نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۶۹ تا ۱۸۴

تعیین بهترین تراکم گیاهی در نشاکاری ماشینی برنج در مقایسه با کشت دستی در شرایط سن بالای گیاهچه

ابراهیم رضایی[۱]، مرتضی سام‌دلیری[۲]، حمیدرضا مبصر[۳*]، امیرعباس موسوی‌میرکلایی[۴] و مرتضی مبلغی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳)

چکیده

تعیین تراکم گیاهی مناسب در شرایط استفاده از گیاهچه‌هایی با سنین بالا، مهم است. بدین‌منظور آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در یک مزرعه شخصی واقع در شهرستان قائم‌شهر طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. تراکم‌های گیاهی شامل کشت دستی- سنتی با حداکثر ۱۱ کپه در مترمربع (با فواصل کاشت نامنظم و رایج منطقه) به‌عنوان تیمار شاهد، کشت دستی- منظم با ۲۵ کپه در مترمربع (با فواصل کاشت ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور) و کشت ماشینی با ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع (به‌ترتیب با فواصل کاشت ۲۱ × ۳۰، ۱۶ × ۳۰ و ۱۲ × ۳۰ سانتی‌متر) بودند. سن گیاهچه‌ها در کشت دستی ۴۵ روز و در کشت ماشینی ۳۵ روز بودند. نتایج نشان دادند که تعداد روز از نشاکاری تا گلدهی و از گلدهی تا رسیدگی برای تراکم‌های کشت ماشینی بیشتر از تیمارهای شاهد و ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم بودند. برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی تنها بر طول برگ پرچم و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. بلندترین طول خوشه و طول برگ پرچم برای تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم حاصل شد. بیشترین تعداد خوشه در مترمربع و درصد خوشه‌چه پر برای تراکم‌های کشت ماشینی به‌دست آمد. حداکثر عملکرد دانه برای تراکم‌های ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم (۸۰۲۲ کیلوگرم در هکتار)، و ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع در کشت ماشینی (به‌ترتیب ۸۰۳۴، ۸۲۳۶ و ۸۱۶۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۹/۰۶، ۱۹/۱۸، ۲۱/۱۶ و ۲۰/۵۱ درصد افزایش داشت. پیشنهاد می‌شود که در صورت استفاده از گیاهچه‌هایی با سنین بالا، کشت ماشینی با تراکم‌های ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع در اولویت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بوته، روش کشت، طول برگ پرچم، عملکرد دانه، گیاهچه با سن بالا

۱، ۲ و ۴. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران
۳. استادیار گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: drmobasser.neg@gmail.com

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) محصول و غذای اصلی بسیاری از کشورهای آسیایی با تولید جهانی حدود ۵۱۰ میلیون تن در سال است (۳۲). برآورد می‌شود زمانی که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر برسد، تقاضا برای برنج دو برابر خواهد شد (۱۲). به‌طورکلی دو راه برای افزایش تولید دانه برنج وجود دارد: افزایش سطح کاشت و افزایش عملکرد دانه در واحد سطح (۳۳). دستیابی به اولی به‌دلیل کمبود آب و شهرنشینی ناشی از توسعه اقتصادی دشوار است. بنابراین، افزایش عملکرد در واحد سطح ممکن است یک رویکرد مؤثر برای افزایش تولید برنج فراهم کند (۱۵).

استان مازندران با ۳۳/۷۶ درصد، بیشترین سهم تولید برنج را در کشور بر عهده دارد (۲). الگوی رایج کشت برنج در منطقه به‌صورت دستی می‌باشد. اما در سال‌های اخیر، نیروی کار روستایی به‌طور فزآینده‌ای ناکافی و گران شده است که عمدتاً به‌دلیل مهاجرت نیروی کار از مناطق روستایی به شهرها است. بدین سبب نشاکاری ماشینی به‌تدریج در حال جایگزین شدن روش‌های مرسوم کشت برنج شده است. علاوه بر آن در روش ماشینی، زمین کمتری برای پرورش گیاهچه موردنیاز است و همچنن راندمان مکانیکی بالا در این روش به تولید برنج در مقیاس بزرگ و عملیات تجاری کمک می‌کند (۳۷). اما محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد که از آن جمله می‌توان به ضعیف بودن گیاهچه ناشی از میزان کاشت زیاد و آسیب شدید وارده به گیاهچه توسط ماشین آلات در حین نشاء اشاره کرد (۳۵).

