نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱ تا ۱۴

اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر ویژگی‌های رشد، اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج

سروناز یحیی‌زاده[۱]، حمیدرضا مبصر[۲*]، الیاس رحیمی‌پطرودی[۲] و علیرضا دانشمند[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر ویژگی‌های زراعی برنج رقم طارم هاشمی، آزمایشی به‌صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه‌ای شخصی واقع در شهرستان ساری اجرا شد. مطالعه حاضر با یک تیمار آزمایشی و در ۱۰ سطح اجرا شد که از T1 تا T10 نامگذاری شدند. هر سطح تیماری از تلفیق تراکم بوته (کپه در مترمربع) و تقسیط کود نیتروژن تشکیل شد. T1: ۲۰ کپه + (۵۰ درصد بعد از نشاکاری + ۵۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی)، T2: ۲۰ کپه + (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه)، T3: ۲۰ کپه + (۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه)، T4: ۲۰ کپه + (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه) به‌عنوان شاهد، T5: ۳۰ کپه + (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه)، T6: ۳۰ کپه + (۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه)، T7: ۳۰ کپه + (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه)، T8: ۳۰ کپه + (۲۵ درصد بعد از نشاکاری + ۲۵ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۲۵ درصد آغازش خوشه + ۲۵ درصد پایان ظهور خوشه)، T9: ۴۰ کپه + (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه) و T10: ۴۰ کپه + (۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد آغازش خوشه + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه). نتایج نشان دادند که اثر سال بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد. اما محتوای نیتروژن دانه با اختلافی معادل ۰/۱۸ درصد در سال دوم کمتر شد. حداکثر تعداد کل پنجه در کپه (۱۸/۶ پنجه)، طول خوشه (۲۵/۰ سانتی‌متر) و شاخص برداشت (۴۰/۹ درصد) به‌ترتیب تحت تیمارهای T1، T2 و T3 به‌دست آمدند. عملکرد دانه تحت تأثیر تیمار آزمایشی معنی‌دار نشد، با این‌حال حداکثر مقدار آن (۶۸۶۵ کیلوگرم در هکتار) به‌موجب افزایش تعداد خوشه در مترمربع (۵۱۰ خوشه)، برای تیمار T9 حاصل شد که افزایشی معادل ۱۹/۰ درصد را در مقایسه با تیمار شاهد (T4) نشان داد. پیشنهاد می‌شود جهت دستیابی به حداکثر عملکرد دانه در شمال ایران، تراکم ۴۰ کپه در مترمربع با تقسیط نیتروژن به‌روش ۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه (T9) درنظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تراکم گیاهی، تقسیط نیتروژن، عملکرد شلتوک، محتوای نیتروژن دانه

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: drmobasser.neg@gmail.com

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یک گیاه زراعی مهم است که غذای در حدود نیمی از جمعیت جهان (۹) و ۲۰ درصد از کالری مصرفی در سراسر جهان را تأمین می‌کند (۲۰). به‌منظور روبرو شدن با افزایش تقاضا برای مواد غذایی و همچنین به‌منظور تأمین نیازهای جمعیت در حال رشد، تولید برنج جهان باید تا سال ۲۰۵۰ تا ۷۰ درصد افزایش یابد (۱۲)، اما با توجه به شهرسازی و صنعتی شدن، افزایش تولید بیشتر از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح امکان‌پذیر است (۳۸).

یکی از مسائل اصلی در رابطه با کشت گیاهان زراعی، انتخاب مناسب‌ترین تراکم بوته در واحد سطح است (۳۴). تراکم بوته مناسب نقش مهمی در بهبود ساختار جمعیت، استفاده کارآمد از نور خورشید و تنظیم وقوع پنجه برنج و تشکیل عملکرد دانه دارد (۲۷). تراکم مناسب و توزیع متعادل بوته‌ها از طریق استفاده بهتر از رطوبت، مواد غذایی و نور باعث افزایش عملکرد می‌شود (۳۴). در تراکم بوته بالاتر از حد مطلوب، رقابت بین گیاهان برای نور در بالای زمین و مواد غذایی در زیر زمین شدید می‌شود و درنتیجه رشد گیاه کند می‌شود و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (۱۳). با افزایش فواصل کاشت نیز تولید پنجه در تک‌بوته بیشتر می‌شود، اما تعداد بوته‌ها در واحد سطح کاهش می‌یابد که منجر به عملکرد پایین دانه می‌شود (۱۳). مطالعه‌های مختلف نشان دادند که مقادیر صفات رشدی گیاه برنج (۴ و ۲۴) و تعداد کل خوشه‌چه در خوشه (۴) با افزایش تراکم بوته، کاهش یافتند. سایر مطالعه‌ها نشان دادند که تعداد پنجه در مترمربع (۶)، تعداد خوشه در مترمربع (۲) و عملکرد دانه (۲ و ۴۱) با افزایش تراکم بوته افزایش داشتند.

نیتروژن (N) به‌عنوان یک عنصر مهم معدنی، نقش اصلی را در شکل‌گیری کلروفیل، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک ایفا می‌کند و به‌طور مداوم برای تولید برنج مورد نیاز است (۳۵). تقسیط نیتروژن قابلیت دسترسی این عنصر را در مراحل مختلف رشد گیاه افزایش می‌دهد (۳۶). در حقیقت فراهمی نیتروژن باعث افزایش رشد و پنجه‌زنی می‌شود و سرانجام تعداد خوشه‌ها و سنبلچه‌ها را در مرحله اولیه تشکیل خوشه تعیین می‌کند (۱۵) و عدم جذب آن در هر مرحله از رشد گیاه باعث کاهش عملکرد خواهد شد (۱۴). کاربرد نیتروژن در مرحله شروع خوشه‌دهی یک عمل ضروری برای افزایش تعداد خوشه‌چه‌ها در خوشه و افزایش عملکرد برنج است (۳۷). آنیل و همکاران (۳) طی پژوهشی نشان دادند که کاربرد نیتروژن در زمان‌های مختلف اثر قابل‌توجهی بر ارتفاع بوته، تعداد پنجه در مترمربع و وزن خشک کل در ۳۰، ۶۰، ۹۰ روز پس از نشاکاری و زمان برداشت داشت. کاووسی و الله‌قلی‌پور (۲۳) اظهار داشتند که مصرف کود نیتروژن به‌صورت تقسیط، عملکرد دانه بیشتری تولید نموده و می‌تواند معیار توصیه کودی قرار گیرد. اثر مثبت تقسیط نیتروژن بر عملکرد دانه برنج توسط سایر پژوهشگران تأیید شد (۲۵).

