مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۳، شماره ۲، ۱۳۹۱ (۳۳۳-۳۲۳)

اثر مقادیر و نحوه تقسیط کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد و عملکرد برنج رقم خزر

فرناز فرجی[۱]، مسعود اصفهانی[۲*]، مسعود کاوسی[۳]، مجید نحوی[۴] و بابک ربیعی[۵]
۱، ۲، ۵، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیاران دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان،
۳، ۴ ، دانشیار و استادیار پژوهش موسسه تحقیقات برنج کشور
(تاریخ دریافت؛ ۸۹/۷/۷ – تاریخ تصویب؛ ۹۱/۱/۳۰)

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر مقادیر و تقسیط کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد و روابط آنها با عملکرد دانه برنج رقم خزر، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار در ۳ تکرار در سال زراعی ۱۳۸۷ در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به اجرا گذاشته شد. مقادیر کود نیتروژن در سه سطح ($N_{۱۰}$، $N_{۲۰}$ و $N_{۳۰}$ کیلوگرم در هکتار) بر اساس محتوای کلروفیل بالغ‌ترین برگ که با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502) که در سه حد آستانه $S_{۳۶}$، $S_{۳۸}$ و $S_{۴۰}$ اندازه‌گیری می‌شد، به خاک افزوده شدند. نتایج نشان داد که به ترتیب در تیمار $S_{38}N_{30}$ ($SPAD_{38}$+30 kgN) و $S_{40}N_{30}$ ($SPAD_{40}$+30 kgN) که بالاترین مقدار کود نیتروژن (۱۰۳ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) را دریافت کرده بودند، بالاترین شاخص سطح برگ (۳/۲۸ و ۳/۱۳) و سرعت رشد گیاه (۲۹/۸۶ و ۲۹/۳۴ گرم بر مترمربع در روز) و در تیمار $S_{40}N_{30}$ بالاترین دوام سطح برگ (۱۳۹۲/۸۶ سانتی‌مترمربع در روز) بدست آمد. نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد که در مرحله گلدهی بین عملکرد دانه و سرعت رشد گیاه (r^2 =۰/۸۷**)، شاخص سطح برگ (r^2 =۰/۸۸**) و دوام سطح برگ (r^2 =۰/۷۶**) رابطه خطی و مثبتی وجود داشت. با توجه به اینکه بالاترین میزان عملکرد دانه و کارایی زراعی مصرف نیتروژن نیز در تیمار $S_{40}N_{30}$ مشاهده شد (به ترتیب ۵۹۵۵ کیلوگرم در هکتار و ۲۳/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم)، به نظر می‌رسد که دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه در این تیمار، بهبود شاخص‌های رشد (به ترتیب سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ) و استفاده بهینه از کود نیتروژن مصرف شده بوده است. مصرف نوبتی(تقسیط شده) کود نیتروژن به مقدار مناسب و مطابق با نیاز گیاه، باعث جلوگیری از تلفات آن در برنج شده و به صرفه-جویی در مصرف کود کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: برنج، دوام سطح برگ، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ، کارایی نیتروژن و عملکرد دانه.

مقدمه

خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان در واکنش به میزان دسترسی به منابع کودی به خصوص کود نیتروژن، دچار تغییر می‌شود. یکی از نقش‌های فیزیولوژیک نیتروژن تأثیر آن بر فتوسنتز می‌باشد. مصرف نیتروژن علاوه بر افزایش سطح فتوسنتز کننده

* نویسنده مسئول: مسعود اصفهانی تلفن: ۰۹۱۱-۱۳۲-۱۳۸۶ E-mail:mesfahan@yahoo.com

گیاه، باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو می‌شود. این آنزیم بیش از ۵۰ درصد پروتئین‌های محلول برگ را تشکیل می‌دهد، بنابراین انتظار می‌رود که همبستگی بالایی بین مقدار جذب و تثبیت دی‌اکسیدکربن و غلظت نیتروژن با پروتئین برگ وجود داشته باشد (Peng et al., 2006). با توجه به اینکه ارتباط نزدیکی بین غلظت نیتروژن برگ، آنزیم رابیسکو، میزان کلروفیل برگ و میزان فتوسنتز برگ وجود دارد (Murchie et al., 2002)، مصرف کود نیتروژن می‌تواند نقش مهمی در افزایش دوام سطح برگ و تولید ماده خشک به‌خصوص پس از مرحله گلدهی ایفاء کند (Yin et al., 2000). نیتروژن علاوه بر تأثیرگذاری بر تولید ماده خشک، بر درصد باروری خوشه و عملکرد دانه نیز تأثیر می‌گذارد (Peng et al., 1996; Ying et al., 1998). Ohnishi et al. (1999) گزارش نمودند که مقدار نیتروژن جذب شده در مرحله تشکیل مریستم خوشه ارتباط نزدیکی با عملکرد (r^2= ۰/۸۶۴) و وزن خشک گیاه برنج (۰/۹۳۵ =r^2) داشته و در مرحله ظهور خوشه و رسیدگی نیز ارتباط مشابهی بین نیتروژن جذب شده و متغیرهای فوق مشاهده شد.

در حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد کربوهیرات‌های ذخیره شده در دانه برنج جزء مواد فتوسنتزی ساخته شده در مراحل بعد از گلدهی است (Murchie et al., 2002) و مساحت و دوام برگ بوته در این مراحل ارتباط نزدیکی با میزان فتوسنتز و تولید دانه دارد (Biswas & Mandal, 1993). دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ از شاخص‌های مهم فیزیولوژیک در عملکرد دانه و زیست توده گیاهی برنج محسوب می‌شود (Yin et al., 2000; Ying et al., 1998). Ali Abbasi et al. (2007) با مصرف مقادیر مختلف کود نیتروژن در برنج رقم خزر گزارش کردند که شاخص سطح برگ بعد از نشاکاری در تمام تیمارهای کود نیتروژن افزایش یافت، اما بالاترین شاخص سطح برگ (به ترتیب ۵/۳ و ۵) در ۵ روز قبل از گلدهی در تیمارهایی که بیشترین کود نیتروژن را دریافت کرده بودند، مشاهده شد. Hussain et al. (2000) طی آزمایشی گزارش کردند در تیمارهایی که از کلروفیل‌متر جهت تقسیط نیتروژن استفاده گردید، با مصرف مقادیر کمتری نیتروژن (حدود ۳۰ کیلوگرم) عملکرد مشابهی با تیمارهایی که نیتروژن با زمان‌بندی ثابت تقسیط گردیده بود، به دست آمد. کارایی زراعی نیتروژن در روش تقسیط نیتروژن با استفاده از کلروفیل‌متر در مقایسه مصرف نیتروژن با زمان‌بندی ثابت از ۱۸ به ۲۲/۷ (کیلوگرم بر کیلوگرم) بهبود یافت. کود نیتروژن علاوه بر تأثیرگذاری بر تجمع ماده خشک در گیاه که بیانگر افزایش وزن گیاه در واحد زمان می‌باشد بر شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت رشد گیاه و بهبود عملکرد برنج و کارایی زراعی نیتروژن مؤثر است. تحقیق حاضر جهت تعیین مقدار و زمان مناسب مصرف کود نیتروژن به منظور دستیابی به ترکیب متعادلی از شاخص‌های رشد در سایه‌انداز گیاهی که باعث بهبود عملکرد دانه برنج پر محصول رقم خزر در شالیزار شود، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در فصل زراعی سال ۱۳۸۷ در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت در زمینی به مساحت ۸۰۰ متر مربع در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۳ متر به اجرا گذاشته شد. خاک محل اجرای آزمایش از نوع رسی لومی و میزان نیتروژن، فسفر و پتاس آن به ترتیب ۰/۱۸ درصد، ۱۵/۸ و ۱۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم، مواد آلی دو درصد، اسیدیته کل ۷/۵ و هدایت الکتریکی آن۱/۰۸ دسی زیمنس بر متر بود. در اول خرداد ماه گیاهچه‌های سالم و یکنواخت برنج از خزانه انتخاب و به زمین اصلی منتقل و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی متر به تعداد ۱ گیاهچه در هر کپه، نشاءکاری شدند. نوع برنج مورد استفاده در این آزمایش، رقم خزر بود زیرا در استان گیلان ۲۳۸۰۴۰ هکتار زمین زیر کشت برنج قرار دارد که از این مقدار حدود ۳۰ درصد به کشت برنج پرمحصول که عمدتاً رقم خزر می‌باشد اختصاص دارد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با نه تیمار کودی بر اساس سه حد آستانه کلروفیل‌متر (۳۶، ۳۸ و ۴۰) (Peng et al., 1995) و سه سطح کودی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) همراه با دو تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن و تیمار کودی توصیه شده) انجام شد. برای

تیمار شاهد اول (صفر) کود نیتروژن در نظر گرفته نشد، برای تیمار شاهد دوم (توصیه شده)، ۵۰ درصد از کل نیتروژن مورد نیاز (۴۵ کیلوگرم در هکتار) در زمان نشاکاری به خاک افزوده شد (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر نیتروژن تقسیط شده در طی دوره رشد گیاه برنج

مقادیر کود نیتروژن	پایه	زمان مصرف کود نیتروژن				
		۲۳ روز بعد از نشاکاری	۴۲ روز بعد از نشاکاری	۵۵ روز بعد از نشاکاری	۶۹ روز بعد از نشاکاری	مجموع نیتروژن مصرف شده
شاهد (بدون کود)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شاهد (توصیه شده)	٤٥	-	-	۲۲.٥	۲۲.٥	۹۰
$S_{36}N_{10}$	۳۳	۱۰	-	۱۰	-	٥۳
$S_{36}N_{20}$	۳۳	-	۲۰	-	-	٥۳
$S_{36}N_{30}$	۳۳	۳۰	-	۱۰	-	۷۳
$S_{38}N_{10}$	۳۳	۱۰	۱۰	۱۰	-	٦۳
$S_{38}N_{20}$	۳۳	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸۳
$S_{38}N_{30}$	۳۳	۳۰	۱۰	-	۳۰	۱۰۳
$S_{40}N_{10}$	۳۳	۱۰	-	۱۰	۱۰	٦۳
$S_{40}N_{20}$	۳۳	۲۰	۲۰	۲۰	-	۹۳
$S_{40}N_{30}$	۳۳	۳۰	۱۰	۳۰	-	۱۰۳

S_{36} ، S_{38} و S_{40}: به ترتیب اعداد کلروفیل‌متر ۳۶، ۳۸ و ۴۰

N_{10}، N_{20} و N_{30}: به ترتیب مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار

برای تعیین درجه سبزینگی بالاترین برگ بوته، به طور هفتگی در هر کرت تعداد ۳۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و از بالاترین برگ بالغ هر بوته، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502, Minolta Co., Japan) برای هر برگ در سه نقطه (نوک، وسط و قاعده پهنک)، قرائت کلروفیل انجام گرفت، سپس میانگین‌گیری انجام شد. هرگاه عدد مربوط به محتوای کلروفیل برگ‌ها از حد آستانه کلروفیل‌متر مربوطه (۳۶، ۳۸ و ۴۰) پایین‌تر بود، کوددهی به میزان تعیین شده (۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) انجام می‌گرفت. برای تیمار توصیه شده نیز ۲۵ درصد از کود نیتروژن مورد نیاز در زمان حداکثر پنجه زنی (۵۵ روز پس از نشاکاری) و ۲۵ درصد باقیمانده در زمان آغاز گلدهی (۶۹ روز پس از نشاکاری) به صورت سرک در زمین پخش شد. برای تعیین عملکرد دانه، ۱۰۸ روز پس از نشاکاری بوته‌های موجود در مساحت ۶ مترمربع در هر کرت کف‌بر و پس از خرمنکوبی، عملکرد دانه در واحد سطح بر اساس رطوبت ۱۴ درصد دانه محاسبه شد. جهت تعیین سطح برگ از روز بیستم بعد از نشاکاری و با فاصله ۱۴ روز یکبار تا زمان برداشت (بعد از مرحله ۵۰ درصد گلدهی)، در هر کرت از مساحت ۰/۲ متر مربع، تعداد ۵ بوته با رعایت اثر حاشیه‌ای کف‌بر و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Licore3100, USA) مساحت کل برگ‌ها به طور جداگانه اندازه‌گیری شده و سپس شاخص سطح برگ (LAI) محاسبه شد. در هر مرحله نمونه‌برداری پس از اندازه‌گیری مساحت برگ، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۷۲ ساعت خشکانده و سپس توزین شدند. در پایان فصل نمونه‌ای از بوته‌های خشک شده به همراه نمونه‌های جمع‌آوری شده از ۵ بوته در روز قبل از برداشت به آزمایشگاه بخش خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور منتقل و مقدار نیتروژن کاه و دانه‌ها به روش هضم تقطیر کجلدال بر حسب وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شدند. شاخص‌های رشد با