سن گیاهچه در زمان نشاکاری عامل مهمی در تولید برنج و تنظیم رشد آن است زیرا در درجه اول به افزایش تعداد پنجه مؤثر، طول خوشه، دانه‌های پر در خوشه و وزن هزار دانه کمک می‌کند و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه برنج می‌شود (۱۰). سن گیاهچه به عوامل زیادی از جمله تناوب زراعی، شرایط آب و هوایی و غیره بستگی دارد (۱ و ۳۰). درصورت افزایش سن گیاهچه‌ها از حد مطلوب، گیاهچه‌ها به‌دلیل کاهش دوره رشد رویشی، تعداد پنجه و وزن خشک کمتری تولید می‌کنند که باعث کاهش عملکرد دانه برنج می‌شود (۲۸). در حقیقت تعداد خوشه‌های مؤثر در برنج‌هایی که با تأخیر نشا می‌شوند و سن گیاهچه بالایی دارند، به‌دلیل کاهش پنجه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد و منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (۲۳). خیری و مبصر (۲۰) نیز در این خصوص گزارش کردند که با افزایش سن نشا از ۲۰ روز به ۴۰ روز از تعداد کل پنجه و تعداد پنجه‌های بارور کاسته شد. همچنین ناصری و همکاران (۲۷) نشان دادند که تعداد پنجه برای نشاهای ۲۰ روزه، ۲۵ درصد بیشتر از نشاهای ۴۰ روزه بود. فتحعلی‌نژاد و همکاران (۱۲) تحت کشت ماشینی برنج نیز دریافتند که با افزایش سن نشا تعداد پنجه کاهش یافت و بیشترین تعداد پنجه برای نشاهای ۲۰ روزه و کمترین آن برای نشاهای ۳۳ روزه به‌دست آمد. این محققان همچنین دریافتند که عملکرد دانه تحت تأثیر سن نشا تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اما مشخص شد که با افزایش سن نشا به میزان ۸ درصد از عملکرد دانه کاسته شد.

تراکم کاشت نقش مهمی در بهبود ساختار جمعیت، ترویج استفاده موثر از نور خورشید و تنظیم وقوع پنجه برنج و تشکیل عملکرد دانه دارد (۱۶ و ۲۲). تعیین تراکم مناسب کاشت، اساسی‌ترین و حیاتی‌ترین ملاحظات برای کشت برنج پرمحصول است، چرا که می‌تواند پنجه‌زنی در هر بوته را تسریع کند، متغیرها را متعادل کند و رشد هماهنگ بوته و جامعه گیاهی را ارتقا دهد (۱۴). افزایش تراکم بوته یک فن رایج برای دستیابی به عملکرد دانه بالاتر است، زیرا ظرفیت بالقوه تاج گیاه را برای جذب تابش خورشید، آب و مواد مغذی افزایش می‌دهد (۳۱). طی مطالعه‌ای مشخص شد که در شرایطی که گیاهچه‌ها سنین بالاتری داشتند، افزایش تراکم توانست (علی‌رغم کاهش تعداد دانه در خوشه) به‌طور معنی‌داری تعداد پنجه، خوشه‌های مؤثر و عملکرد دانه برنج را افزایش دهد (۲۴). این محققین عنوان داشتند که افزایش تراکم می‌تواند در به حداقل رساندن کاهش تعداد پنجه و کاهش عملکرد دانه برنج ناشی از سنین گیاهچه بالا مؤثر باشد. علیپور