علی‌رغم نیاز گیاه زراعی برنج به نیتروژن در طول رشد خود، مراحل رشدی حساس به این ماده غذایی در تراکم‌های مختلف بوته به‌واسطه جمعیت گیاهی مختلف، متفاوت خواهد بود. از طرفی امکان دارد که مقدار بهینه و مطلوب نیتروژن در مراحل مختلف رشدی نیز متفاوت باشد. از اینرو مطالعه حاضر با هدف تعیین بهترین تیمار تلفیقی متشکل از تراکم بوته و تقسیط نیتروژن، جهت دستیابی به بالاترین عملکرد دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، آزمایشی به‌صورت طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای شخصی واقع در روستای مشهدی‌کلا از توابع شهرستان ساری طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. محل آزمایش در ۵۳ درجه و صفر دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا واقع شده است. داده‌های هواشناسی ثبت شده در طول دوره آزمایش و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی محل آزمایش در طول دوره رشد برنج

ماه‌های سال	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)						مجموع بارش (میلی‌متر)		مجموع ساعات آفتابی (ساعت)	
	حداقل		حداکثر		میانگین					
	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸
فروردین	۱۰/۳	۱۰/۶	۲۱/۳	۱۸/۸	۱۵/۸	۱۴/۷	۳۸/۳	۷۸/۲	۱۴۸	۱۳۱
اردیبهشت	۱۵/۱	۱۵/۳	۲۵/۷	۲۵/۸	۲۰/۴	۲۰/۶	۱۸/۶	۵۱/۱	۱۹۴	۲۰۰
خرداد	۲۰/۰	۲۱/۴	۲۸/۳	۳۱/۷	۲۴/۱	۲۶/۵	۱۲/۰	۱/۰	۱۷۱	۲۷۲
تیر	۲۴/۵	۲۴/۰	۳۴/۵	۳۲/۰	۲۹/۵	۲۸/۰	۷/۴	۶۹/۹	۲۵۵	۲۰۲
مرداد	۲۵/۲	۲۳/۳	۳۲/۹	۳۲/۳	۲۹/۰	۲۷/۸	۷۲/۶	۲۲/۳	۱۴۲	۱۸۴
شهریور	۲۴/۵	۲۰/۶	۳۱/۷	۲۹/۴	۲۸/۱	۲۵/۰	۱۱/۹	۴۵/۰	۱۸۲	۱۶۰

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

ویژگی‌های خاک	واحد	۱۳۹۷	۱۳۹۸
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۰/۸۶	۱/۴۱
اسیدیته خاک	–	۷/۰۴	۷/۵۴
ماده آلی	درصد	۲/۸۲	۲/۷۰
نیتروژن کل	درصد	۰/۱۸	۰/۱۶
فسفر قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۷/۹	۸/۱
پتاسیم قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۶۵	۱۸۱
شن	درصد	۳۹	۴۲
لای	درصد	۳۶	۳۲
رس	درصد	۲۵	۲۶
بافت خاک	–	لوم	لوم

پژوهش حاضر با یک تیمار آزمایشی و در ۱۰ سطح اجرا شد که از T1 تا T10 نام‌گذاری شدند و تعریف آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. هر سطح تیماری از تلفیق تراکم بوته و تقسیط کود نیتروژن تشکیل شد. تیمار T4 به عنوان شاهد درنظر گرفته شد. تراکم‌های مختلف بوته شامل ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کپه در مترمربع بودند که به‌ترتیب با فواصل کاشت ۲۰ × ۲۵، ۱۱ × ۳۰ و ۱۰ × ۲۵ سانتی‌متر نشاکاری شدند. تقسیط کود نیتروژن بر اساس تراکم بوته تعیین شد. زمان‌های مصرف کود نیتروژن شامل بعد از نشاکاری، ابتدای پنجه‌دهی (کد ۲۱)، آغازش خوشه (کد ۳۰) و پایان ظهور خوشه (کد ۵۹) بود. انتخاب مراحل رشدی بر اساس مقیاس بی‌بی‌سی‌اچ (BBCH-scale) بود که با کد مربوطه مشخص شدند.

مزرعه محل آزمایش در سال قبل زیر کشت برنج بود. در اواخر بهمن به‌وسیله گاوآهن برگرداندار شخم زده شد و در اردیبهشت قبل از نشاکاری عملیات کامل شخم بهاره، روتیواتور، ماله کشیدن و تسطیح انجام شد. پس از آن زمین به سه تکرار تقسیم شد. هر تکرار دارای ۱۰ کرت و ابعاد هر کرت ۵ × ۳ متر بود. مقادیر کوددهی بر اساس نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مشخص شد. فسفر به‌میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل، پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم و نیتروژن به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره درنظر گرفته شدند. کودها در ابتدا بر اساس مساحت هر کرت محاسبه شدند و بعد از آن کوددهی به‌صورت دستی انجام گرفت. کودهای

جدول ۳. تعریف تیمار آزمایشی با سطوح تلفیقی از تراکم‌های مختلف بوته و تقسیط کود نیتروژن

تیمارها	تراکم بوته	تقسیط نیتروژن
T1	۲۰ کپه در مترمربع	۵۰ درصد بعد از نشاکاری + ۵۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی
T2		۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه
T3		۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه
T4		۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه
T5	۳۰ کپه در مترمربع	۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه
T6		۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه
T7		۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه
T8		۲۵ درصد بعد از نشاکاری + ۲۵ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۲۵ درصد آغازش خوشه + ۲۵ درصد پایان ظهور خوشه
T9	۴۰ کپه در مترمربع	۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه
T10		۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد آغازش خوشه + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه

فسفر و پتاسیم بعد از آماده‌سازی زمین و قبل از نشاکاری مصرف شدند اما نیتروژن بعد از نشاکاری و بر اساس تقسیط‌های مشخص شده برای هر تراکم به کرت‌های مورد نظر داده شد. جهت جلوگیری از خروج آب و کود اوره، دیواره‌های هر کرت تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با پوشش نایلونی محصور شدند. نشاکاری به‌صورت دستی و بر اساس فواصل مشخص شده در هر تراکم با ۳ گیاهچه برای هر کپه انجام شد که زمان انجام آن در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب در ۸ و ۱۷ اردیبهشت بود. کرت‌ها بلافاصله بعد از نشاکاری به‌صورت غرقاب درآمدند. طارم هاشمی رقم مورد مطالعه بود. این رقم غالب منطقه و از گروه Indica است که کیفیت و طعم خوبی دارد. این رقم متعلق به ارقام زودرس (۱۱۸ روز از بذر پاشی تا رسیدگی)، پابلند (۱۴۰ سانتی‌متر)، با قابلیت پنجه‌زنی متوسط (۱۵ عدد) و دانه بلند (۹/۸ میلی‌متر) است که عملکرد آن (۴۵۰۰-۵۵۰۰ کیلوگرم شلتوک در هکتار) نسبت به ارقام پرمحصول کمتر است. به‌منظور مبارزه شیمیایی با علف‌های هرز از علف‌کش انتخابی بوتاکلر (۳/۵ لیتر در هکتار) یک هفته پس از نشاکاری استفاده شد. همچنین مبارزه دستی در ۲ و ۴ هفته پس از نشاکاری نیز انجام شد. برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج (*Chilo suppressalis*) از سم دیازینون (گرانول ۱۰ درصد) به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله انتهای پنجه‌دهی و مرحله گلدهی استفاده شد. بوته‌های برنج پس از رسیدگی فیزیولوژیکی در تاریخ ۹ مرداد (برای هر دو سال) به‌صورت دستی و به‌طور کامل از سطح زمین برداشت شدند. نمونه‌ها به‌صورت تصادفی و با حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت انتخاب شدند و صفات زیر برای هر تیمار آزمایشی تعیین شدند. ارتفاع بوته (قبل از برداشت) و تعداد کل پنجه در کپه با میانگین‌گیری از روی ۱۲ کپه در هر کرت محاسبه شدند. طول خوشه و تعداد خوشه‌چه پر در خوشه با میانگین‌گیری از روی ۲۰ خوشه برای هر کرت تعیین شدند. تعداد خوشه در مترمربع با برداشت و شمارش تمام خوشه‌ها از مساحت یک مترمربع در هر کرت به‌دست آمد. وزن هزار دانه با شمارش ۱۰ نمونه صدتایی و توزین آنها برای هر کرت به‌دست آمد. عملکرد کاه و عملکرد دانه با برداشت همه کپه‌ها از مساحت ۴ مترمربع (۲ × ۲ متر) از قسمت میانی هر کرت اندازه‌گیری شدند (۳۹). برای این منظور، پس از جدا کردن دانه‌ها از بقایای گیاهی، آنها را به‌مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن با حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و ثبت شدند (۱۶). شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی (عملکرد دانه + عملکرد کاه) محاسبه و به‌صورت درصد بیان

شد. میزان رطوبت دانه‌ها (شلتوک) در زمان اندازه‌گیری وزن هزار دانه و عملکرد دانه ۱۴ درصد بود. جهت اندازه‌گیری نیتروژن دانه، نمونه‌ها پس از شستشو و خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، آسیاب و الک شدند. مراحل هضم، تقطیر و تیتراسیون به روش کجلدال و بر اساس دستورالعمل شرکت فاس (۱۰) با دستگاه اتوماتیک FOSS Kjeltec 2300 انجام شد و مقدار نیتروژن برحسب درصد وزن خشک گیاه محاسبه شد. تجزیه مرکب برای داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری MSTAT–C انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت. جداول با استفاده از نرم‌افزار Word ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که اثرات سال و تیمار آزمایشی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ارتفاع بوته برای سال دوم کمتر (با اختلاف ۵/۶ سانتی‌متر) از سال اول شد (جدول ۵). با بررسی داده‌های هواشناسی (جدول ۱)، به‌ویژه داده‌های روزانه هواشناسی مشخص شد که بوته‌های برنج در سال دوم از میانگین دما و ساعات آفتابی بالاتر و میزان بارندگی کمتری در دوره رشد رویشی خود برخوردار بودند که به کاهش طول این دوره و کاهش رشد در مقایسه با سال اول ختم شد. نتایج مطالعه جاری نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته برای تیمار T1 (۱۵۱/۸ سانتی‌متر) به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد (T4)، ۷/۲۵ درصد افزایش نشان داد. به‌نظر می‌رسد علاوه بر رقابت کمتر بین بوته‌های برنج در تراکم‌های پایین‌تر برای دریافت عوامل رشدی (آب، مواد غذایی، نور و ...)، مصرف تمام نیتروژن در طول دوره رشد رویشی (۵۰ درصد بعد از نشاکاری + ۵۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی)، دلیل اصلی در رشد حداکثری ارتفاع بوته برای تیمار T1 بود. طی مطالعه‌ای که خیری و همکاران (۲۴) در شهرستان آمل (مازندران) روی برنج رقم طارم امراللهی انجام داده‌اند، افزایش ارتفاع بوته با کاهش تراکم بوته یا افزایش فاصله کاشت اثبات شد. اسماعیل–زاده‌مریدانی و همکاران (۸) نیز طی پژوهشی در شهرستان لنگرود (گیلان)، اثر معنی‌دار تقسیط نیتروژن را بر ارتفاع بوته ارقام برنج (هاشمی و بهار ۱) گزارش کردند.

طول خوشه

نتایج (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمار آزمایشی بر طول خوشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که بیشترین طول خوشه برای تیمار T2 (۲۵/۰۵ سانتی‌متر) به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد (T4)، ۳/۱۹ درصد رشد نشان داد (جدول ۵). در تیمار T2 علاوه بر تراکم پایین (۲۰ کپه در مترمربع) و رقابت کمتر بین بوته‌ها و در نتیجه افزایش سهم هر پنجه مؤثر از عوامل محیطی، از طریق تأمین بهینه نیتروژن (۳۳/۳۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳۳ درصد آغازش خوشه) در طول رشد رویشی و مرحله آغازش خوشه، توانست به حداکثر طول خوشه برسد. این نتایج با یافته‌های علیپورابوخیلی و همکاران (۲) مبنی بر افزایش طول خوشه در تراکم پایین و تقسیط نیتروژن به‌روش ۳۳/۳۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳۳ درصد خوشه‌آغازین مطابقت داشت. طی مطالعه‌ای که کامروزمان و همکاران (۲۱) در بنگلادش بر روی برنج رقم BRRI dhan30 انجام داده‌اند، مشخص شد که بیشترین طول خوشه با تقسیط سه مرحله‌ای نیتروژن به‌دست آمد.

تعداد کل پنجه در کپه

تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که اثرات سال و تیمار آزمایشی بر تعداد کل پنجه در کپه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۵) نشان داد که تعداد کل پنجه در کپه در سال دوم ۲۵/۸ درصد افزایش داشت. این نتیجه با توجه به اینکه دما و نور از فاکتورهای مهم در افزایش پنجه‌زنی در برنج می‌باشند منطقی به‌نظر می‌رسد،

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب ویژگی‌های رشدی برنج تحت تیمار آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول خوشه	تعداد پنجه در کپه
سال (a)	۱	۴۷۸*	۰/۹۲ns	۳۱۲**
تکرار(سال)	۴	۱۹۶	۲/۲۴	۲/۵۸
تیمار آزمایشی (b)	۹	۱۸۹*	۲/۴۱*	۲۱/۸**
a × b	۹	۹۱/۸ns	۱/۷۴ns	۷/۳۵ns
خطا	۳۶	۸۴/۱	۱/۰۸	۶/۴۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۶/۴	۴/۳	۱۶/۵

