doi: 10.22124/c.2019.10772.1407

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هشتم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۷ (۴۲۱-۴۰۹)

کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی بر عملکرد، کارایی مصرف نیتروژن و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک برنج

مهشید زادبهتوئی[۱]، رئوف سیدشریفی[۲*] و راضیه خلیل‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

چکیده

به‌منظور مطالعه عملکرد دانه، کارایی مصرف نیتروژن، انتقال مجدد و مولفه‌های پر شدن دانه برنج در واکنش به کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه‌ای در شهرستان سیاهکل استان گیلان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل مقادیر کود نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) از منبع اوره و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد میکوریز، کاربرد ازتوباکتر و آزوسپریلیوم، کاربرد توأم میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) بودند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه و مولفه‌های پر شدن دانه (سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه) در بالاترین سطح نیتروژن و کاربرد توأم میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم به‌دست آمد. با افزایش سطوح نیتروژن، میزان انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه کاهش یافت. کاربرد میکوریز، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم با ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه را کاهش داد. بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن به سطح کودی ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کم‌ترین آن به سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تعلق داشت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و کاربرد توأم میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم می‌تواند به‌عنوان ابزار مناسب برای افزایش عملکرد دانه برنج مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، باکتری‌های محرک رشد، سرعت پر شدن دانه، میکوریز

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
* نویسنده مسئول: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در ایران و جهان است که غذای عمده بیش از نیمی از مردم جهان را تأمین می‌کند (Yu *et al.*, 2010). عملکرد نهایی دانه را دو فرآیند فیزیولوژیک یعنی فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ماده انباشته شده قبل از گلدهی تشکیل می‌دهند (Dordas and Sioulas, 2008). توانایی ذخیره فتوسنتزی در ساقه و کارایی برای انتقال مواد ذخیره شده به دانه دو مولفه اساسی هستند که در میزان سهم ذخایر انباشته شده در غلات نقش دارد. قسمت دوم تابع قدرت مخزن است که به تعداد دانه در سنبله و وزن دانه بستگی دارد (Ehdaie and Waines, 1996). وزن دانه به مقدار انتقال ماده فتوسنتزی به دانه وابسته است که این میزان انتقال خود وابسته به سرعت و طول دوره انتقال است که به‌عنوان سرعت و دوره پر شدن دانه شناخته می‌شود (Sadras and Egli, 2008). دوره پر شدن دانه مرحله اصلی تشکیل عملکرد دانه است و طولانی‌تر بودن این دوره، امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر از مبدا به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد (Grant, 1989). سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه که از تقسیم وزن بذر رسیده بر سرعت پر شدن دانه برآورد می‌شود، به‌شدت تحت تأثیر نیتروژن قرار می‌گیرد (Subedi and Ma, 2009). نیتروژن در مراحل رشد رویشی به‌ویژه پنجه‌زنی از طریق افزایش تولید آسیمیلات‌ها، موجب افزایش فتوسنتز و سطح برگ گیاه می‌شود و در مرحله زایشی بر طول دوره پر شدن دانه نقش بسزایی دارد (Seyed Sharifi *et al.*, 2017). عدم تأمین مواد پرورده در طول دوره پر شدن دانه می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر در وزن دانه شود (Borrás *et al.*, 2004). بررسی‌ها نشان داده‌اند که استفاده از نیتروژن تأثیر مثبتی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، انتقال ماده خشک و اجزای عملکرد دارد و می‌تواند موجب بهبود عملکرد گیاه به واسطه‌ی افزایش ارتفاع بوته، پنجه‌ها و تعداد دانه در بوته شود (Kibe *et al.*, 2006).

طی چند دهه اخیر، تلاش جهت افزایش تولید در واحد سطح ناشی از افزایش قابل توجه مصرف انواع کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژن بوده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که کارآیی مصرف نیتروژن در مزارع برنج به‌علت دنیتریفیکاسیون، تصعید و آبشویی بسیار پایین (بین ۳۰-۴۰ درصد) است (Choudhury *et al.*, 2002) و موجب آلودگی محیط زیست (Sabouri *et al.*, 2005) و کاهش ماده آلی خاک می‌شود. از این‌رو کشاورزی مدرن ناگزیر به جایگزین کردن بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای زیستی است. به بیانی دیگر استفاده از کودهای زیستی می‌تواند مانع از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی، بهبود کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه و کاهش تلفات آن شود (Cakmakci *et al.*, 2007).

همزیستی قارچ-گیاه یکی از مهم‌ترین روابط متقابل مفید در اکوسیستم‌های زراعی است که تاثیر مثبت آن بر رشد، فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان مختلف در گذشته اثبات شده است (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016; Seyed Sharifi *et al.*, 2017). باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم به‌دلیل پراکنش وسیع جغرافیایی، گستردگی دامنه گیاهان میزبان و به‌ویژه توان برقراری ارتباط همیاری با گیاهان مهم زراعی مانند برنج و گندم توجه بیش‌تری را به خود جلب کرده‌اند (Bashan *et al.*, 2004). نتایج بسیاری از مطالعه‌ها نشان می‌دهد که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاه میزبان، آثار معنی‌داری در بهبود شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و در نتیجه ازدیاد محصول پدید می‌آورد، به گونه‌ای که می‌توان رابطه متقابل برنج با آزوسپیریلیوم را از جهت آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی لگوم و ریزوبیوم دانست (Egamberdiyeva *et al.*, 2004). افزایش عملکرد توسط باکتری‌های محرک رشد در بیش‌تر گیاهان زراعی متعلق به خانوده غلات نظیر ذرت (Gholami *et al.*, 2009)، برنج (Cong *et al.*, 2011)، تریتیکاله (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016) و گندم (Khalilzadeh *et al.*, 2018) گزارش شده است.