استفاده از روابط زیر در دوره گلدهی محاسبه شدند (Gardner et al., 1999): برای این منظور ابتدا مقادیر LDW، LAI و TDW برای هر یک از تیمارها طی فصل رشد اندازه‌گیری و سپس بهترین معادله برازش گردید.

$$LAI^{1}= \exp (á+b́t+ć t^2) \quad (۱)$$

$$CGR^{2}= (b+2ct)*[\exp (a+bt+ct^2)] \quad (۲)$$

$$LAD^{3}= (t_2-t_1)*(La_2+La_1)/2 \quad (۳)$$

برای تعیین کارایی زراعی نیتروژن، نسبت اختلاف عملکرد دانه بین تیمار شاهد با هر یک از تیمارهای کودی به میزان کود نیتروژن مصرفی در همان تیمار برای هر تکرار به طور جداگانه محاسبه شد (Singh et al., 1998).

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش LSD از نرم افزار SAS ، برای محاسبات ضرایب همبستگی و رگرسیونی از نرم‌افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

1. Leaf Area Index
2. Crop Growth Rate
3. Leaf Area Duration

نتایج و بحث

سرعت رشد گیاه

تیمارهای $S_{40}N_{30}$ و $S_{40}N_{20}$, $S_{38}N_{30}$ با دریافت بالاترین سطوح کود نیتروژن به ترتیب با میانگین ۲۹/۸۶، ۲۶/۸۳ و ۲۹/۳۴ گرم بر متر مربع در روز بیشترین سرعت رشد گیاه را در مرحله گلدهی داشتند (جدول ۴). گزارش شده است که در ارقـــام پر محصـول برنج حداکثر سرعت رشد گیاه ۲۱ تا ۳۴ گرم بر متر مربع در روز می‌باشد (Peng et al., 2006). سرعت رشد گیاه در همه تیمارها در دوره رشد رویشی گیاه روند افزایشی داشته و در مرحلهٔ بعد از ۵۰ درصد گلدهی (۷۹ روز بعد از نشاکاری) در تیمارهای کود نیتروژن و در تیمار شاهد در زمان آغاز گلدهی (۶۹ روز بعد از نشاکاری) به بالاترین مقدار خود رسید (شکل ۱).

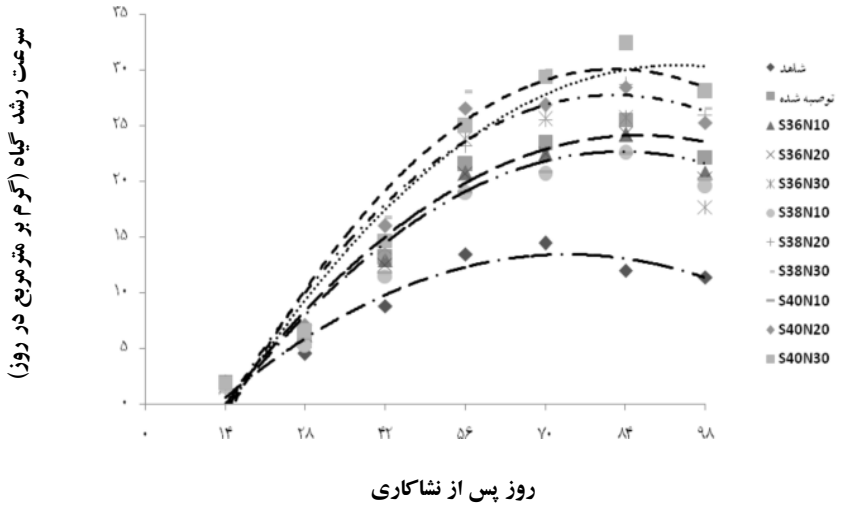
جدول ۲- تجزیه واریانس صفت‌های سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ در ۶۹، ۷۹ و ۸۹ روز بعد از نشاکاری در برنج رقم خزر

منابع تغییرات	روز پس از نشاکاری	درجه آزادی	میانگین مربعات		
			سرعت رشد گیاه	شاخص سطح برگ	دوام سطح برگ
بلوک	۶۹	۲	۸۹/۱۶*	۳/۲۲**	۰/۰۲ ns
	۷۹	۲	۱۲/۲۷ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۵ ns
	۸۹	۲	۹/۴۷ ns	۰/۰۴ ns	
تیمار	۶۹	۱۰	۵۷/۱۷**	۰/۸۸**	۰/۲۳*
	۷۹	۱۰	۵۳/۸۱*	۰/۹۹*	۰/۲۰*
	۸۹	۱۰	۱۰۵/۴۳**	۰/۳۸**	
خطا ی آزمایش	۶۹	۲۰	۱۶/۷۲	۰/۲۴	۰/۰۷
	۷۹	۲۰	۱۶/۲۷	۰/۳۲	۰/۰۷
	۸۹	۲۰	۲/۹۸	۰/۰۴	
ضریب تغییرات (درصد)	۶۹		۱۷/۲۰	۱۹/۸۱	۱۹/۹۹
	۷۹		۱۵/۸۸	۲۴/۹۳	۱۷/۹۲
	۸۹		۲۲/۰۱	۱۳/۴۰	

ns: غیر معنی‌دار * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

علت چنین روند افزایشی تدریجی، احتمالاً جذب تابش خورشیدی همراه با افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد و نیز نشان می‌دهد که مصرف کود نیتروژن در زمان آغاز گلدهی به مقدار مناسب مطابق با نیاز گیاه باعث افزایش سرعت رشد گیاه می‌شود. سرعت رشد گیاه بعد از

رسیدن به حداکثر مقدار خود، مطابق با تغییرات شاخص سطح برگ، کاهش یافت که احتمالاً این موضوع به علت سایه‌اندازی برگ‌ها و کاهش نفوذ نور در سایه‌انداز و ریزش برگ‌های مسن تا انتهای دوره رشد می‌باشد (Ali Abbasi et al., 2007).



