–93.
26- Plénet, D. and G. Lemaire. 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N con- centration. Plant Soil. 216: 65–82.
27- Presterl, T., G. Seitz, M. Landbeck, E. M. Thiemt, W. Schmidt and H. H. Geiger. 2003. Improving nitrogen-use efficiency in european maize: estimation of quantitative genetic parameters. Crop Science. 43: 1259–1265.
28- Rameshwar, S. C. M. 2001. Crop yields and soil fertility under different combinations of fertilizers and FYM in maize-wheat sequence under rainfed conditions. Journal of Hill Research*:* 14: 26-31.
29- Raun, W. R. and G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal. 91: 357-363.
30- Rochester, I. J., M. B. Peoples, G. A. Constable. 2001. Estimation of the N fertiliser requirement of cotton grown after legume crops. Field Crops Research. 70: 43-53.
31- Sage, R. F. and R. W. Pearcy. 1987. The Nitrogen Use Efficiency of C_3 and C_4 Plants II. Leaf Nitrogen Effects on the Gas Exchange Characteristics of *Chenopodium album* (L.) and *Amaranthus retroflexus* (L.). Plant Physiol. 85: 355-359.
32- Shafi, M., J. Bakht, M. T. Jan, and Z. Shah. 2007. Soil C and N dynamics and maize (Zea may L.) yield as affected by cropping systems and residue management in North-western Pakistan. Soil & Tillage Research. 94: 520–529.
33- Sinclair, T. R. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. Agronomy Journal. 87: 632–641.
34- Singh, U., J. K. Ladha, E. G. Castillo, G. Punzalan, A. Tirol-Padre, and M. Duqueza. 1998. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium- and long-duration rice. Field Crops Research. 58:35–53.
35- Smiciklas, K. D. and F. E. Below. 1990. Influence of heterotic pattern on nitrogen use and yield of maize. Maydica. 35: 209–213.
36- Tsubo, M., S. Walker, and E. Mukhala. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research. 71: 17–29.
37- Uribelarrea, M., S. P. Moose, and F. E. Below. 2007. Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. Field Crops Research. 100: 82–90.
38- Wahua, T. A. T., O. Babaloia, and M. E. Akenova. 1981. Intercropping morphologically different type of maize with cowpea: LER and growth attributes of associated cowpea. Explants Agriculture. 17: 407-413.

39- Willey, R. W. and M. R. Rao. 1980 A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Explants Agriculture. 16: 117–125.
40- Yildirim, E. and I. Guvenc. 2005. Intercropping based on cauliflower: more productive, profitable and highly sustainable. European Journal of Agronomy. 22: 11–18.
41- Ying, J., S. Peng, G. Yang, N. Zhou, R. M. Visperas, and K. G. Cassman. 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments: II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency. Field Crops Research. 57:85–93.