ابوخیلی و همکاران (۵) دریافتند که با افزایش تراکم کاشت، هر چند تعداد پنجه بارور در کپه و تعداد خوشه‌چه پر در خوشه به دلیل رقابت بیشتر کاهش یافتند، ولی تعداد خوشه در مترمربع و به‌دنبال آن عملکرد دانه در واحد سطح افزایش نشان دادند که به‌خاطر افزایش تعداد بوته در واحد سطح بود. دیگر محققان نیز اظهار داشتند که کاشت متراکم می‌تواند بخشی از عملکرد را از طریق تعداد بالای خوشه‌ها جبران کند (۸). ناصری و همکاران (۲۷) نیز در مطالعه‌ای جداگانه نشان دادند که میزان عملکرد بیولوژیک با افزایش تراکم گیاه افزایش یافت به‌طوری‌که میزان آن در تراکم ۳۳ بوته در مترمربع، ۳۱ درصد بیشتر از تراکم ۱۳ بوته در مترمربع بود. این محققان در ادامه نتایج مشابهی را برای عملکرد دانه گزارش کردند و میزان افزایش آن را در تراکم ۳۳ بوته در مترمربع، ۵۹ درصد اعلام کردند. ابراهیمی‌راد و همکاران (۹) نیز بیشترین عملکرد دانه را در بالاترین سطح تراکم یعنی ۴۴ بوته در مترمربع و با روش کاشت ۱۵ × ۱۵ سانتی‌متر گزارش کردند. با این‌حال برخی از مطالعات نتایج متفاوتی را ارائه دادند. برای مثال معلوم شد که کاهش تراکم نشاء می‌تواند تعداد دانه در خوشه و عملکرد برنج را افزایش دهد (۶). دیگر محققان نیز بالاترین عملکرد دانه را در تراکم کاشت پایین‌تر مشاهده کردند (۱۳ و ۲۱).

درصد بزرگی از تولید برنج در کشور مربوط به استان مازندران می‌باشد که به‌خاطر بارندگی‌های بهاره و در بعضی از مناطق برداشت دیرهنگام کلزا (*Brassica napus* L.) احتمال اینکه هرساله سن گیاهچه‌ها در داخل خزانه بالا رود وجود دارد. با این‌حال، تا به‌حال الگوی کشت صحیحی برای زمان بالا رفتن سن گیاهچه‌ها در منطقه معرفی نشده است. کشت مرسوم برنج به‌صورت دستی می‌باشد. اما کشت ماشینی نیز به‌خاطر مزایایی که دارد در سال‌های اخیر روبه افزایش است. به‌نظر می‌رسد از ترکیب روش کشت و تراکم گیاهی می‌توان به یک الگوی کشت مطلوبی جهت دستیابی به بالاترین مقدار عملکرد دانه برنج تحت کاشت گیاهچه‌های تأخیری رسید. بدین سبب این مطالعه با هدف تعیین بهترین تراکم گیاهی در کشت ماشینی برنج در مقایسه با کشت دستی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در یک مزرعه شخصی واقع در شهرستان قائم‌شهر در استان مازندران طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ انجام شد. محل آزمایش در ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی با ۲۵ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. شهرستان قائم‌شهر دارای آب و هوای معتدل و مرطوب با میانگین دمای سالانه ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۷۲۴/۹ میلی‌متر و ۱۴ روز یخبندان می‌باشد. داده‌های هواشناسی محل آزمایش در طول رشد و نمو برنج برای هر دو سال زراعی در جدول ۱ ارائه شده است. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش برای هر دو سال زراعی در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش حاضر به‌صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تراکم‌های گیاهی شامل کشت دستی– سنتی با حداکثر ۱۱ کپه در مترمربع (با فواصل نامنظم و رایج منطقه) به‌عنوان تیمار شاهد و کشت دستی– منظم با ۲۵ کپه در مترمربع (با فواصل کاشت ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور) و کشت ماشینی با ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع (به‌ترتیب با فواصل کاشت ۲۱ × ۳۰، ۱۶ × ۳۰ و ۱۲ × ۳۰ سانتی‌متر) بودند. به‌منظور تهیه گیاهچه‌ها برای کشت دستی، ابتدا بذرهای به ظاهر سالم به‌مدت ۲۴ ساعت در آب (به‌منظور رشد قارچ‌های احتمالی در شکاف بذرها) خوابانیده شدند. سپس در مدت مشابه با محلول قارچ‌کش کاربوکسین‌تیرام (۳ گرم سم و ۱/۵ لیتر آب به ازای هر کیلوگرم بذر) ضدعفونی شدند. کاربوکسین‌تیرام با نام تجاری ویتاواکس به‌منظور کنترل بیماری‌های لکه قهوه‌ای (*Cochliobolus miyabeanus*) و پوسیدگی طوقه برنج (*Gibberella fujikuroi*) مورد استفاده قرار گرفت. در طول ۲۴ ساعت، بذرها دو مرتبه با دست جابه‌جا شدند تا ضدعفونی به‌طور یکنواخت صورت گیرد تا اثر بخشی بالاتری داشته باشد. بذور ضدعفونی شده برای جوانه زنی به‌مدت ۴۸–۲۴ ساعت در گرم‌خانه (۲۵–۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹۵ درصد)

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

ماه‌های سال	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)						مجموع بارندگی (میلی‌متر)		مجموع ساعات آفتابی (ساعت)	
	حداقل		حداکثر		میانگین					
	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰
خرداد	۲۰/۳	۲۱/۳	۳۱/۷	۳۰/۷	۲۶/۰	۲۶/۰	۴/۰	۲۶/۴	۲۹۷/۰	۲۱۹/۵
تیر	۲۲/۹	۲۴/۶	۳۲/۶	۳۴/۰	۲۷/۷	۲۹/۳	۱۶/۶	۲۵/۵	۲۵۵/۵	۲۳۱/۵
مرداد	۲۳/۵	۲۴/۹	۳۱/۶	۳۴/۲	۲۷/۵	۲۹/۶	۳۹/۲	۲۷/۹	۱۳۴/۷	۲۳۱/۷
شهریور	۲۰/۸	۲۳/۵	۳۰/۸	۳۱/۸	۲۵/۸	۲۷/۷	۳۲/۸	۳۸/۷	۲۲۱/۴	۱۴۳/۱

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

ویژگی‌های خاک	واحد	۱۳۹۹	۱۴۰۰
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۰/۳۹	۰/۲۸
اسیدیته خاک	–	۷/۳۱	۷/۰۳
ماده آلی	درصد	۱/۸	۲/۰
نیتروژن کل	درصد	۰/۰۸	۰/۱۳
فسفر قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۲۸	۲۳
پتاسیم قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۹۹	۱۷۹
شن	درصد	۳۹	۴۳
لای	درصد	۳۴	۲۸
رس	درصد	۲۷	۲۹
بافت خاک	–	کلی لوم	کلی لوم

نگهداری شدند. بذرهای جوانه‌زده (به‌طول ۲ تا ۳ میلی‌متر) در ۱۹ فروردین در خزانه با پوشش نایلون بذرپاشی شدند. زمین خزانه یک هفته قبل از کاشت آماده شد. اما گیاهچه‌ها برای کشت ماشینی به‌طور مستقیم از مرکز تولید گیاهچه (بانک نشاء) تهیه و در تاریخ نشاکاری به مزرعه تحقیقاتی منتقل شدند. در این مرکز از سینی‌های مخصوص به ابعاد ۵ × ۳۰ × ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد. این سینی‌ها بعد از مراحل خاک‌دهی پایه (۳ سانتی‌متر)، بذرپاشی یکنواخت (۱۰۰–۱۲۰ گرم در هر سینی) با دستگاه سیدر و خاک‌دهی مجدد (۲ سانتی‌متر بالای بذرها)، به‌مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در اتاق تاریک (۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۸۵ درصد) نگهداری شدند تا جوانه‌دار شوند. سپس برای ادامه رشد به خزانه با پوشش نایلون منتقل شدند. سطح بستر خزانه باید کاملا صاف باشد تا کف سینی‌ها در یک سطح صاف قرار گیرند تا از این طریق آب به تمام قسمت‌های سینی برسد و همچنین بتوان آب را در یک ارتفاع مشخص نگه داشت تا از قارچی شدن و ضعیف شدن گیاهچه‌ها جلوگیری کرد. سن بهینه گیاهچه در منطقه برای کشت دستی ۳۰ روز (۳/۸ برگی) و برای کشت ماشینی ۲۰ روز (۲/۵ برگی) می باشد. سن گیاهچه‌ها برای مطالعه جاری با ۱۵ روز افزایش به ۴۵ روز (۵/۵ برگی) برای کشت دستی و ۳۵ روز (۴/۲ برگی) برای کشت ماشینی تغییر یافت. رقم شیرودی با ۱۳۰ روز فاصله از بذرپاشی تا رسیدگی، ۱۰۶ سانتی‌متر ارتفاع و ۱۳/۵ تن در هکتار میانگین عملکرد شلتوک، رقم برنج مورد مطالعه بود. این رقم جزء ارقام پرمحصول، دیررس و پاکوتاه محسوب می‌شود.