شکل ۱- تغییرات سرعت رشد گیاه در واحد زمان در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر

با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار سرعت رشد گیاه با دوام سطح برگ ($r=۰/۹۰۲^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r=۰/۹۷۲^{**}$)، غلظت نیتروژن برگ ($r=۰/۶۷۰^{*}$) و مقدار کلروفیل برگ ($r=۰/۸۹۱^{**}$) در زمان گلدهی (جدول)، می‌توان گفت که سرعت بالاتر رشد گیاه در طی رشد زایشی در تیمارهایی با سطوح بالاتر کود نیتروژن را می‌توان به افزایش غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، دوام و توسعه سطح برگ و فعالیت بالاتر فتوسنتزی برگ نسبت داد (Peng et al., 1996 & Ali Abbasi et al., 2007).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفت‌های عملکرد دانه و کارایی زراعی نیتروژن در برنج رقم خزر

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد دانه	کارایی زراعی نیتروژن
بلوک	۲	۶۸۲۳۰/۱۱ ns	۳۱۶/۱۴**
تیمار	۱۰	۱۳۶۰۸۴۶/۶۷**	۷۳/۱۴**
خطای آزمایش	۲۰	۲۰۸۶۴۰/۲۰	۲۶/۷۹
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۳۶	۲۶/۹۲

ns: غیر معنی دار و **: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

شاخص سطح برگ

تیمارهای $S_{38}N_{30}$ و $S_{40}N_{30}$ با دریافت بالاترین سطوح کود نیتروژن به ترتیب با میانگین ۳/۲۸ و ۳/۱۳ بیشترین شاخص سطح برگ را در مرحله گلدهی داشتند (جدول ۴) (شکل ۲). بر اساس گزارش Yoshida (۱۹۸۱) حداکثر شاخص سطح برگ اندکی قبل از مرحله خوشه‌دهی بدست می‌آید. پس از این مرحله به علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد. این کاهش در سطوح پایین کود نیتروژن شدیدتر می‌باشد. در سطوح بالاتر کود نیتروژن روند کاهشی شاخص سطح برگ کندتر است که این موضوع را می‌توان به تأثیر

مثبت نیتروژن بر توسعه سطح برگ و تولید پنجه، افزایش جذب تابش خورشیدی و افزایش دوام فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها نسبت داد (Chaturvedi, 2005).

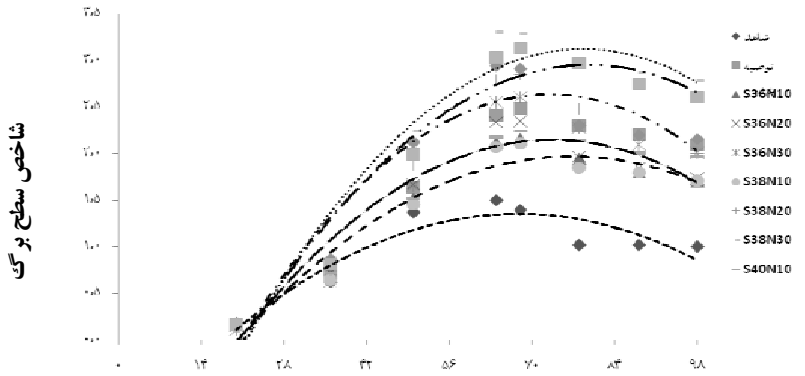
جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد در ۶۹، ۷۹ و ۸۹ روز بعد از نشاکاری در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر