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۵. مقایسه میانگین ویژگی‌های رشدی برنج تحت تیمار آزمایشی

	عوامل آزمایشی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	تعداد پنجه در کپه
سال	سال اول	۱۴۶a	۲۴/۲a	۱۳/۱b
	سال دوم	۱۴۰b	۲۴/۰۲a	۱۷/۷a
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۴/۸۰	۰/۵۴	۱/۳۳
تیمار آزمایشی	T1	۱۵۱a	۲۴/۶ab	۱۸/۶a
	T2	۱۴۸ab	۲۵/۱a	۱۴/۹b-d
	T3	۱۴۶a-c	۲۴/۱ab	۱۷/۷ab
	T4	۱۴۰bc	۲۴/۲ab	۱۶/۶a-c
	T5	۱۵۰ab	۲۴/۲ab	۱۵/۷a-c
	T6	۱۳۶c	۲۳/۷bc	۱۲/۰d
	T7	۱۴۲a-c	۲۴/۶ab	۱۵/۶a-c
	T8	۱۴۰bc	۲۳/۹ab	۱۴/۲cd
	T9	۱۴۱a-c	۲۴/۳ab	۱۴/۳cd
	T10	۱۳۶c	۲۲/۷c	۱۴/۳cd
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۱۰/۷	۱/۲۲	۲/۹۷

اعداد با حروف مشترک در هر عامل آزمایشی بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

زیرا بر اساس داده‌های هواشناسی (جدول ۱) میانگین دما و ساعات آفتابی در زمان پنجه‌دهی برای سال دوم بالاتر بود. پژوهشگران در همین ارتباط گزارش دادند که تعداد پنجه‌ها و خوشه‌ها با کاهش شدت نور (۴۰) و دما (۷) کاهش نشان دادند. دیگر نتایج مطالعه جاری نشان داد که بیشترین تعداد کل پنجه در کپه برای تیمار T1 (۱۸/۶ سانتی‌متر) به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد (T4)، افزایشی معادل ۱۰/۷ درصد را از خود نشان داد. این برتری را می‌توان به ظرفیت بالاتر پنجه‌زنی در هر کپه در تراکم پایین (۲۰ کپه در مترمربع) و همچنین تأمین بهینه نیتروژن برای پنجه‌دهی (۵۰ درصد بعد از نشاکاری + ۵۰

درصد ابتدای پنجه‌دهی) نسبت داد. افزایش تعداد پنجه در کپه با کاهش تراکم بوته توسط سایر پژوهشگران اثبات شد (۱ و ۲). طی مطالعه‌ای که علیپورابوخیلی و همکاران (۲) به بررسی انواع تقسیط نیتروژن در ارقام برنج پرداخته‌اند مشخص شد که بالاترین تعداد پنجه در کپه برای رقم هاشمی با تقسیط نیتروژن به‌صورت ۵۰ درصد بعد از نشاکاری + ۵۰ درصد ابتدای پنجه‌دهی به‌دست آمد که مطابق با یافته‌های ما است.

تعداد خوشه در مترمربع

نتایج مطالعه جاری نشان داد که اثرات سال و تیمار آزمایشی بر تعداد خوشه در مترمربع در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). جدول ۷ نشان داد که این صفت برای سال دوم ۳۶/۶ درصد افزایش نشان داد که به‌دلیل افزایش تعداد کل پنجه در کپه بود. همچنین بیشترین تعداد خوشه در مترمربع برای تیمار T9 (۵۱۰/۰ خوشه) حاصل شد که در مقایسه با شاهد (T4)، ۳۱/۷ درصد رشد نشان داد. تعداد خوشه در مترمربع با افزایش تعداد بوته در مترمربع افزایش داشت به‌طوری که بیشترین تعداد آن در بالاترین تراکم بوته (۴۰ کپه در مترمربع) مشاهده شد. اما با توجه به اینکه بالاترین تراکم بوته همزمان در تیمارهای T9 و T10 اعمال شد، بنابراین می‌توان روش تقسیط نیتروژن (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه) را به‌عنوان عامل مهم در موفقیت تیمار T9 در مقایسه با تیمار T10 (۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد آغازش خوشه + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه) عنوان کرد. طی مطالعه‌ای که آسمامائو (۴) در مرکز بین‌المللی Tsukuba ژاپن روی برنج رقم Nerica-4 انجام داد، افزایش تعداد خوشه در مترمربع با افزایش تراکم بوته تأیید شد. خیری و همکاران (۲۴) نیز نشان دادند که با افزایش تراکم بوته بر تعداد پانیکول در مترمربع افزوده شد. طی پژوهش دیگری که رضایی‌نوپاشانی و امین‌پناه (۳۱) در صومعه‌سرا (گیلان) بر روی برنج رقم هاشمی انجام داده‌اند، اثر معنی‌دار تقسیط نیتروژن بر تعداد خوشه در مترمربع اثبات شد.

تعداد خوشه چه پر در خوشه

نتایج (جدول ۶) نشان داد که تنها اثر سال بر تعداد خوشه‌چه پر در خوشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که تعداد آن در سال دوم کمتر (با اختلاف ۵/۳ خوشه‌چه) از سال اول بود (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد این نتیجه به‌خاطر رابطه معکوس بین تعداد خوشه در مترمربع و تعداد کل خوشه‌چه و خوشه‌چه پر در هر خوشه باشد که توسط مبصر و همکاران (۲۹) نیز اثبات شد. همچنین نتایج علی‌رغم عدم معنی‌داری نشان داد که بیشترین تعداد خوشه‌چه پر در خوشه برای تیمار T2 (۷۲/۲ خوشه‌چه) به‌دست آمد که رشدی معادل ۹/۱۵ درصد را نسبت به شاهد (T4) از خود نشان داد (جدول ۷). خیری و همکاران (۲۴) طی مطالعه‌ای که در شهرستان آمل (مازندران) روی برنج رقم طارم امراللهی انجام داده‌اند، مشابه با یافته‌های ما دریافتند که تعداد دانه پر در پانیکول با کاهش تراکم بوته افزایش داشت. هیرزل و همکاران (۱۵) نیز طی مطالعه‌ای جداگانه در شیلی نشان دادند که بیشترین تعداد خوشه‌چه پر در خوشه با تقسیط نیتروژن به نسبت مساوی در مراحل بعد از نشاکاری، پنجه‌زنی و آغازش خوشه حاصل شد.