از خصوصیات بارز آن می‌توان به عملکرد بالا، کیفیت پخت مناسب و بازار پسندی بسیار خوب از نظر شکل دانه و مقاومت در برابر آفات و بیماری‌های مهم، اشاره کرد. بیشترین سطح زیر کشت در بین سایر ارقام برنج پرمحصول در استان مازندران و کشور، به این رقم اختصاص دارد (۲۹). مزرعه محل آزمایش در سال قبل زیر کشت برنج بود. آماده‌سازی زمین شامل شخم، روتیواتور، ماله کشیدن و تسطیح بود. پس از آن، زمین به ۴ تکرار مساوی تقسیم شد. هر تکرار از ۵ کرت به ابعاد ۸ × ۶ متر تشکیل شد. کرت‌ها به‌واسطه دیواره‌هایی با ارتفاع و عرض ۳۰ سانتی‌متر از هم جدا شدند. برای رفت و آمد راحت‌تر در مزرعه، تکرارها در چهار طرف خود ۲ متر فضای آزاد داشتند. مساحت زمین مورد نیاز برای انجام این آزمایش ۱۵۹۸ مترمربع (۳۴ × ۴۷ متر) بود. تاریخ نشاکاری برای هر دو سال آزمایش ۲ خرداد بود. در تراکم کشت دستی- سنتی (شاهد) گیاهچه‌ها به‌صورت نامنظم توسط کارگر نشاء شدند. اما به‌منظور رعایت فواصل کاشت توسط نشاگر در تراکم ۲۵ کپه در مترمربع، از یک تخته چوب (۲۰ × ۳۰۰ سانتی‌متر) علامت‌گذاری شده استفاده شد. عملیات نشاکاری ماشینی با دستگاه نشاکار سوارشونده ۶ ردیفه انجام شد. نشاکاری برای تراکم‌های مختلف کشت دستی و ماشینی با ۳ گیاهچه در هر کپه انجام شد. به‌منظور مشاهده و رعایت فواصل کاشت در تراکم دستی منظم، کرت‌ها در زمان نشاکاری بدون آب بودند و بلافاصله بعد از نشاکاری به‌صورت غرقاب درآمدند. در تراکم‌های مختلف کشت ماشینی نیز کرت‌ها بعد از نشاکاری به آرامی به‌صورت غرقاب درآمدند. علّت آن بهبود عملیات نشاکاری و افزایش استقرار صحیح گیاهچه‌ها بود. کوددهی بر اساس نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۲) مشخص شد. فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار، پتاسیم از منبع کلرور پتاسیم به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شدند. کودهای فسفر و پتاسیم قبل از نشاکاری و در یک مرحله مصرف شدند. اما کود نیتروژن در سه مرحله (۳۳/۳ درصد پایه، ۳۳/۳ درصد در زمان ظهور خوشه‌آغازین و ۳۳/۳ درصد در مرحله خوشه‌دهی کامل) مصرف شد (۲۵). کودها قبل از مصرف بر اساس مساحت هر کرت (۴۸ مترمربع) محاسبه شدند. کود دهی به‌صورت دستی انجام گرفت. جهت جلوگیری از خروج آب و کود اوره، دیواره‌های هر کرت تا عمق ۳۰ سانتی‌متر با پوشش نایلونی محصور شدند. به‌منظور جذب کامل کود اوره، کانال‌های ورود و خروج آب به کرت‌ها پس از هر بار کوددهی، تا ۴۸ ساعت مسدود شدند. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش بوتاکلر (۳/۵ لیتر در هکتار)، یک هفته پس از نشاکاری استفاده شد. مبارزه دستی در ۲ و ۴ هفته پس از نشاکاری نیز انجام شد. برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج (*Chilo suppressalis*) از حشره‌کش دیازینون (گرانول ۱۰ درصد) به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در مراحل انتهای پنجه‌دهی و گلدهی استفاده شد. عملیات برداشت محصول پس از رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد. زمان آن در سال‌های اول و دوم برای کشت ماشینی (به‌ترتیب در ۱۸ و ۲۱ شهریور) و کشت دستی (۴ شهریور برای هر دو سال) متفاوت بود. کپه‌های برنج به‌صورت دستی و به‌طور کامل از سطح زمین برداشت شدند. برای ارزیابی صفات مورد مطالعه، نمونه‌ها با حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت انتخاب شدند. صفات فنولوژیک شامل تعداد روز از نشاکاری تا ابتدای گلدهی و ابتدای گلدهی تا رسیدگی بودند. ابتدای گلدهی با ظهور ۵۰ درصد از خوشه ها در هر کرت اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته (قبل از برداشت) و تعداد کل پنجه در کپه با میانگین‌گیری از ۱۵ کپه محاسبه شدند. طول برگ پرچم به‌طور متوسط از ۲۰ برگ به‌دست آمد. طول خوشه و تعداد کل خوشه‌چه در خوشه با میانگین‌گیری از ۲۰ خوشه تعیین شدند. درصد خوشه‌چه‌های پر شده از نسبت تعداد خوشه‌چه‌های پر شده به تعداد کل خوشه‌چه‌ها محاسبه و به‌صورت درصد بیان شد. تعداد خوشه در مترمربع با برداشت و شمارش تمام خوشه‌ها از مساحت یک مترمربع به‌دست آمد. وزن هزار دانه با شمارش ۱۰ نمونه صدتایی از دانه‌ها و توزین کل آنها تعیین شد. عملکرد کاه و عملکرد شلتوک با برداشت