باشان و همکاران (Bashan *et al.*, 2004) نشان دادند که استفاده از کودهای زیستی، موجب بهبود ساختار فیزیکی در خاک و افزایش مواد معدنی و نیتروژن در همزیستی گیاه می‌شود. ویسی (Vessey, 2003) اظهار داشت که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه قادرند با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی همچون تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین و جیبرلین، ترشح سیدروفور و اسیدهای آلی در ریزوسفر، افزایش تارهای کشنده ریشه و کمک به جذب عناصر غذایی از خاک، منجر به بهبود رشد گیاه شوند. خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh *et al.*, 2018) اثربخشی باکتری‌های محرک رشد در افزایش عملکرد دانه را به بهبود برخی از

شاخص‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، فتوسنتز و انتقال مجدد مواد از برگ‌های مسن‌تر به برگ‌های جوانتر نشان دادند.

اهمیت نیتروژن و کودهای زیستی در بهبود عملکرد برنج و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش این عوامل موجب شد تا تأثیر آن‌ها بر کارایی مصرف نیتروژن، سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه و برخی مولفه‌های پر شدن دانه برنج در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در سیاهکل استان گیلان با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۵۶ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل مقادیر کود نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) از منبع اوره و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم، کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) بودند. قارچ میکوریز استفاده شده از گونه *Glomus mosseae* و باکتری‌ها *Azospirillum lipoferum strain* OF و *Azotobacter chrocoococum* strain 5 بودند. باکتری‌ها از موسسه تحقیقات آب و خاک کشور و قارچ میکوریز از شرکت زیست فناوران توران تهیه شد. تلقیح با قارچ به روش استاندارد و توصیه شده توسط جیانینازی و همکاران (Gianinazzi *et al.*, 2001) انجام شد. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. تمامی بذرها به‌مدت دو ساعت جهت تماس بهتر بذر با باکتری در مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود در شرایط تاریکی قرار داده شدند (Seyed Sharifi and Khavazi, 2011). بعد از عملیات تهیه بستر (شخم، دیسک و ماله کشی) در اواسط فروردین (۲۱ فروردین ماه) نسبت به احداث خزانه و بذرپاشی اقدام شد.

رقم برنج مورد استفاده رقم محلی هاشمی بود که در سطح بیش‌تری از اراضی شالیزاری استان گیلان کشت می‌شود. نشاءها به صورت خطی در هر کرت به صورت دستی و با تراکم ۲۰×۲۰ سانتی‌متر مربع در ۲۸ اردیبهشت ماه کاشته شدند. هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر و فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر بود. به منظور حذف اثر حاشیه‌ای، فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از اختلاط آب کرت‌ها، کانال‌های ورود و خروجی آب به طور جداگانه تعبیه شد. نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکوشیمیایی مزرعه آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical Characteristics of the experimental soil

Characteristics	Salinity ($dS.m^{-1}$)	pH	Saturation (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
Value	0.225	6.2	53	38	40	22

جدول ۱- ادامه

Table 1. Continued

Characteristics	Texture	Organic carbon (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Value	Clay-loam	0.35	0.02	14	165

برای برآورد میزان انتقال مجدد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، از یک هفته قبل از پر شدن (یعنی زمانی‌که خوشه‌ها در بوته ظاهر نشده و قابل رویت بودند) تا رسیدگی فیزیولوژیک (به ترتیب مرحله ۶۵ و ۹۳ از کدبندی جدول زادوکس) هر چهار روز یک‌بار برداشت نمونه انجام شد. در هر بار نمونه برداری ۲۰ سانتی‌متر از خطوط اصلی کاشت برداشت شده و به ساقه، برگ و سنبله تفکیک شدند. بوته‌ها به مدت ۷۲ ساعت به منظور تثبیت وزن خشک نهایی در آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند، میزان انتقال ماده خشک، سهم فرآیند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه با استفاده از روابط (۱) تا (۴) برآورد شد (Barnett and Pearce, 1983):

$$DMT = DMA - DMM \quad (۱)$$

که در آن، DMT میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب گرم در مترمربع، DMA حداکثر ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM میزان ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CDMAG = \frac{DMT}{GY} \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه، CDMAG سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه بر حسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در متر مربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع می‌باشد.

$$SDMT = SDMM - SDMA \qquad (۳)$$

که در آن، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در متر مربع، SDMM حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول و SDMA وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد.

$$CSAG = \frac{SDMT}{GY} \times 100 \qquad (۴)$$

در این رابطه، CSAG سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع می‌باشد.

برای اندازه‌گیری مولفه‌های پر شدن دانه، نمونه‌برداری هر چهار روز یکبار و هر بار یک بوته از هر کرت از ۱۰ روز بعد از خوشه‌دهی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد و دانه‌ها از سنبله جدا و بعد از قرارگیری در آون خشک شدند. سپس وزن خشک تک‌بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini *et al.*, 2004). به‌منظور تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه، از یک مدل گرسیون خطی (دو تکه‌ای) به شرح زیر بر اساس رویه DUD دستورالعمل Proc NLIN نرم‌افزار SAS استفاده شد (Soltani, 2007):

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \qquad (۵)$$

که در آن، GW وزن دانه، t زمان، b شیب خط تا مرحله رسیدگی وزنی که بیانگر سرعت پر شدن دانه است، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا رگرسیون است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با برازش این مدل بر تمامی داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمد و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است، محاسبه شد.

برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه (۶) استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992):

$$EFP = \frac{MGW}{GFR} \qquad (۶)$$

در این رابطه، EFP دوره موثر پرشدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه یا شیب خط برازش‌شده است.

کارآیی زراعی مصرف نیتروژن نیز بر اساس پیشنهاد گودرود و جلام (Goodroad and Jhelum, 1988) با استفاده از رابطه (۷) برآورد شد:

$$E_e = \frac{Y_{df} - Y_{ef}}{F} \qquad (۷)$$

که در آن، Y_{df} عملکرد دانه تولید شده (کیلوگرم در هکتار) توسط کرتی که کود دریافت کرده است، Y_{ef} عملکرد دانه تولید شده (کیلوگرم در هکتار) توسط کرتی که کود دریافت نکرده است و F مقدار کود مصرف‌شده (کیلوگرم در هکتار) است.

ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله با استفاده از ده بوته که به تصادف از خطوط اصلی هر کرت و با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت شدند، برآورد شد و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد دانه با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۰۴ متر مربع در هر کرت برآورد شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نیتروژن و کودهای زیستی و برهمکنش نیتروژن و کودهای زیستی بر سهم فرایند انتقال ماده خشک در عملکرد دانه، مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه، سرعت پر شدن دانه،

طول کل دوره و دوره موثر پر شدن دانه، حداکثر وزن دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، میزان انتقال از کل بوته، انتقال ماده خشک از ساقه و کارایی مصرف کود نیتروژن نیز تحت تأثیر نیتروژن و کود زیستی و ارتفاع بوته تحت تأثیر مقادیر نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۳۳/۷۳سانتی متر) در بالاترین سطح از کاربرد کود نیتروژنه و کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۱۸/۷۴ سانتی‌متر) در حالت عدم مصرف کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۳). نیتروژن به واسطه نقشی که در تولید و انتقال هورمون سیتوکنین از ریشه به اندام‌های هوایی دارد، موجب افزایش سرعت تقسیم سلولی، رشد و افزایش ارتفاع بوته در برنج می‌شود (Timothy and Joe, 2003). کالیسکان و همکاران (Caliskan *et al*., 2008) گزارش کردند که افزایش ارتفاع بوته در مقادیر بالای نیتروژن، ممکن است به دلیل افزایش رشد رویشی، سایه دهی و افزایش طول میانگره‌ها باشد.

تعداد دانه در خوشه: مقایسه میانگین آثار اصلی فاکتورهای مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه در سطح چهارم کود نیتروژن (۵۷/۵۲) و کاربرد توام میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم (۵۶/۴۹) به‌دست آمد (جدول ۳). کاربرد نیتروژن موجب افزایش ۲۶/۲۲ درصدی تعداد دانه در خوشه شد. افزایش تعداد دانه در خوشه در کاربرد نیتروژن ممکن است ناشی از تاثیر نیتروژن در دوره رشد رویشی و زایشی و افزایش طول دوره پر شدن دانه باشد. به نظر می‌رسد که افزایش تعداد دانه در خوشه در کاربرد نیتروژن در طول دوره رشد با افزایش مواد فتوسنتزی و شدت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتز کننده مرتبط باشد که موجب افزایش فتوسنتز جاری و تأخیر در پیری برگ‌ها می‌شود (Murchie *et al*., 2002). دوادی و ساه (Dawadi and Sah, 2012) کاهش تعداد دانه در مقادیر کم نیتروژن را به رشد ضعیف مخزن و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی نسبت دادند. افزایش تعداد دانه در خوشه در کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به نقش موثر باکتری‌های محرک رشد در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس نیاز کودی نسبت داد که موجب افزایش نیتروژن قابل مصرف در مراحل حساس رشدی می‌شود (James et al., 2004). سید شریفی و همکاران (Seyed Sharifi *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد میکوریز علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد با افزایش وزن ریشه‌ای، موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله و در نتیجه طول سنبله در گندم شد.

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه در بالاترین سطح از مصرف نیتروژن (۳۳/۹۰گرم) و کاربرد توأم قارچ میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم (۲۹/۸۳ گرم) به‌دست آمد (جدول ۳). کم‌ترین وزن هزار دانه نیز به‌ترتیب در عدم مصرف نیتروژن (۲۱/۶۷ گرم) و عدم تلقیح (۲۶/۹۳ گرم) به‌دست آمد (جدول ۳). در این راستا چو و همکاران (Cho *et al*., 1987) اظهار داشتند که کاربرد نیتروژن با افزایش میزان اسیمیلاسیون موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه شده و در نهایت می‌تواند وزن تک‌دانه و به تبع از آن وزن هزار دانه را افزایش دهد. خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh *et al*., 2018) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیش‌تر دوره پر شدن دانه و به تبع از آن افزایش وزن دانه را فراهم می‌کنند. سانچز بلانکو و همکاران (Sanchez-Blanco *et al*., 2004) نیز گزارش کردند که قارچ میکوریز می‌تواند با فراهم آوردن نیتروژن کافی برای گیاه میزبان در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد موثر باشد.

میزان انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه در عملکرد دانه: مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین میزان انتقال ماده خشک از کل بوته (۱۰۱/۸۵ گرم در متر مربع) و انتقال ماده خشک از ساقه (۳۹/۷۵ گرم در متر مربع) در حالت عدم کاربرد کود نیتروژن و کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۵۷/۳ و ۲۵/۳۷ گرم در متر مربع) در بالاترین سطح از کاربرد کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که مصرف نیتروژن در طول دوره رشد به‌دلیل بالا نگاه داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ، موجب افزایش فتوسنتز جاری شده (Murchie *et al*., 2002) و این امر موجب کاهش انتقال مجدد برای پاسخگویی به نیاز دانه‌ها می‌شود. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از ماچو و سینکلیر (Muchow and Sinclair, 1994) مبنی بر اینکه کمبود نیتروژن، به‌دلیل کاهش چشمگیر در ظرفیت فتوسنتزی گیاه، از طریق

کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ منجر به افزایش انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه به دانه‌ها می‌شود، مطابقت داشت.