	روز)			شاخص سطح برگ			دوام سطح برگ (سانتیمترمربع در روز)		عملکرد دانه (کیلوگرم در	نیتروژن	نیتروژن تجمع یافته در بوته (کیلوگرم در
	روز پس از نشاکاری			روز پس از نشاکاری			روز پس از نشاکاری				
	۶۹	۷۹	۸۹	۶۹	۷۹	۸۹	۶۹	۷۹			
شاهد (بدون	۱۴/۴۶ c	۱۲/۰۰ c	۱۱/۳۷ c	۱/۴۰ c	۱/۰۲ c	۰/۷۶ d	۶۱۴/۲۹ c	۷۳۵/۷۱ c	۳۷۹۰/۰ d	-	۴۰/۴ c
توصیه شده	۲۳/۴۰ ab	۲۵/۵۲ ab	۲۲/۱۴ b	۲/۴۸ a	۲/۳۰ ab	۱/۷۲ b	۸۱۴/۲۹ a	۱۰۰۰/۰۰ bc	۵۲۱۰/۶ b	۲۲/۷ ab	۶۴/۷ ab
$S_{36}N_{10}$	۲۲/۴۴ b	۲۴/۱۹ ab	۲۰/۷۷ b	۲/۱۶ bc	۱/۹۴ b	۱/۴۱ bc	۸۹۲/۸۲	۹۶۴/۲۹ bc	۴۴۰۶/۱ c	۱۳/۴ bc	۵۵/۰ b
$S_{36}N_{20}$	۲۲/۴۹ b		۲۰/۱۳ b	۲/۳۰ ab	۱/۹۷ b	۱/۲۸ c	۸۷۱/۴۳ b	۹۲۱/۴۳ bc	۴۵۶۵/۰ c	۱۴/۶ bc	۵۳/۲ b
$S_{36}N_{30}$	۲۵/۵۴ a		۱۷/۶۸ b	۲/۶۱ ab	۲/۲۸ ab	۱/۵۱ bc	۹۵۷/۱۴ a	۱۰۷۸/۵۷ b	۴۹۳۵/۶ c	۲۱/۷ b	۵۳/۸ b
$S_{38}N_{10}$	۲۰/۶۴ bc	۲۲/۵۵ b	۱۹/۵۱ b	۲/۱۱ c	۱/۸۵ b	۱/۲۹ c	۷۱۴/۲۹ b	۸۵۰/۰۰ bc	۴۵۲۲/۸ c	۱۰/۷ c	۵۲/۱ b
$S_{38}N_{20}$	۲۵/۵۰ a	۲۸/۶۵ ab	۲۵/۹۲ a	۲/۸۵ a	۲/۶۰ ab	۱/۶۷ b	۹۳۵/۷۱ b	۱۱۵۰/۰۰ ab	۵۰۴۳/۳ c	۲۲/۶ ab	۶۹/۹ a
$S_{38}N_{30}$	۲۹/۸۶ a	۳۱/۸۷ a	۲۶/۵۵ a	۳/۲۸ a	۳/۰۰ a	۱/۴۷ bc	۱۱۱۴/۲۹ a	۱۱۷۸/۵۷ ab	۵۲۶۲/۹ ab	۲۲/۹ ab	۶۵/۶ a
$S_{40}N_{10}$	۲۰/۸۵ bc	۲۲/۴۴ b	۲۰/۴۰ b	۲/۲۵ b	۲/۱۴ ab	۱/۶۸ b	۹۲۱/۴۳ b	۱۰۵۰/۰۰ b	۴۴۷۳/۳ c	۱۶/۷ b	۵۲/۷ b
$S_{40}N_{20}$	۲۶/۸۳ a	۲۸/۴۵ ab	۲۵/۲۴ a	۲/۹۱ ab	۲/۸۰ ab	۱/۳۶ bc	۱۰۲۱/۴۳ a	۱۱۷۸/۵۷ ab	۵۶۵۱/۷ b	۲۲/۷ ab	۶۸/۷ a
$S_{40}N_{30}$	۲۹/۳۴ a	۳۲/۳۵ a	۲۸/۰۴ a	۳/۱۳ a	۲/۹۷ a	۲/۲۰ a	۱۱۸۵/۷۱ a	۱۳۹۲/۸۶ a	۵۹۵۵/۰ a	۲۳/۵ a	۷۱/۵ a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اختلاف معنی-داری ندارند

S36، S38 و S40: به ترتیب اعداد کلروفیل‌متر ۳۶، ۳۸ و ۴۰

N10، N20 و N30: به ترتیب مقادیر کود نیتروژن ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار



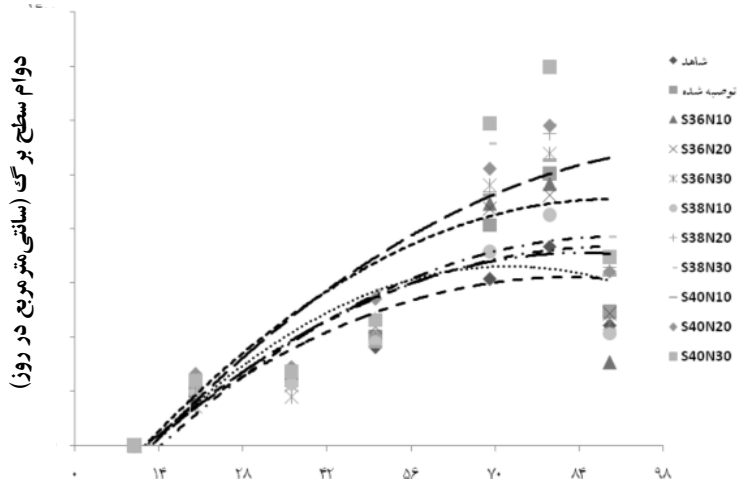
شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ در واحد زمان در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر

شاخص سطح برگ در ۶۹ روز بعد از نشاکاری در تیمار $S_{38}N_{30}$ بالاتر از تیمار $S_{40}N_{30}$ بود و این مطلب با توجه به مقدار یکسان کودی که این دو تیمار دریافت کرده بودند (۱۰۳ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)،

احتمالاً به این دلیل بود که تیمار $S_{38}N_{30}$ در ۴۲ روز بعد از نشاکاری (اواسط پنجه زنی) سومین تقسیط نیتروژن را دریافت کرد که این موضوع باعث افزایش تعداد پنجه و توسعه سطح برگ‌ها شد در حالیکه سومین تقسیط نیتروژن برای تیمار $S_{40}N_{30}$ در مرحله حداکثر پنجه‌زنی مصرف شد. شاخص سطح برگ در ۸۹ روز بعد از نشاکاری در تیمار $S_{40}N_{30}$ اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت که احتمالاً به دلیل مصرف آخرین تقسیط نیتروژن در مرحله آغاز گلدهی در این تیمار بود که باعث بالا نگه داشتن شاخص سطح برگ در زمان طولانی‌تری در این تیمار شد. در آزمایش Ohnishi et al. (۱۹۹۹) و Chaturvedi (۲۰۰۵) نیز گزارش شد که با افزایش مقدار نیتروژن، شاخص سطح برگ افزایش یافت. محاسبه ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های رشد نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی با مقدار نیتروژن تجمع یافته در کل بوته ($r=۰/۹۲۴^{**}$)، مقدار کلروفیل($r=۰/۸۹۲^{**}$) و عملکرد دانه ($r=۰/۸۱۷^{**}$) وجود داشت (جدول).