تمام کپه‌ها از مساحت ۸ مترمربع (۴ × ۲ متر) از قسمت میانی هر کرت اندازه‌گیری شدند. بدین منظور، پس از جدا کردن دانه‌ها از کاه، آنها را به‌مدت ۲۴ ساعت در کوره با حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و ثبت شدند (۱۹). شاخص برداشت از نسبت عملکرد شلتوک به عملکرد زیستی (عملکرد شلتوک + عملکرد کاه) محاسبه و به‌صورت درصد بیان شد. میزان رطوبت دانه‌ها در زمان اندازه‌گیری وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک ۱۴ درصد بود. تجزیه مرکب داده‌های به‌دست آمده در طول دو سال آزمایش با نرم افزار آماری MSTAT–C انجام شد. میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. در صورت معنی‌دار شدن برهم‌کنش بین تیمارها، از ارائه اثرات ساده آنها خودداری شد. رسم جداول و اشکال به‌ترتیب با نرم‌افزارهای Word 2007 و Excel 2007 انجام شد.

نتایج و بحث

صفات فنولوژیک

تعداد روز از نشاکاری تا ابتدای گلدهی از نظر آماری تحت اثرات ساده سال و تراکم گیاهی در سطح احتمال یک درصد و تعداد روز از ابتدای گلدهی تا رسیدگی تحت اثر ساده تراکم گیاهی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفتند (جدول ۳). تعداد روز از نشاکاری تا ابتدای گلدهی برای سال دوم (۶۳/۳۵ روز) با اختلاف ۴/۲ روز بیشتر از سال اول بود (جدول ۴) که می‌تواند به‌خاطر مجموع بارندگی‌های ماهانه بیشتر و مجموع ساعات آفتابی کمتر در سال دوم باشد (جدول ۱). همچنین مشاهده شد که تعداد روز از نشاکاری تا ابتدای گلدهی برای تراکم‌های ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع در کشت ماشینی بیشتر از شاهد و تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی بود. تعداد روز از ابتدای گلدهی تا رسیدگی نیز برای تراکم‌های مختلف در کشت ماشینی بیشتر از تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی بود و علی‌رغم عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها، این برتری در تعداد روز در مقایسه با تیمار شاهد نیز وجود داشت (جدول ۴). این اتفاق را می‌توان به شرایط متفاوت رشد گیاهچه‌ها در این دو روش کشت نسبت داد. گیاهچه‌هایی که برای کشت دستی بودند فضای کافی برای رشد داشتند