بیش‌ترین میزان انتقال ماده خشک از کل بوته (۸۷/۹۹ گرم در متر مربع) و ساقه (۳۹/۱۲ گرم در متر مربع) مربوط به حالت عدم تلقیح با کودهای زیستی و کم‌ترین آن‌ها مربوط به کاربرد توام میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بود (جدول ۳). کائو و همکاران (Kao *et al.*, 2006) اظهار داشتند که عملکرد دانه تا حد زیادی به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه بستگی دارد. به نظر می‌رسد کاربرد میکوریز با آزوسپریلیوم و ازتوباکتر با افزایش طول دوره پر شدن دانه (جدول ۴)، موجب کاهش میزان انتقال ماده خشک و نتیجه افزایش عملکرد دانه برنج می‌شود. خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh *et al.*, 2018) نیز اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌دلیل افزایش طول دوره رشد و توانایی منبع در تخصیص بهتر منابع به مخازن موجب می‌شود که فتوسنتز جاری برای مدت زمان طولانی‌تری فعال شود و تحت چنین شرایطی، به‌دلیل افزایش فتوسنتز جاری در عملکرد دانه، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و ساقه به دانه کاهش می‌یابد.

به‌نظر می‌رسد که مصرف نیتروژن در طول دوره رشد به دلیل بالا نگه داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ، موجب افزایش فتوسنتز جاری شده (Murchie *et al.*, 2002) و این امر موجب کاهش انتقال مجدد برای پاسخگویی به نیاز دانه‌ها می‌شود. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از ماچو و سینکلیر (Muchow and Sinclair, 1994) مبنی بر اینکه کمبود نیتروژن به دلیل کاهش چشمگیر در ظرفیت فتوسنتزی گیاه از طریق کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ، منجر به افزایش انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه به دانه‌ها می‌شود، مطابقت داشت. همچنین به‌نظر می‌رسد که در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، به‌دلیل افزایش فتوسنتز جاری، تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع می‌تواند در مخزن مورد استفاده قرار گیرد. بدیهی است که میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه، بیش‌تر تحت تأثیر روابط منبع و مخزن و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Ehdaie and Waines, 1996). سوزا و همکاران (Souza *et al.*, 1998) نیز گزارش کردند که با افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس، سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش می‌یابد.

روند پر شدن دانه و صفات مرتبط با آن: بررسی سرعت پر شدن دانه برنج در شرایط کاربرد کودهای زیستی با مقادیر متفاوت از کود نیتروژنه نشان داد که الگوی نمو بذر در کلیه ترکیب تیماری مشابه است. به این صورت که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). بعد از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به یک خط افقی تبدیل شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بین سطوح مختلف نیتروژن از نظر صفات مورد بررسی تفاوت‌های معنی‌داری وجود داشت، به طوری که بیش‌ترین مقادیر هر یک از این صفات به سطوح بالایی از مصرف نیتروژن و کاربرد میکوریز با باکتری‌های محرک رشد و کم‌ترین آن‌ها به تیمار شاهد تعلق داشت (جدول ۴). نتایج حاصل از اثر کودهای زیستی و نیتروژن بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه برنج در شکل ۱ و معادلات برازش شده برای هر ترکیب تیماری در جدول ۴ ارایه شده است. بین سطوح مختلف کودهای زیستی در سطح ثابتی از کود نیتروژن از نظر دوره موثر پر شدن، حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه تفاوت‌هایی وجود دارد. حداکثر وزن تک بذر (۰/۰۴۱۱ گرم)، طول دوره موثر (۳۲/۵۰ روز)، طول دوره پر شدن دانه (۳۴/۶۵ روز) و حداکثر سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۱۳ روز در گرم) به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه و کاربرد میکوریز با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کم‌ترین این صفات به عدم مصرف کود نیتروژنه و کود زیستی تعلق داشت (جدول ۴). برخی محققان بیان کرده‌اند که استفاده از مواد تحریک کننده رشد گیاه، از طریق تولید و ترشح برخی هورمون‌های گیاهی و نیز تغییر در نسبت آن‌ها در گیاه (Khatun *et al.*, 2016) بر انتقال و توزیع مجدد فرآورده‌های فتوسنتزی در داخل گیاه تأثیر می‌گذارند.

افزایش وزن دانه با نیتروژن کافی ممکن است با تأخیر در پیری برگ، حفظ فتوسنتز برگ در طول دوره پر شدن دانه و افزایش طول دوره پر شدن دانه مرتبط باشد (Baset Mia *et al.*, 2010). دورداس و سیولاس (Dordas and Sioulas, 2008) گزارش کردند که مقادیر بالای نیتروژن، فرایندهای فتوسنتزی، سطح برگ و سرعت پر شدن دانه را افزایش داد. چو و همکاران (Cho *et al.*, 1987) اظهار داشتند که با افزایش نیتروژن، وزن دانه، دوره موثر و طول دوره پرشدن دانه افزایش یافت و با کاهش آن تمامی پارامترهای پر شدن دانه نیز کاهش یافتند. آنان اظهار داشتند که کاربرد نیتروژن با افزایش میزان آسیمیلاسیون،

موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه شده و در نهایت می‌تواند وزن دانه‌ها و سرعت و دوره پر شدن دانه را افزایش دهد. تسونو و همکاران (Tsuno *et al.*, 1994) نیز علت بیش‌تر شدن سرعت پر شدن دانه در بوته‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده بودند را به غلظت بالای نیتروژن برگ طی مرحله پر شدن دانه نسبت دادند. مورچی و همکاران (Murchie *et al.*, 2002) نیز اظهار داشتند که مصرف نیتروژن در طول دوره رشد، با بالا نگه داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ، موجب افزایش میزان مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام فتوسنتز کننده و افزایش وزن دانه می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر کود نیتروژن و کودهای زیستی بر عملکرد دانه و برخی صفات مرتبط با عملکرد دانه برنج

Table 2. Analysis of variance of the effects of nitrogen fertilizer and biofertilizers on grain yield and some yield-related traits of rice

Source of variations	df	Mean squares						
		Plant height	No. of grains per panicle	1000 grain weight	Total dry matter remobilization	Dry matter remobilization from stem	Contribution of remobilization from shoots to grain	Contribution of stem reserves to grain yield
Replication	2	50.93**	1.49^{ns}	50.97**	167.91^{ns}	8.53^{ns}	8.21^{ns}	1.70^{ns}
Nitrogen (N)	3	471.17**	334.82**	356.59**	4869.61**	553.32**	1247.36**	291.82**
Biofertilizer (B)	3	101.89^{ns}	289.04**	21.90**	869.35**	345.17**	333.15**	88.45**
N × B	9	35.09^{ns}	4.73^{ns}	1.07^{ns}	170.17^{ns}	26.13^{ns}	55.19**	3.80*
Error	30	51.12	54.00	3.15	123.22	24.29	4.90	1.48
CV (%)	-	6.32	14.27	7.71	14.08	15.10	8.11	10.04