وزن هزار دانه

جدول ۶ نشان داد که تنها اثر سال بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که مقدار آن در سال دوم بیشتر (با اختلاف ۰/۷۶ گرم) از سال اول بود (جدول ۷). همچنین علی‌رغم عدم معنی‌داری کمترین وزن هزار دانه برای تیمار T1 (۲۵/۳ گرم) و بیشترین مقادیر آن برای تیمارهای T3، T7، T8 و T9 (به‌ترتیب ۲۷/۰، ۲۷/۰، ۲۷/۳ و ۲۷/۰ گرم) به‌دست آمد. به‌طور کلی با افزایش تعداد خوشه‌چه پر در هر خوشه رقابت بین خوشه‌چه ها افزایش و سهم هر خوشه‌چه برای دریافت مواد غذایی کاهش یافت که منجر به کاهش وزن هزار دانه شد. اثر غیر معنی‌دار تراکم بوته (۴ و ۲۶) و اثر معنی‌دار تقسیط نیتروژن (۱۱ و ۱۷) بر وزن هزار دانه توسط پژوهشگران تأیید شد.

جدول ۶. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه برنج و اجزای آن تحت تیمار آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد خوشه چه پر در خوشه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
سال (a)	۱	۴۸۶۳۶۰**	۴۲۱**	۸/۸۱*	۵۹۶۰۰۶^{ns}
تکرار(سال)	۴	۱۱۹۸۷	۱۴۷	۲/۴۸	۱۲۸۰۸۱۰
تیمار آزمایشی (b)	۹	۲۳۲۷۳**	۹۲/۵^{ns}	۲/۴۴^{ns}	۱۴۲۸۶۴۹^{ns}
a × b	۹	۴۵۱۸^{ns}	۷۰/۵^{ns}	۱/۳۳^{ns}	۲۵۳۷۱۴۰^{ns}
خطا	۳۶	۷۰۰۸	۵۳/۱	۱/۸۹	۱۶۳۶۶۰۹
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲۰/۸	۱۱/۱	۵/۲	۲۱/۴

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۷. مقایسه میانگین عملکرد دانه برنج و اجزای آن تحت تیمار آزمایشی

	عوامل آزمایشی	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد خوشه چه پر در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
سال	سال اول	۳۱۲^{b}	۶۸/۵^{a}	۲۶/۰۷^{b}	۵۸۶۷^{a}
	سال دوم	۴۹۲^{a}	۶۳/۲^{b}	۲۶/۸۳^{a}	۶۰۶۶^{a}
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۴۳/۸	۳/۸۱	۰/۷۲۰۰	۶۶۹/۹
تیمار آزمایشی	T1	۴۲۴$^{a-d}$	۶۵/۸$^{a-c}$	۲۵/۳^{b}	۵۴۷۰^{ab}
	T2	۳۸۲$^{b-e}$	۷۲/۲^{a}	۲۶/۰^{ab}	۵۳۴۸^{b}
	T3	۳۲۰^{e}	۷۰/۳^{ab}	۲۷/۰^{a}	۵۹۵۵^{ab}
	T4	۳۴۸^{de}	۶۵/۶$^{a-c}$	۲۶/۶^{ab}	۵۵۵۸^{ab}
	T5	۴۴۸$^{a-c}$	۶۱/۸^{bc}	۲۶/۰^{ab}	۶۴۹۳^{ab}
	T6	۳۳۳^{de}	۶۵/۴$^{a-c}$	۲۶/۲^{ab}	۶۰۲۸^{ab}
	T7	۴۰۱$^{b-e}$	۶۷/۶^{ab}	۲۷/۰^{a}	۵۶۹۸^{ab}
	T8	۳۷۷/$^{c-e}$	۶۶/۰$^{a-c}$	۲۷/۳^{a}	۵۸۶۳^{ab}
	T9	۵۱۰^{a}	۶۵/۶$^{a-c}$	۲۷/۰^{a}	۶۸۶۵^{a}
	T10	۴۷۵^{ab}	۵۸/۲^{c}	۲۶/۰^{ab}	۶۳۸۸^{ab}
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۹۸/۰	۸/۵۳	۱/۶۱	۱۴۹۸

اعداد با حروف مشترک در هر عامل آزمایشی بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات سال و تیمار آزمایشی بر عملکرد دانه معنی‌دار نشدند (جدول ۶). با این‌حال مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۷)، تفاوتی را بین سطوح مختلف تیمار آزمایشی نشان داد به‌طوری که بیشترین عملکرد دانه برای تیمار T9 (۶۸۶۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد (T4)، ۱۹/۱ درصد رشد نشان داد. افزایش تراکم بوته و به‌دنبال آن افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در

مترمربع را می‌توان دلیل اصلی برتری تیمار T9 در عملکرد دانه دانست که با نتایج پژوهشگرانی همچون ساندهو و همکاران (۳۳) و خیری و همکاران (۲۴) مطابقت داشت. با توجه به اینکه بالاترین تراکم بوته (۴۰ کپه در مترمربع) هم‌زمان متعلق به تیمارهای T9 و T10 بود، بنابراین برتری عملکرد دانه در تیمار T9 را می‌توان به کاربرد بیشتر نیتروژن بعد از پایان ظهور خوشه (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه) نسبت داد، به‌طوری که به نظر می‌رسد با افزایش دوام سطح سبز و طولانی‌تر کردن دوره پر شدن دانه، مواد غذایی بیشتری به سمت خوشه‌چه‌ها انتقال داده شده و هرچند غیر معنی‌دار، تعداد خوشه‌چه پر (۱۱/۲ درصد) و وزن هزار دانه (با اختلاف یک گرم) را در مقایسه با تیمار T10 (۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد آغازش خوشه + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه) افزایش داد. هیرزل و همکاران (۱۵) نتایجی مشابه را با یافته‌های ما گزارش دادند. میرزاشاهی و نورقلی‌پور (۲۸) در همین ارتباط بیان داشتند که چنانچه مقدار کود نیتروژن به‌میزان بهینه و متناسب با مراحل حساس رشدی گیاه مصرف شود نه‌تنها حصول به عملکرد اقتصادی محتمل خواهد بود، بلکه اثرات منفی زیست محیطی ناشی از کاربرد غیر اصولی کود تعدیل می‌شود.