و همچنین شرایط مشابهی را از نظر خاک، نور و آب و هوا با مزرعه اصلی تجربه کردند و بعد از نشاکاری با تنش کمتری به رشد خود ادامه می‌دهند. درحالی‌که گیاهچه‌هایی که برای کشت ماشینی می‌باشند گیاهچه‌های ضعیفی هستند که در فضای کاشت محدود و با شرایط متفاوتی نسبت به مزرعه اصلی رشد می‌کنند به‌طوری‌که بعد از انتقال به مزرعه اصلی مدت زمان بیشتری را برای جبران این آسیب نیاز دارند. البته نمی‌توان از آسیب شدیدی که ماشین‌آلات در زمان نشاکاری به گیاهچه وارد می‌کنند غافل شد (۳۵). محققان در جای دیگری عنوان کردند که تأخیر در رشد برنج تحت نشاء ماشینی به‌خاطر اثرات مضری است که بر روی ریشه‌های نشاء دارد. آنها اظهار داشتند که، حدود ۱۰ تا ۱۴ روز طول می‌کشد تا بوته‌های برنج پس از آسیب بهبود پیدا کنند (۲۳). از طرفی گیاهچه‌ها در کشت دستی (۴۵ روزه) در مقایسه با کشت ماشینی (۳۵ روزه) ۱۰ روز بیشتر در خزانه باقی ماندند که احتمالاً همین امر باعث می‌شود زودتر به مراحل رشدی بعدی برسند. تأخیر در مراحل رشد برنج تحت نشاء ماشینی در مقایسه با نشا دستی قبلا توسط محققان گزارش شده است (۱۸). آنها دریافتند که مراحل خوشه‌دهی و رسیدگی برنج به‌ترتیب ۲ تا ۳ روز و ۱ تا ۲ روز به تعویق افتادند. نتایج مشابهی توسط دیگر محققان مبنی بر تأخیر مراحل مختلف رشدی برنج تحت نشای ماشینی در مقایسه با نشای دستی ثبت شده است (۲۳).

صفات مرفولوژیکی

اثر سال از نظر آماری بر ارتفاع بوته و طول خوشه معنی‌دار نشد

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفات فنولوژیکی و مرفولوژیکی برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد روز از نشاءکاری تا ابتدای گلدهی	تعداد روز از ابتدای گلدهی تا رسیدگی	ارتفاع بوته	طول خوشه
سال	۱	۱۷۶**	۶۲/۵ns	۱/۶۴ns	۲/۰۳ns
تکرار (سال)	۶	۳/۳۸	۱۴/۲	۲۰/۷	۰/۴۶
تراکم گیاهی	۴	۳۵۷**	۲۴/۹*	۱۳۴**	۱/۵۷*
سال × تراکم گیاهی	۴	۱/۳۳ns	۱/۳۱ns	۱۲/۹*	۰/۹۱ns
خطا	۲۴	۲/۵۲	۷/۷۸	۳/۴۶	۰/۵۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۵۹	۶/۵۰	۱/۶۱	۲/۶۳

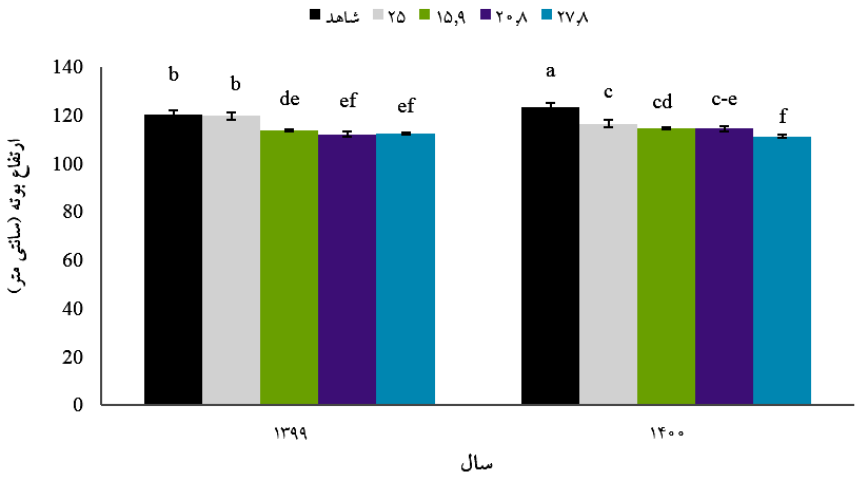
ns، **، * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات فنولوژیکی و مرفولوژیکی برنج