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 2. Continued

جدول ۲- ادامه

Source of variations	df	Mean squares					
		Grain filling rate	Grain filling period	Effective grain filling period	Maximum of grain weight	Grain yield	Nitrogen use efficiency
Replication	2	1.93**	174.38**	136.38**	0.001**	307.67^{ns}	0.66**
Nitrogen (N)	3	1.05**	5.58**	9.19**	0.002**	45243.03**	0.12*
Biofertilizer (B)	3	1.53**	6.08**	12.64**	0.0005**	11455.62**	0.05*
N × B	9	66.6**	0.66**	2.84**	0.0004**	2721.04**	0.05^{ns}
Error	30	9.33	0.009	0.030	0.0001	659.51	0.01
CV (%)	-	0.87	0.28	0.62	1.39	8.56	15.30

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و کودهای زیستی بر برخی صفات مرتبط با عملکرد دانه برنج

Table 3. Means comparison of the effect of nitrogen and biofertilizers on some yield-related traits of rice

Treatments	Plant height (cm)	No. of grain per panicle	1000 grain Weight (g)	Total dry matter remobilization	Dry matter remobilization from stem	Nitrogen use efficiency ($kg.kg^{-1}$)
Nitrogen levels*						
N_0	118.74c	45.57c	21.67d	101.85a	39.75a	-
N_1	122.69bc	48.93bc	26.42c	88.72b	36.91a	5.92a
N_2	126.92b	53.90ab	31.53b	66.49c	28.23b	4.31b
N_3	133.73a	57.52a	33.90a	57.30c	25.37b	4.02b
Biofertilizers**						
F_0	-	45.35c	26.93b	87.99a	39.12a	4.24b
F_1	-	54.16ab	29.18a	76.37bc	30.27c	4.46b
F_2	-	49.92bc	27.58b	82.00ab	34.43b	4.36b
F_3	-	56.49a	29.83a	67.55c	26.68c	5.95a

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different.

*: N_0, N_1, N_2 and N_3 are 0, 60, 90 and 120 $kg.ha^{-1}$ net nitrogen, respectively.

**: F_0, F_1, F_2 and F_3 are non-application of biofertilizer and application of Mycorrhiza, Azotobacter + Azospirillum and Mycorrhiza + Azotobacter + Azospirillum, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن و کودهای زیستی بر صفات مربوط به پرشدن دانه و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در برنج

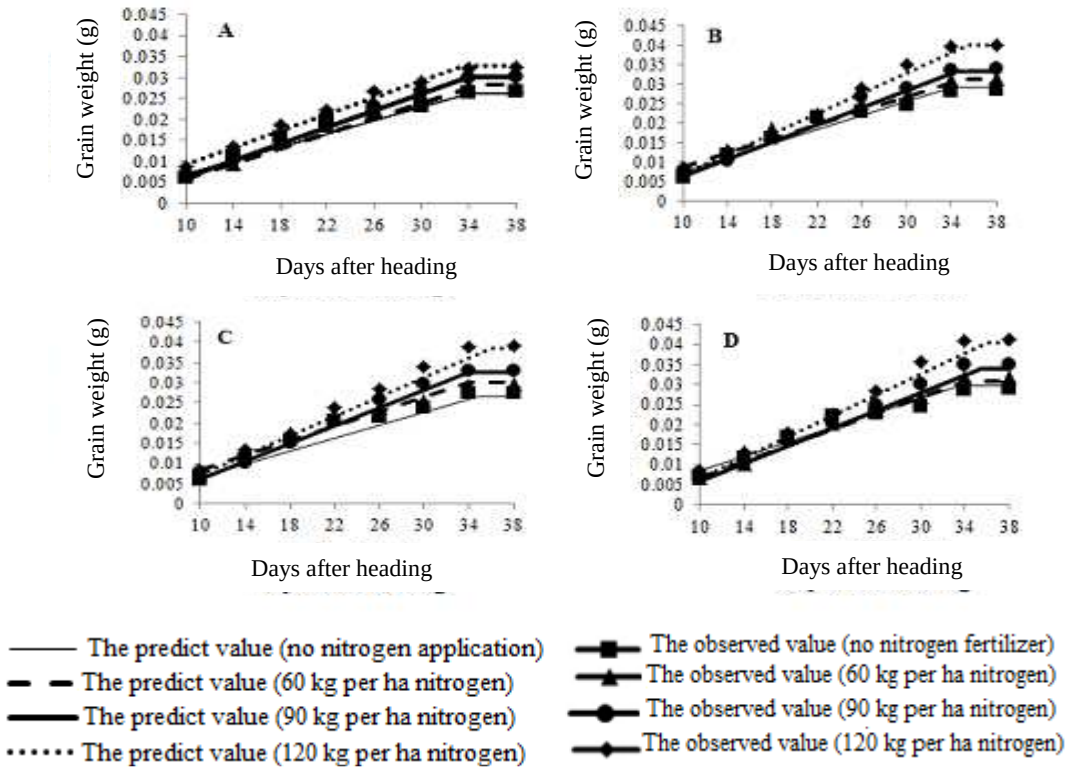
Table 4. Mean comparison of the effect of nitrogen and biofertilizers on grain filling and dry matter remobilization characteristics