عملکرد کاه

تجزیه واریانس مرکب صفات (جدول ۸) نشان داد که اثر تیمار آزمایشی بر عملکرد کاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که حداکثر عملکرد کاه برای تیمار T9 (۱۳۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و در مقایسه با شاهد (T4) رشدی معادل ۲۵/۷ درصد را از خود نشان داد (جدول ۹). افزایش تعداد ساقه در مترمربع در تراکم‌های بوته بالاتر (T9 و T10) را می‌توان دلیل اصلی برتری در عملکرد کاه دانست. از این میان، تیمار T9 به‌خاطر داشتن ارتفاع بوته و طول خوشه بالاتر (به ترتیب با اختلاف ۵/۱ و ۱/۵۹ سانتی‌متر) عملکرد کاه بالاتری را به‌خود اختصاص داد که احتمال دارد به روش تقسیط نیتروژن (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه) مرتبط باشد. بزرگی و همکاران (۵) نیز نتایجی مشابه با یافته‌های ما گزارش دادند، به‌طوری که با مطالعه‌ای بر روی برنج رقم هاشمی در منطقه لاهیجان دریافتند که بیشترین عملکرد کاه در تراکم بالا با فواصل کاشت کمتر حاصل شد. علیپورابوخیلی و همکاران (۲) نیز طی بررسی بر روی ارقام برنج (کوهسار و طارم هاشمی) به این نتیجه رسیدند که عملکرد کاه به موازات با افزایش تراکم بوته افزایش داشت. این پژوهشگران در ادامه نشان دادند که بیشترین عملکرد کاه با تقسیط نیتروژن به‌روش ۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد ابتدای پنجه‌دهی + ۳۳/۳ درصد خوشه‌آغازین حاصل شد که به‌دلیل تعداد پنجه در رقم کوهسار و صفات ارتفاع بوته و طول خوشه در رقم طارم هاشمی بود. کائوشال و همکاران (۲۲) نیز طی مطالعه‌ای بر روی برنج رقم IR64 در مرکز تحقیقات کشاورزی هند نشان دادند که بیشترین عملکرد کاه در هکتار با تقسیط نیتروژن در مراحل پایه، پنجه‌دهی و آغازش خوشه به‌دست آمد.

شاخص برداشت

جدول ۸ نشان داد که اثر تیمار آزمایشی بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر سال بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد که به‌دلیل وجود روند مشابهی میان عملکرد کاه و علکرد دانه بود. بیشترین شاخص برداشت برای تیمار T3 (۴۰/۹ درصد) به‌دست آمد که اختلافی معادل ۵/۳۸ درصد را با شاهد (T4) نشان داد (جدول ۹) و دلیل برتری آن را می‌توان به تعداد پایین ساقه در مترمربع و به‌دنبال آن عملکرد کاه کمتر نسبت داد. پژوهشگران با بررسی اثر تراکم بوته (۱۶، ۲۵ و ۳۳/۳ کپه در مترمربع) روی برنج رقم طارم هاشمی نشان دادند که حداکثر شاخص برداشت در تراکم‌های ۱۶ و ۲۵ کپه در مترمربع (به‌ترتیب ۴۹/۲ و ۴۸/۳ درصد) حاصل شد و مقدار آن با افزایش تراکم تا ۳۳/۳ کپه در مترمربع کاهش معنی‌داری داشت (۱). برخی پژوهشگران نیز عدم معنی‌داری شاخص برداشت را در

جدول ۸. تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد کاه، شاخص برداشت و غلظت نیتروژن دانه برنج تحت تیمار آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کاه	شاخص برداشت	غلظت نیتروژن دانه
سال (a)	۱	۳۶۴۰۸^{ns}	۹/۶۰^{ns}	۰/۵۱**
تکرار(سال)	۴	۱۳۲۹۰۶۸۷	۴۹/۵	۰/۰۹
تیمار آزمایشی (b)	۹	۱۱۸۷۰۳۹۳**	۴۰/۵*	۰/۰۹^{ns}
a × b	۹	۳۴۵۰۱۹۸^{ns}	۳۶/۲^{ns}	۰/۰۶^{ns}
خطا	۳۶	۳۲۰۱۸۱۳	۱۷/۴	۰/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۶/۶	۱۱/۷	۱۸/۷

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۹. مقایسه میانگین صفات عملکرد کاه، شاخص برداشت و غلظت نیتروژن دانه برنج تحت تیمار آزمایشی

عوامل آزمایشی		عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	غلظت نیتروژن دانه (درصد)
سال	سال اول	۱۰۷۴۸^{a}	۳۵/۹^{a}	۱/۳۶^{a}
	سال دوم	۱۰۷۹۷^{a}	۳۶/۲^{a}	۱/۱۷^{b}
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۹۳۷	۲/۱۸	۰/۱۲
تیمار آزمایشی	T1	۱۱۰۵۵^{bc}	۳۳/۴^{c}	۱/۳۰^{ab}
	T2	۹۳۹۸^{cd}	۳۶/۶$^{a-c}$	۱/۱۹^{ab}
	T3	۸۷۳۶^{d}	۴۰/۹^{a}	۱/۱۶^{ab}
	T4	۱۰۱۰۴$^{b-d}$	۳۵/۵^{bc}	۱/۲۳^{ab}
	T5	۱۰۲۵۷$^{b-d}$	۳۸/۷^{ab}	۱/۳۷^{a}
	T6	۹۹۷۳$^{b-d}$	۳۷/۱$^{a-c}$	۱/۴۰^{a}
	T7	۱۱۷۴۷^{ab}	۳۲/۶^{c}	۱/۳۶^{a}
	T8	۱۰۹۲۰^{bc}	۳۴/۶^{bc}	۱/۰۴^{b}
	T9	۱۳۶۰۳^{a}	۳۳/۴^{c}	۱/۲۰^{ab}
	T10	۱۱۹۳۶^{ab}	۳۴/۸^{bc}	۱/۴۱^{a}
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۲۰۹۵	۴/۸۸	۰/۲۷

اعداد با حروف مشترک در هر عامل آزمایشی بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

واکنش به اثر تراکم بوته نشان دادند (۳۰). اثر معنی‌دار تقسیط نیتروژن بر شاخص برداشت نیز توسط پژوهشگران گزارش شد به‌طوری که بیشترین شاخص برداشت برای ارقام برنج (هاشمی و کوهسار) با تقسیط نیتروژن به‌نسبت مساوی در مراحل بعد از نشاکاری، خوشه‌آغازین و خوشه‌دهی کامل مشاهده شد (۲).

غلظت نیتروژن دانه

تجزیه واریاس مرکب صفات نشان داد که تنها اثر سال بر غلظت نیتروژن دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که مقدار آن برای سال دوم کمتر (با اختلاف ۰/۱۸ درصد) از سال اول بود (جدول ۸). همچنین علی‌رغم عدم