دوام سطح برگ

مقایسه میانگین‌های دوام سطح برگ در طی مرحله گلدهی نشان داد که بالاترین میزان دوام سطح برگ در بین تیمارهای کود نیتروژن در ۷۹ روز بعد از نشاکاری در تیمار $S_{40}N_{30}$ و به مقدار ۱۳۹۲/۸۶ سانتی‌مترمربع در روز و پایین‌ترین نسبت سطح برگ در تیمار شاهد و به مقدار ۷۳۵/۷۱ سانتی‌مترمربع در روز بدست آمد (جدول ۴). مقایسه روند تغییرات دوام سطح برگ در تیمارهای مختلف کود نیتروژن نشان داد که دوام سطح برگ بعد از نشاکاری در کلیه تیمار ها افزایش یافت، اما زمان به حداکثر رسیدن مقدار دوام سطح برگ در تیمارهای مختلف کود نیتروژن متفاوت بود (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات دوام سطح برگ در واحد زمان در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر

Zhou et al. (۱۹۹۲) گزارش نمودند که مصرف نیتروژن در مراحل آبستنی و پر شدن دانه‌ها، باعث بالا نگهداشتن میزان کلروفیل برگ پرچم و تأخیر در پیری برگ و افزایش دوام سطح برگ می‌شود.

با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین غلظت نیتروژن کل بوته و مقدار کلروفیل برگ با صفت دوام سطح برگ در مرحله گلدهی (به ترتیب $۰/۷۶۲^{**}$ و $۰/۹۱۶^{**}$) (جدول۵)، می‌توان بیان نمود که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش غلظت نیتروژن، حفظ سبزینگی و دوام سطح برگ می‌شود، بنابراین می‌توان دوام بالاتر سطح برگ را طی مراحل زایشی در تیمارهایی با سطح بالاتر نیتروژن که آخرین کود سرک نیتروژن را در

ابتدای رشد زایشی دریافت کرده بودند نسبت به تیمار شاهد و تیمارهایی با سطوح پایین‌تر کود نیتروژن انتظار داشت (جدول ۴) (شکل ۳).

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های رشد، عدد کلروفیل‌متر و غلظت نیتروژن برگ در ۶۹ روز بعد از نشاکاری در برنج رقم خزر در تیمارهای کود نیتروژن

	سرعت رشد گیاه	تجمع ماده خشک	سرعت جذب خالص	دوام سطح برگ	شاخص سطح برگ	عدد کلروفیل‌متر -
غلظت نیتروژن برگ	۰/۶۴۵*	۰/۵۹۶ ns	-۰/۴۷۳ ns	۰/۶۰۹*	۰/۶۸۴*	۰/۶۹۶*
عدد کلروفیل‌متر	۰/۸۹۰**	۰/۸۷۶**	-۰/۶۶۸*	۰/۸۲۹**	۰/۸۶۸**	۱
شاخص سطح برگ	۰/۹۸۶**	۰/۹۵۶**	-۰/۷۹۱**	۰/۸۹۶**	۱	
دوام سطح برگ	۰/۹۲۳**	۰/۸۶۱**	-۰/۶۷۶*	۱		
عملکرد نهایی دانه	۰/۷۹۵**	۰/۸۰۳**	-۰/۶۴۲*	۰/۶۸۹*	۰/۷۷۲**	۰/۸۵۸**

ns : غیر معنی‌دار * و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های رشد، عدد کلروفیل‌متر و غلظت نیتروژن برگ در ۷۹ روز بعد از نشاکاری در برنج رقم خزر در تیمارهای کود نیتروژن

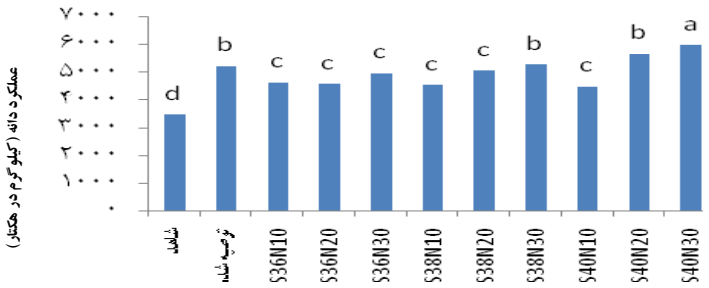
	سرعت رشد	تجمع ماده خشک	سرعت جذب خالص	دوام سطح	شاخص سطح برگ	عدد کلروفیل‌متر
غلظت نیتروژن برگ	۰/۶۷۰*	۰/۸۸۰**	-۰/۷۷۰**	۰/۷۶۲**	۰/۹۲۴**	۰/۸۳۲**
عدد کلروفیل‌متر	۰/۸۹۱**	۰/۸۹۴**	-۰/۸۲۶**	۰/۹۱۶**	۰/۸۹۲**	۱
شاخص سطح برگ	۰/۹۷۲**	۰/۹۶۹**	-۰/۸۹۲**	۰/۹۵۷**	۱	
دوام سطح برگ	۰/۹۰۲**	۰/۹۳۸**	-۰/۸۶۹**	۱		
عملکرد نهایی دانه	۰/۷۹۵**	۰/۸۱۷**	-۰/۸۲۱**	۰/۷۵۳**	۰/۸۱۷**	۰/۸۵۸**