Treatment	Contribution of remobilization from shoots to grain (%)	Contribution of stem reserves to grain yield (%)	Grain yield	Grain Filling rate (g.day $^{-1}$)	Grain filling period (day)	Effective grain filling period (day)	Maximum grain weight (g)	Estimated equation
$N_0 \times F_0$	43.73a	19.04a	233.93ef	0.001d	31.91j	26.60k	0.0266n	Y= -0/0010+0/001X
$N_0 \times F_1$	33.81c	17.40a	247.00ef	0.001d	32.22hi	28.50g	0.0285kl	Y= -0/0015+0/001X
$N_0 \times F_2$	40.69ab	18.75a	243.01ef	0.001d	32.18i	27.40i	0.0274m	Y= -0/0013+0/001X
$N_0 \times F_3$	26.63ed	15.09c	251.11ef	0.001d	32.58hi	28.90f	0.0289jk	Y= -0/0005+0/001X
$N_1 \times F_0$	40.89ba	18.60a	244.63ef	0.001d	32.19hi	26.90f	0.0280lm	Y= -0/0031+0/001X
$N_1 \times F_1$	26.52c	13.97c	252.69ef	0.0011c	32.93f	28.36g	0.0312h	Y= -0/0003+0/0011X
$N_1 \times F_2$	38.46b	15.44bc	250.79ef	0.0011c	32.34h	28.00h	0.0296ij	Y= -0/0005+0/0011X
$N_1 \times F_3$	20.13ed	11.76d	255.82ef	0.0011c	33.78d	29.00f	0.0319gh	Y= -0/0032+0/0011X
$N_2 \times F_0$	29.57d	14.04c	281.67ed	0.0011c	32.28hi	27.40i	0.0301i	Y= -0/0038+0/0011X
$N_2 \times F_1$	19.05gh	6.95fg	380.87b	0.0011c	32.22e	30.72c	0.0338e	Y= -0/0047+0/0011X
$N_2 \times F_2$	24.53ef	9.85ed	307.50cd	0.0011c	32.82f	30.09d	0.0331ef	Y= -0/0048+0/0011X
$N_2 \times F_3$	12.24i	5.10gh	395.74ab	0.0011c	34.36b	31.81b	0.035d	Y= -0/0051+0/0011X
$N_3 \times F_0$	21.97fg	10.23d	302.59cd	0.0011c	32.16i	29.54e	0.0325gf	Y= -0/0007+0/0011X
$N_3 \times F_1$	12.91i	5.50gh	400.47ab	0.0013a	34.48b	31.61b	0.0399b	Y= -0/0062+0/0013X
$N_3 \times F_2$	17.86h	8.06ef	326.39c	0.0012b	34.12c	30.69c	0.0390c	Y= -0/0047+0/0012X
$N_3 \times F_3$	11.23i	4.51h	424.40a	0.0013a	34.65a	32.50a	0.0411a	Y= -0/0064+0/0013X

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different.

*: N_0, N_1, N_2 and N_3 are 0, 60, 90 and 120 kg.ha^{-1} net nitrogen, respectively.

**: F_0, F_1, F_2 and F_3 are non-application of biofertilizer and application of Mycorrhiza, Azotobacter + Azospirillum and Mycorrhiza + Azotobacter + Azospirillum, respectively.



شکل ۱- روند پر شدن دانه برنج تحت شرایط: A) عدم کاربرد کودهای زیستی، B) کاربرد میکوریز، C) کاربرد باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپریلیوم، D) کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپریلیوم.

Figure 1. Rice grain filling process under conditions of: A) Non-application of biofertilizers, B) Application of mycorrhiza, C) Application of azotobacter and azospirillum, D) Application of mycorrhiza with azotobacter and azospirillum.

کارایی مصرف کود نیتروژن: نتایج این آزمایش نشان داد که با کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن کارایی مصرف کود افزایش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد توام میکوریز با باکتری‌های محرک رشد بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن را (به‌ترتیب با میانگین ۵/۹۲ و ۵/۹۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) دارا بودند (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی علاوه بر فراهم کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه به دلیل افزایش رشد اندام هوایی موجب افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه منجر به دستیابی به بیش‌ترین کارایی این عنصر در گیاه شده است. با توجه به اینکه کارایی مصرف نیتروژن از نسبت مقدار دانه تولید شده به کود مصرفی به‌دست می‌آید، با افزایش مقدار دانه تولید شده، کارایی مصرف کود نیز افزایش می‌یابد (Rabiei and Tousi Kahel, 2011). به‌نظر می‌رسد در مصرف مقادیر بالاتر نیتروژن به‌دلیل خارج شدن آن از دسترس گیاه در اثر آبشویی، تصعید و نیز از نظر تئوری با بزرگ شدن مخرج کسر، کارایی مصرف نیتروژن نیز کاهش می‌یابد (Gan *et al.*, 2008). به‌طور کلی زمانی که گیاه به عناصر غذایی نیاز دارد، به افزایش آن‌ها در خاک واکنش مثبت نشان می‌دهد. با رفع تدریجی نیاز گیاه، واکنش آن به مقادیر بیش‌تر کودی کم‌تر می‌شود. از این‌رو با وجود مصرف مقادیر بالای کود، کارایی مصرف عناصر غذایی بعد از رفع نیاز گیاه کم‌تر می‌شود. حمزه‌یی و سرمدی نایبی (Hamzei and Sarmadi Naiebi, 2009) گزارش کردند که استفاده از کودهای زیستی موجب توسعه سیستم ریشه‌ای شده و از این رو به طور طبیعی امکان دسترسی و جذب بهتر عناصر غذایی را برای گیاه فراهم می‌سازد.