معنی‌داری اثر تیمار آزمایشی بر محتوای نیتروژن دانه، مشخص شد که کمترین غلظت نیتروژن دانه برای تیمار T8 (۱/۰۴ درصد) و بیشترین مقادیر آن برای تیمارهای T5، T6، T7 و T10 (به‌ترتیب ۱/۳۷، ۱/۴۰، ۱/۳۶ و ۱/۴۰ گرم) به‌دست آمد (جدول ۹). نیتروژن دانه به‌طور عمده از جابجایی نیتروژن انباشته شده قبل از گرده‌افشانی و جذب نیتروژن از خاک پس از گرده‌افشانی به‌دست می‌آید (۱۸ و ۱۹). سام‌دلیری و همکاران (۳۲) طی مطالعه‌ای دریافتند که بیشترین میزان نیتروژن کل گیاه با تقسیط سه مرحله‌ای نیتروژن به نسبت مساوی در مراحل بعد از نشاکاری، خوشه‌آغازین و خوشه‌دهی کامل حاصل شد و میزان آن با تقسیط چهار مرحله‌ای نیتروژن به‌نسبت مساوی در مراحل بعد از نشاکاری، ابتدای پنجه‌دهی، خوشه‌آغازین و خوشه‌دهی کامل در رتبه پایین‌تر قرار گرفت.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر دریافتیم که تعداد خوشه در مترمربع مؤثرترین جزء عملکرد برای دستیابی به عملکرد دانه بالاتر بود و با افزایش تراکم بوته بر تعداد آن افزوده شد، به‌طوری که بالاترین تعداد خوشه در مترمربع برای تیمارهایی (T9 و T10) با تراکم ۴۰ کپه در مترمربع به‌دست آمد. بااین‌حال حداکثر عملکرد دانه در تیمار T9 (۳۳/۳ درصد بعد از نشاکاری + ۳۳/۳ درصد آغازش خوشه + ۳۳/۳ درصد پایان ظهور خوشه) مشاهده شد که به افزایش میزان مصرف نیتروژن بعد از پایان ظهور خوشه و احتمالاً افزایش دوام سطح سبز و افزایش طول دوره پر شدن دانه مرتبط است، چرا که هرچند غیر معنی‌دار، تعداد خوشه‌چه پر (۱۱/۲ درصد) و وزن هزار دانه (با اختلاف یک گرم) را در مقایسه با تیمار T10 (۴۰ درصد بعد از نشاکاری + ۴۰ درصد آغازش خوشه + ۲۰ درصد پایان ظهور خوشه) افزایش داد و در نهایت در تولید دانه موفق‌تر بود.

منابع مورد استفاده

1. Alipour Abookheili, F. and H. R. Mobasser. 2021. Effect of planting density on growth characteristics and grain yield increase in successive cultivations of two rice cultivars. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 4: e20213.
2. Alipour Abookheili, F., Gh. Noormohammadi, H. Madani, H. Heidari Sharifabad and H. Mobasser. 2020. Effect of nitrogen splitting and plant density on yield and grain yield components of two rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 17: 631-645. (In Farsi).
3. Anil, K., M. Yakadri and G. Jayasree. 2018. Influence of nitrogen levels and times of application on growth parameters of aerobic Rice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7: 1525-1529.
4. Asmamaw, B. A. 2017. Effect of planting density on growth, yield and yield attributes of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research* 12: 2713-2721.
5. Bozorgi, H. M., A. Faraji, R. Khosravi Danesh, A. Keshavarz, E. Azarpour and F. Tarighi. 2011. Effect of Plant Density on Yield and Yield Components of Rice. *World Applied Sciences Journal* 12: 2053-2057.
6. Chapagain, T. and E. Yamaji. 2010. The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy and Water Environment* 8: 81-90.
7. Deng, N., X. Ling, Y. Sun, C. Zhang, S. Fahad, S. Peng, K. Cui, L. Nie and J. Huang. 2015. Influence of temperature and solar radiation on grain yield and quality in irrigated rice system. *European Journal of Agronomy* 64: 37-46.
8. Esmaeilzade-Moridani, M., K. Alami-Saeid and M. Eshraghi-Nejad. 2013. Study of nitrogen split application on yield and grain quality on native and breeded rice varieties. *Scientia Agriculturae* 2: 3-10.
9. Fan, X., Z. Tang, Y. Tan, Y. Zhang, B. Luo, M. Yang, X. Lian, Q. Shen, A. J. Miller and G. Xu. 2016. Overexpression of a pH-sensitive nitrate transporter in rice increases crop yields. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113: 7118-7123.
10. Foss Tecator, A. B. 2001. The Determination of nitrogen according to kjeldahl using block digestion and steam distillation. AN300.
11. Garshasbi, M., M. Dadnia and M. Rafiei. 2011. Evaluating the effects of amounts and different times of nitrogen consumption on quantitative and qualitative traits in sesame (*Sesamum indicum* L.) in Behbehan Province. *The quarterly Academic Journal of Crop Physiology* 3: 95-105. (In Farsi).

12. Godfray, H. C. J., J. R. Beddington, I. R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. M. Thomas and C. Toulmin. 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion People. *Science* 327: 812-818.
13. Gozubenli, H. 2010. Influence of planting pattern and plant density on the performance of maize hybrids in the eastern Mediterranean condition. *International Journal of Agriculture and Biology* 12: 556-560.
14. Haefele, S., M. KNaklang, D. Harnpichitvitaya, S. Jearakongman, E. Skulkhu, P. Romyen, S. Phasopa, S. Tabtim, D. Suriya-arunroj, S. Khunthasuvon, D. Kraisorakul, P. Youngsuk, S. T. Amarante and L. J. Wade. 2006. Factors affecting rice yield and fertilizer response in rainfed lowlands of northeast Thailand. *Field Crops Research* 98: 39-51.
15. Hirzel, J., A. Pedreros and K. Cordero. 2011. Effect of nitrogen rates and spilt nitrogen fertilization on grin yield and its components in flooded rice. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 437-444.
16. International Rice Research Institute. 2002. Find out how the qualities of rice are evaluated and scored in this authoritative sourcebook. *Standard Evaluation System for Rice* 1: 1−54.
17. Jemberu, T., M. Togashi and H. Urayama. 2015. Nitrogen fertilizer application timing on growth and yield of Nerica4 and japanese rice variety toyohatamochi. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 5: 91-97.
18. Jiang, L., D. Dong, X. Gan and S. Wei. 2005. Photosynthetic efficiency and nitrogen distribution under different nitrogen management and relationship with physiological N-use efficiency in three rice genotypes. *Plant and Soil* 271: 321-328.
19. Jiang, L., T. Dai, D. Jiang, W. Cao, X. Gan and S. Wei. 2004. Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars. *Field Crops Research* 88: 239-250.
20. Jones, J. M. and D. B. Sheats. 2016. Consumer Trends in Grain Consumption. Reference Module in Food Sciences St. Catherine University. Elsevier, USA.
21. Kamruzzaman, M. D., M. D. Abdul Kayum, M. D. Mainul Hasan, M. D. Mahmudul Hasan, J. A. Teixeira da Silva and D. A. Silva. 2013. Effect of split application of nitrogen fertilizer on yield and yield attributes of transplanted aman rice (*Oryza sativa* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 38: 579-587.
22. Kaushal, A. K., N. S. Rana, A. Singh, S. Neeraj and A. Srivastav. 2010. Response of levels and split application of nitrogen in green manured wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Asian Journal of Agricultural Sciences* 2: 42-46.
23. Kavoosi, M. and M. Allah Gholipour. 2017. Effect of rate and split application of nitrogen fertilizer on growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cvs. Gilaneh and Abjiboji. *Iranian Journal of Crop Sciences* 19: 165-180. (In Farsi).
24. Kheyri, N., H. R. Mobasser, B. Masoodi and P. Yadolahi. 2016. Effect of plant density and planting pattern on yield components and yield of rice (*Oryza sativa* L.) var. Tarom Amrollahi. *Journal of Plant Ecophysiology* 8: 26-34. (In Farsi).
25. Kumar, A., A. Kumar and K. P. Singh. 2017. Effect of split application of nitrogen on physiological maturity of rice (*Oryza sativa*). *International Journal of Pure and Applied Bioscience* 5: 960-970.
26. Lack, S. H., R. Danaieefar and M. Sharifzadeh. 2013. Investigate the effect of seed aging and plant density on yield and yield components of wheat (cv. Chamran) in Khuzestan climate conditions. *The quarterly Academic Journal of Crop Physiology* 5: 77-87. (In Farsi).
27. Li, G., J. Zhang, C. Yang, Z. Liu, S. Wang and Y. Ding. 2016. Population characteristics of high-yielding rice under different densities. Agronomy Journal. 108: 1415-1423.
28. Mirzashahi, K. and F. Noorgholipour. 2020. Investigation of rate and method of nitrogen application on nitrogen use efficiency and seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *The quarterly Academic Journal of Crop Physiology* 12: 45-63. (In Farsi).
29. Mobasser, H. R., M. Mohseni Delarestaghi, A. Khorgami, D. Barari Tari and H. Pourkalhor. 2007. Effect of planting density on agronomical characteristics of rice (*Oryza Sativa* L.) varieties in north of Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10: 3205-3209.
30. Moradpour, S., R. Koohi, M. Babaei and M. Goldoust Khorshidi. 2013. Effect of planting date and planting density on rice yield and growth analysis (Fajr Variety). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5: 267-272.
31. Rezaei Noupashani, S. and H. Aminpanah. 2017. Effect of different crops rotation with rice, N rate and N split application on crop grain yield. *Journal of Plant Ecophysiology* 9: 95-106. (In Farsi).
32. Sam Daliri, M., H. R. Mobasser and S. Dastan. 2011. The effects of the amount and splitting of nitrogen on physiological and agronomic indicators of local Tarom rice. *Journal of Crop Ecophysiology* 3: 101-109. (In Farsi).
33. Sandhu, S. S., S. S. Mahal and A. Kaur. 2015. Physicochemical, cooking quality and productivity of rice as influenced by planting methods, planting density and nitrogen management. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences* 5: 33-40.
34. Sarmadnia, M. and A. Koochaki. 2013. Physiology of Crop Plants. Mashhad Jihad University, Mashhad. (In Farsi).
35. Shadchina, T. M. and V. V. Dmitrieva. 1995. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. *Journal of Plant Nutrition* 18: 1427-1437.