ns: غیر معنی‌دار * و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

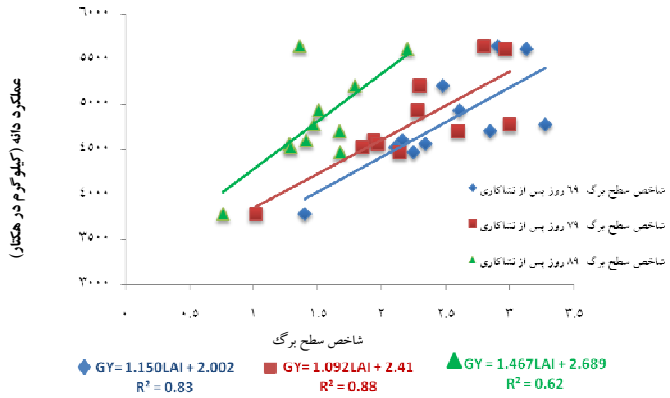
عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه در تیمار $S_{40}N_{30}$ به مقدار ۵۹۵۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. کمترین عملکرد دانه در تیمار شاهد به مقدار ۳۴۵۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با اختلاف معنی‌داری پایین‌تر از سایر تیمارها بود (شکل ۴).گزارش شده است که در ارقام مختلف برنج بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی همبستگی نزدیکی وجود دارد (۰/۹۸ تا r=۰/۹۹) و افزایش عملکرد می‌تواند از طریق افزایش شاخص سطح برگ صورت گیرد (Ali Abbasi et al., 2007). Ghosh & Singh (۱۹۹۸) نیز گزارش نمودند که ارتباط مثبت و نزدیکی بین سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ و عملکرد دانه وجود دارد، به طوریکه سرعت رشد گیاه در آغاز مرحله خوشه‌دهی تا گلدهی و شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی به ترتیب حدود ۸۶ و ۷۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روابط رگرسیونی در تحقیق حاضر نیز نشان داد که رابطه خطی و مثبتی بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه در ۶۹، ۷۹ و ۸۹ روز بعد از نشاکاری وجود داشت، به طوریکه به ترتیب ۸۳، ۸۸ و ۶۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط تغییرات شاخص سطح برگ قابل پیش‌بینی بود (شکل ۵). در این مراحل سرعت رشد گیاه رابطه خطی و مثبتی را با عملکرد دانه نشان داد به طوریکه افزایش سرعت رشد گیاه در زمان‌های یاد شده به ترتیب ۸۵، ۸۷ و ۷۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند

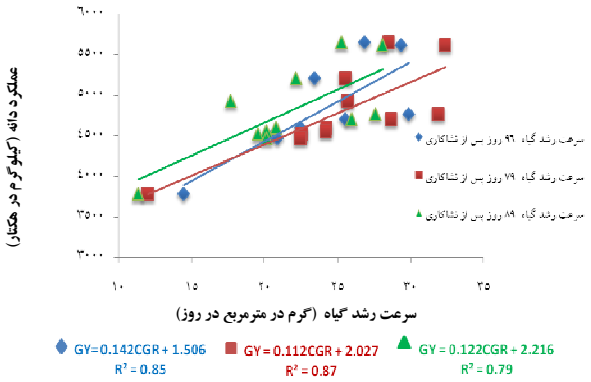
(شکل ۶). دوام سطح برگ در آغاز مرحله خوشه‌دهی تا مرحله رسیدگی می‌تواند نمایانگر تقریبی عملکرد دانه باشد (شکل ۷)، زیرا دوام سطح برگ در این مرحله ارتباط نزدیکی با مواد فتوسنتزی و تجمع ماده خشک دارد و شاخصی از میزان تولید می‌باشد (Sadrzadeh, 2002). Chau & Bhargava (۱۹۹۳) گزارش نمودند که دوام سطح برگ و تجمع ماده خشک پس از مرحله گلدهی همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد دانه دارد و با افزایش فعالیت فتوسنتزی در این مراحل، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه افزایش می‌یابد.



شکل ۴- عملکرد دانه در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر



شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه و سرعت رشد گیاه در مرحله گلدهی در تیمارهای کود نیتروژن در برنج رقم خزر

کارایی زراعی نیتروژن

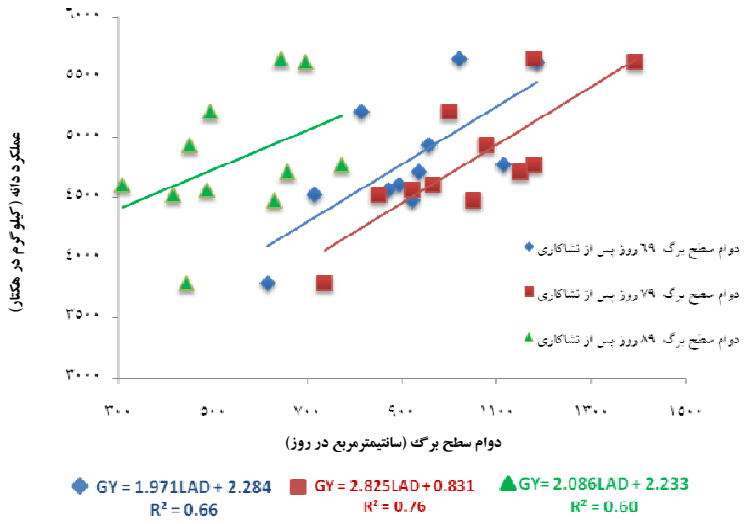
بیشترین کارایی زراعی نیتروژن به مقدار ۲۳/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم در تیمار $S_{40}N_{30}$ مشاهده شد (جدول). گزارش شده است که در مزارع آزمایشی در ایستگاه‌های تحقیقاتی، کارآیی زراعی نیتروژن در حدود

۱۵ تا ۲۵ کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم کود مصرف شده می‌باشد که این مقدار به فصل رشد، میزان عملکرد، زمان و مقدار کود مورد استفاده بستگی دارد (De Datta, 1986). Ohnishi et al. (۱۹۹۹) گزارش کردند که بالاترین کارایی زراعی نیتروژن از تیماری با تقسیط کود نیتروژن در شش مرحله به مقدار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به مقدار ۱۸ کیلوگرم بر کیلوگرم بدست آمد.