عملکرد دانه: نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین هدف تولید برنج نیز تحت تاثیر نیتروژن و کودهای ریستی قرار گرفت. نتایج نشان داد که

بیش‌ترین عملکرد دانه در مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد توام میکوریز با باکتری‌های محرک رشد (۴۲۴/۴۰ گرم در متر مربع) و کم‌ترین آن در عدم مصرف نیتروژن و کودهای زیستی (۲۳۳/۹۳ گرم در متر مربع) به‌دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در بالاترین سطوح نیتروژن و کاربرد توام میکوریز و باکتری‌های محرک رشد به دلیل افزایش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، سرعت و دوره پر شدن دانه (جدول ۴) موجب شده است عملکرد دانه افزایش یابد. کودهای زیستی مورد استفاده شاید با فراهم کردن عناصر پر مصرف و کم مصرف برای رشد گیاه، تحریک تولید مواد، توسعه سیستم ریشه‌ای، تثبیت نیتروژن و رها سازی آن در مراحل حساس نیاز کودی (Kaya *et al.*, 2002)، توانایی باکتری‌ها در حذف عوامل بیماری‌زای خاکزی، تولید مواد محرک رشد و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و اکسین، افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توسعه سیستم ریشه‌ای به منظور دست‌یابی بیش‌تر به آب و مواد غذایی (Gusain *et al.*, 2015) موجب افزایش عملکرد شده‌اند. نتایج بسیاری از بررسی‌ها نیز حاکی از آن است که تلقیح باکتری آزوسپیریلوم و افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی تا یک حد مشخصی، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج می‌شود (Khorshidi *et al.*, 2011). برخی محققان بهبود عملکرد و اجزای عملکرد بواسطه کاربرد باکتری های محرک رشد را بر افزایش جذب نیتروژن و بهبود جذب سایر عناصر پر مصرف نظیر فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف نظیر آهن و روی نسبت داده‌اند (Narula *et al.*, 2000).

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد توام کودهای زیستی و نیتروژن به‌دلیل افزایش اجزای عملکرد (تعداد دانه در خوشه و وزن دانه) و مولفه‌های پرشدن دانه (اعم از سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه)، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج شد. همچنین، کاربرد کودهای زیستی انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه و سهم این فرایند در عملکرد دانه را کاهش داد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد توام قارچ میکوریز با باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپریلوم همراه با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه برنج تحت شرایط آزمایشی شود.

References

Barnett, K. H. and Pearce, P. B. 1983. Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. **Crop Science** 23: 294-299.

Baset Mia, M. A., Shamsuddin, Z. H., Wahab, Z. and Marziah, M. 2010. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured Musa plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. **Australian Journal of Crop Science** 4 (2): 85-90.

Bashan, Y., Holguin, G. and de-Bashan, L. E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural and environmental advances. **Canadian Journal of Microbiology** 50: 521-577.

Borrás, L., Slafer, G. A. and Otegui, M. E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. **Field Crops Research** 86: 131-146.

Cakmakci, R., Donmez, M. F. and Erdogan, U. 2007. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties and bacterial counts. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 31: 189-199.

Caliskan, S., Ozkaya I., Caliskan, M. E. and Arslan, M. 2008. The effect of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in Mediterranean type soil. **Field Crops Research** 108: 126-132.

Cho, D. S., Jong, S. K., Park, Y. K. and Son, S. Y. 1987. Studies on the duration and rate of grain filling in rice (*Oryza sativa* L.). I. Varietal difference and effects of nitrogen. **Korean Journal of Crop Science** 32 (1): 103-111.

Choudhury, A. T. M. A., Khanif, Y. M., Aminuddin, H. and Zakaria, W. 2002. Effects of copper and magnesium fertilization on rice yield and nitrogen use efficiency: A 15 N tracer study. Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand Symposium no. 50, paper no. 226, pp: 1-10.

Cong, P. T., Dung, T. D., Hien, N. T., Choudhury, A., Rose, M. T., Kecsskes, M. L., Deaker, R. and Kennedy, I. R. 2011. Effects of a multistrain biofertilizer and phosphorus rates on nutrition and grain yield of paddy rice on a sandy soil in southern Vietnamian. **Journal of Plant Nutrition** 34: 1058-1069.

Dawadi, D. R. and Sah, S. K. 2012. Growth and yield of hybrid maize (*Zea mays* L.) in relation to planting density and nitrogen levels during winter season in Nepal. **Tropical Agricultural Research** 23 (3): 218-227.

Dordas, C. A. and Sioulas, C. H. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain fed conditions. **Industrial Crops and Products** 27: 75-85.

Egamberdiyeva, D., Juraeva, D., Poberejskaya, S., Myachina, O., Teryuhova, P., Seydalieva, L. and Aliev, A. 2004. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria. Proceedings of the 26th Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. Raleigh, North Carolina, June 8-9, 2004. pp: 58-66.

Ehdaie, B. and Waines, J. G. 1996. Genetic variation for contribution of pre anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. **Journal of Genetic and Breeding** 50: 47-56.

Ellis, H. R. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. **Seed Science** 2: 19-25.

Gan, Y., Malhi, S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F. and Stevenson, C. 2008. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of Juncea canola under diverse environments. **Journal of Agronomy** 100: 285-295.

Gholami, A., Shahsavani, S. and Nezarat, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. **International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering** 49: 19-24.

Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M. and Haselwandter, K. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: From genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: Mycorrhiza, 13: 53-54. Lovato, P. Book review.

Goodroad, L. and Jhelum, M. D. 1988. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. **Plant and Soil** 106: 85-89.

Grant, R. F. 1989. Simulation of maize phenology. **Agronomy Journal** 81: 451-457.

Gusain, Y. S., Singh, U. S. and Sharma, A. K. 2015. Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Biotechnology** 14: 764-773.

Hamzei, J. and Sarmadi Naiebi, H. 2009. Effect of biological and chemical fertilizers application on yield, yield components, agronomic efficiency and nitrogen uptake in corn. **Plant Products Technology** 10 (2): 53-63. (In Persian with English Abstract).

James, E. H. and Paulsen, G. M. 2004. Nitrogen assimilation and protein synthesis in wheat seedlings as affected by mineral nutrition. **Plant Physiology** 44: 636-640.

Kao, W. Y., Tsai, T., Tsai, H. and Shih, C. N. 2006. Response of three glycine species to salt stress. **Environmental and Experimental Botany** 56: 120-125.