36. Sharma, J. C., M. S. Kuhad and A. Sharma. 1994. Influence of alkalinity on rice germination and growth. *International Rice Research Institute* 1: 89-100.
37. Sui, B., X. M. Feng, G. L. Tian, X. Y. Hu, Q. R. Shen and S. W. Guo. 2013. Optimizing nitrogen supply increases rice yield and nitrogen use efficiency by regulating yield formation factors. *Field Crops Research* 150: 99-107.
38. Tyagi, A. K. and M. Mohanty. 2000. Rice transformation for crop improvement and functional genomics. *Plant Science* 158: 1-18.
39. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. IRRI, Los Banos, Philippines.
40. Zhang, B. and J. Yamagishi. 2010. Response of spikelet number per panicle in rice cultivars to three transplanting densities. *Plant Production Science* 13: 279-288.
41. Zheng, H., Y. Chen, Q. Chen, B. Li, Y. Zhang, W. Jia, W. Mo and Q. Tang. 2020. High-density planting with lower nitrogen application increased early rice production in a double-season rice system. *Agronomy Journal* 112: 205-214.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Nitrogen Fertilizer and Plant Density on Growth Characteristics, Yield Components and Grain Yield of Rice

S. Yahyazadeh[1], H. R. Mobasser[2*], E. Rahimi Petroudi[2], A. Daneshmand[2]

(Received: September 26-2022; Accepted: February 13-2023)

Abstract

In order to investigate the effect of nitrogen fertilizer and plant density on the agronomic characteristics of rice cv. Tarom Hashemi, a field experiment was carried out as a randomized complete blocks design with three replications during 2018 and 2019 in a farm located in Sari, north of Iran. The present study consisted of 10 levels of plant density (hills m^{-2}) and N fertilizer, named T1 (20 hills + [50 percent after transplanting + 50 percent at the beginning of tillering]), T2 (20 hills + [33.3 percent after transplanting + 33.3 percent at the beginning of tillering + 33.3 percent at panicle formation]), T3 (20 hills + [40 percent after transplanting + 40 percent at the beginning of tillering + 20 percent at the end of panicle emergence]), T4 (20 hills + [33.3 percent after transplanting + 33.3 percent at panicle formation + 33.33 percent at the end of panicle emergence]) as a control, T5 (30 hills + [33.3 percent after transplanting + 33.3 percent at the beginning of tillering + 33.3 percent at panicle formation]), T6 (30 hills + [40 percent after transplanting + 40 percent at the beginning of tillering + 20 percent at the end of panicle emergence]), T7 (30 hills + [33.3 percent after transplanting + 33.3 percent at panicle formation + 33.3 percent at the end of panicle emergence]), T8 (30 hills + [25 percent after transplanting + 25 percent at the beginning of tillering + 25 percent at panicle formation + 25 percent at the end of panicle emergence]), T9 (40 hills + [33.3 percent after transplanting + 33.3 percent at panicle formation + 33.3 percent at the end of panicle emergence]), and T10 (40 hills + [40 percent after transplanting + 40 percent at panicle formation + 20 percent at the end of panicle emergence])..The results showed that the effect of year was not significant on grain yield. But the grain nitrogen concentration was lower in the second year (with a difference of 0.185 percent). The maximum total number of tillers per hill (18.61 tillers), panicle length (25.0 cm) and harvest index (40.9 percent) were obtained under T1, T2 and T3 treatments, respectively. Grain yield was not affected by the experimental treatment, however, its maximum (6865 kg ha^{-1}) was obtained under T9 treatment due to an increase in the number of panicles per square meter (510 panicles), indicating an increase of 19.0 percent compared to the control treatment (T4). A density of 40 hills per square meter with nitrogen splitting of 33.3 percent after transplanting + 33.3 percent at panicle formation + 33.3 percent at the end of panicle emergence (T9) is recommended to achieve maximum grain yield of rice under the conditions of this experiment in northern Iran.

Keywords: Grain nitrogen content, Paddy yield, Nitrogen splitting, Plant density

1, 2. PhD. Student and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
*: Corresponding Author, Email: drmobasser.neg@gmail.com