جدول ۷- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های رشد، عدد کلروفیل‌متر و غلظت نیتروژن برگ در ۸۹ روز بعد از نشاکاری در برنج رقم خزر در تیمارهای کود نیتروژن

	سرعت رشد	تجمع ماده	سرعت جذب خالص	دوام سطح برگ	شاخص سطح	عدد کلروفیل‌متر
غلظت نیتروژن	۰/۹۴۶**	۰/۹۲۳**	-۰/۳۲۷ ns	۰/۶۵۲*	۰/۷۴۶**	۰/۸۱۸**
عدد کلروفیل‌متر	۰/۷۲۱*	۰/۶۷۵*	-۰/۰۸۵ ns	۰/۵۰۷ ns	۰/۵۷۳ ns	۱
شاخص سطح	۰/۷۲۷*	۰/۶۸۰*	-۰/۳۷۵ ns	۰/۶۴۲*	۱	
دوام سطح برگ	۰/۶۹۶*	۰/۸۱۹**	-۰/۴۸۶ ns	۱		
عملکرد نهایی	۰/۷۴۰**	۰/۸۴۸**	-۰/۵۱۷ ns	۰/۷۰۶*	۰/۷۱۰*	۰/۷۲۴*

ns: غیر معنی‌دار * و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد



نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان نمود که مصرف تقسیط شده کود نیتروژن منجر به افزایش غلظت نیتروژن و سبزینگی برگ شد و علت این موضوع در دسترس بودن نیتروژن در طی مرحله رویشی و زایشی و افزایش دوام سطح برگ، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه در تیمارهای کود نیتروژن بود که در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه و کارایی زراعی نیتروژن در این تیمارها گردید. افزایش فراهمی نیتروژن در طی دوره رشد گیاه برنج و مصرف آن در زمانی که گیاه به آن نیاز دارد، باعث می‌شود که گیاه برنج مقدار زیادی از کود نیتروژن مصرف شده را در جهت افزایش شاخص‌های رشد استفاده نماید. از طرف دیگر با توجه به اینکه افزایش میزان نیتروژن در اندام هوایی بر فرآیندهای تأثیرگذار بر تولید دانه از قبیل سرعت فتوسنتز و فراهمی آنزیم‌های فتوسنتزی مؤثر بوده و با افزایش میزان غلظت نیتروژن برگ، میزان جذب و تحلیل دی‌اکسید کربن به طور خطی افزایش می‌یابد، تقسیط کود نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ و به دنبال آن افزایش سرعت رشد گیاه

می‌شود. این موضوع علاوه بر افزایش عملکرد دانه، باعث صرفه‌جویی در مصرف کود و کاهش تلفات نیتروژن و در نتیجه افزایش کارایی مصرف نیتروژن در برنج می‌شود.

REFERENCES

1. Ali Abbasi, H. R., Esfahani, M., Rabiei, B. & Kavousi, M. (2007). Determination of relationship between growth indices and rice yield *(Oryza sativa* L. cv. Khazar.*)* affected by different levels and split application of nitrogen fertilizer. *Journal of Agriculture Science*. 8, 23-36. (In Farsi).
2. Biswas, A. K. & Mandal, S. K. (1993). Senescence of flag leaf and glume in rice: role of grains during source-sink modification by physical and chemical means. *Journal of Agronomic & Crop Science*. 171, 13-19.
3. Chaturvedi, I. (2005). Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*Oryza sativa*). *Journal of Central European Agriculture*. 4,611-618.
4. Chau, N. M., & Bhargava, S. C. (1993). Physiological basis of higher productivity in rice. *Indian Journal of Plant Physiology*. 36, 215-219.
5. Darier, S. EI., Hemada, M. & Sadek, L. (2002). Dry matter distribution and growth analysis in soybean under natural agricultural conditions. *Pakistan Journal of Biological Science*. 5(5), 545-549.
6. De Datta, S. K. (1986). Improving nitrogen fertilizer efficiency in lowland rice in tropical Asia. *Fertilizer Research*. 9, 171-186.
7. Gardner, F.P., Pearce, R.B. & Mitchell, R.L. (1999). *Physiology of crop plants.* (In Farsi).
8. Ghosh, D. C. & Singh, B. P. (1998). Crop growth modeling for wetland rice management. *Environment Ecology*. 16, 446-449.
9. Hussain, F., Bronson, K. F., Singh, Y., Singh, B. & Peng, S. (2000). Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. *Agronomi Journal*. 92, 875-879.
10. Murchie, E. H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P. & Peng, S. (2002). Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis the flag leaves of field-grown rice? *Journal of Experimental Botany*. 53(378), 2217-2224.
11. Ohnishi, M., Horrio, T., Homma, K., Supapoj, N., Takano, H. & Yamamoto, S. (1999). Nitrogen management and cultivars effect on rice yield and nitrogen efficiency in northeast Thailand. *Field Crops Research*. 64:109-120.
12. Peng, S., R.C. Laza, F.V. Garcia & K.G. Cassman. (1995). Chlorophyll meter estimates leaf area-based N concentration of rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26, 927-935.
13. Peng, S., Garcia, F. V., Laza, R. C., Sanico, A. L., Visperas, R. M. & Cassman, K. G. (1996). Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Research*. 47, 243-252.
14. Peng, S., Buresh, R. J., Huang, J., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Wang, G. & Zhang, F. (2006). Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice system in China. *Field Crops Research*. 96, 37-47.
15. Sadrzadeh, S. M. (2002). *Determination of N and P fertilizer effect on yield, yield components and growth indices in rice* (*Oryza sativa* L. cv. Khazar). Msc, Thesis. University of Guilan. (In Farsi).
16. Singh, U., J.K. Ladha, E.G. Castillo, G. Punzalan, A. Tirol-Padren and M. Duqueza. 1998. Genotype variation in nitrogen use efficiency in medium-and long-duration rice. *Field Crops Research*. 58, 35-53.
17. Weerakoon, W. M., Olszyk, D. M. & Moss, D. N. (1999). Effects of nitrogen nutrition on responses of rice seedlings to carbon dioxide. *Agricultural Ecology and Environment*. 72, 1-8.
18. Yin, X., Schapendonk, AD.H.C.M., Kropff, M.J., Van Oijen, M. & Bindraban, P.S. (2000). Generic equation of nitrogen-limited leaf area index and its application in crop growth models for predicting leaf senescence. *Annals of Botany*. 85, 579-585.
19. Ying, J., Peng, S., Yang, G., Zhou, N., Visperas, R. M. & Cassman, V. G. (1998). Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments, II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency. *Field Crops Research*. 57, 85-93.
20. Yoshida, S. (1981). Fundamentals of Rice Crop Science. *International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines*. 269 pp.
21. Zhou, R. B., Gu, L. P. & Zhou, J. H. (1992). Study of improvement of rice fruiting and its nutrition`s quality by intensifying the late nitrogen nutrition. *Plant Physiology*. 28, 171-176.