Kaya, Y. K., Arisoy, R. Z. and Gocmen, A. 2002. Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. **Pakistan Journal of Botany** 1 (4): 142-144.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. 2018. Growth, physiological status and yield of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants as affected by application of bio fertilizer and cycocel. **Arid Land Research and Management** 32 (1): 71-90.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity conditions. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca** 44 (1): 116-124.

Khatun, S., Roy, T. S., Haque, Md. N. and Alamgir, B. 2016. Role of plant growth regulators on growth and yield of soybean at different stages of application. **Scientia Agriculturae** 15 (3): 380-386.

Khorshidi, Y. R., Ardakani, M. R., Ramezanpour, M. R., Khavazi, K. and Zargari, K. 2011. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to *Pseudomonas flouresence* and *Azospirillum lipoferum* under different nitrogen levels. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences** 10 (3): 387-395.

Kibe, A. M., Singh, S. and Karla, N. 2006. Water nitrogen relationship for wheat growth and productivity in late sown conditions. **Agricultural Water Management** 8 (4): 221-228.

Muchow, R. C. and Sinclair, T. R. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. **Crop Science** 34: 721-727.

Murchie, E. H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P. and Peng, S. 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field grown rice? **European Journal of Soil Science** 53: 2217-2224.

Narula, N., Kumar, V., Behil, R., Deubel, A., Gransee, A. and Merbach, W. 2000. Effect of solubilizing (*Azotobacter chroococcum*) on N, P, K uptake in responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. **Plant Nutrition and Soil Science** 163 (4): 393-398.

Rabiei, M. and Tousi Kahel, P. 2011. Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Guilan region. **Iranian Journal of Field Crop Science** 42 (3): 605-615. (In Persian with English Abstract).

Ronanini, D. R., Savin, R. and Hall, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. **Field Crops Research** 83: 79-90.

Sabouri, H., Rezaie, A., Mirmohammady Maibody, S. A. M. and Esfahani, M. 2005. Path analysis for rice grain yield and related traits in tow planting patterns. **Journal of Crop Production and Processing** 9 (1): 113-129. (In Persian with English Abstract).

Sadras, V. O. and Egli, D. B. 2008. Seed size variation in grain crops: allometric relationships between rate and duration of seed growth. **Crop Science** 48: 408-416.

Sanchez-Blanco, M. J., Ferrandez, T., Navarro, A., Banon, S. and Alarcon, J. J. 2004. Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of Rosmarinus officinalis plants during and after transplanting. **Journal of Plant Physiology** 161: 1133-1142.

Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. 2017. Study of nitrogen fertilizer and cycocel on Fv/Fm and dry matter mobilization to grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Cercetări Agronomice în Moldova** 1 (169): 5-17.

Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R. and Soltanmoradi, S. 2017. The effects of mycorrhizal fungi and nano zinc oxide on yield, dry matter accumulation, grain-filling rate and duration in wheat under soil salinity condition. **Applied Field Crops Research** 30 (2): 20-30. (In Persian with English Abstract).

Seyed Sharifi, R. and Khavazi, K. 2011. Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield attributes of maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Journal of Food, Agriculture and Environment** 9 (3, 4): 496-500.

Soltani A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. Jehad-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. 165 p.

Souza, S. R., Mariam, E., Stark, L. M. and Fernandes, M. S. 1996. Nitrogen remobolozation during the reproductive period in two Brazilian rice varities. **Journal of Plant Nutrition** 21: 2049-2053.

Subedi, K. D. and Ma, B. L. 2009. Assessment of some major yield-limiting factors on maize production in a humid temperate environment. **Field Crops Research** 110: 21-26.

Timothy, W. and Joe, E. 2003. Rice fertilization Mississippi. **Agricultural and Forestry Experiment Station** 1341: 1-4.

Tsuno, Y., Yamaguchi, T. and Nakano, J. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Bulletin of the faculty of Agriculture, Tottori University 47: 1-10.

Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. **Plant and Soil** 225: 571-586.

Yu, S. M., Chin-Fen, Su., Wang, Y. C., Hsieh, T. H., Lu C. A. and Tseng, T. H. 2010. A novel MYBS3 dependent pathway confers cold tolerance in rice. **Plant Physiology** 153: 145-158.

doi: 10.22124/c.2019.10772.1407

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 8, No. 4, Winter 2019 (409-421)

Effect of nitrogen and biofertilizers on yield, nitrogen use efficiency and some morpho-physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.)

Mahshid Zad Behtoui[1], Raouf Seyed Sharifi[2*] and Razieh Khalilzadeh[3]

Received: July 4, 2018 Accepted: January 14, 2019

Abstract

To study the grain yield, nitrogen use efficiency, remobilization and grain filling components of grain rice (*Oryza sativa* L.) in response to application of nitrogen and biofertilizers, a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted under field condition in Siahkal, Guilan province, Iran, in 2014. The experimental factors were nitrogen rates in four levels (0, 60, 90 and 120 kg.ha^{-1} N) from urea fertilizer and biofertilizers in four levels (without biofertilizer, application of Mycorrhiza, application of Azotobacter + Azospirillum and application of Mycorrhiza + Azotobacter + Azospirillum). The highest grain yield and grain filling components (rate, grain filling period and effective grain filling period) were obtained from the highest level of nitrogen and application of Mycorrhiza + Azotobacter + Azospirillum. Dry matter remobilization from whole plant and stem decreased with increasing nitrogen levels. Application of Mycorrhiza + Azotobacter + Azospirillum together with 120 kg.ha^{-1} nitrogen reduced the contribution of dry mater remobilization for grain yield and stem reserves. The highest nitrogen use efficiency was obtained from the 60 and 120 kg.ha^{-1} nitrogen, respevtively. The results of this research showed that the application of 120 kg.ha^{-1} net N and the application of Mycorrhiza with Azotobacter + Azospirillum can be used as a suitable tool to increase rice grain yield.

Keywords: Grain filling rate, Mycorrhiza, Plant growth promoting rhizobacteria, Remobilization

1. Graduated M. Sc., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Graduated Ph. D., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
* Corresponding author: raouf_ssharifi@yahoo.com