	تیمارهای آزمایشی	تعداد روز از نشاءکاری تا ابتدای گلدهی	تعداد روز از ابتدای گلدهی تا رسیدگی	طول خوشه (سانتی‌متر)
سال	۱۳۹۹	۵۹/۱۵b	-	-
	۱۴۰۰	۶۳/۳۵a	-	-
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۱/۴۲۳	–	–
تراکم گیاهی (کپه در متر مربع)	شاهد	۵۳/۸b	۴۱/۶ab	۲۷/۴b
	۲۵	۵۴/۰b	۴۰/۵b	۲۸/۲a
	۱۵/۹	۶۶/۷a	۴۳/۵a	۲۷/۵ab
	۲۰/۸	۶۵/۷a	۴۴/۴a	۲۷/۴b
	۲۷/۸	۶۵/۸a	۴۴/۵a	۲۷/۰b
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۱/۶۴	۲/۸۸	۰/۷۴

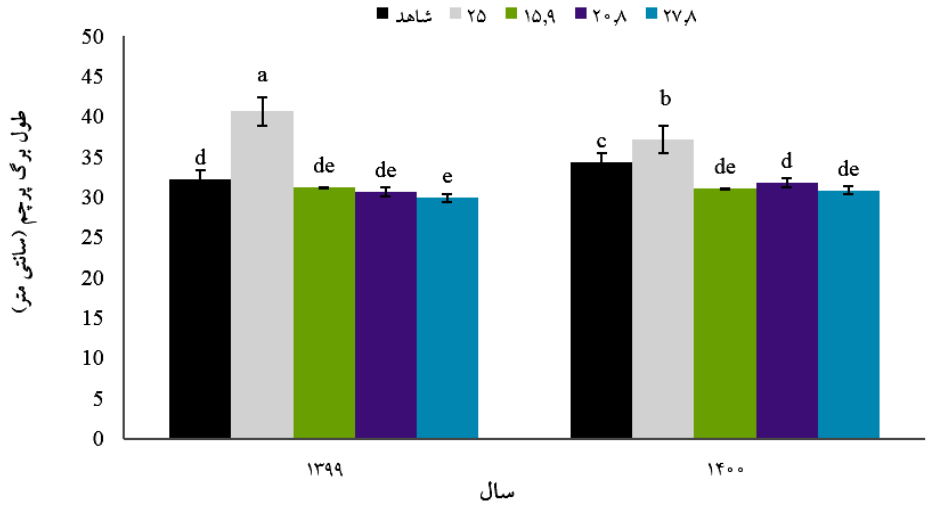
اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نمی‌باشد.
شاهد با حداکثر ۱۱ کپه در متر مربع و رایج منطقه، ۲۵ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری دستی- منظم و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری ماشینی

ولی اثر ساده تراکم گیاهی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و طول خوشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی تنها بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). بلندترین طول خوشه برای تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم به‌دست آمد که با تراکم ۱۵/۹ کپه در مترمربع در کشت ماشینی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۴). بیشترین ارتفاع بوته برای سال دوم با تراکم شاهد (۱۲۳/۳ سانتی‌متر) و بلندترین طول برگ پرچم برای سال اول با تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم (۴۰/۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). نتایج نشان داد که رشد طولی برنج در تراکم‌های مختلف تحت کشت ماشینی کمتر از کشت دستی بود. احتمالاً به این خاطر که گیاهچه‌های تحت کشت دستی با شرایط مزرعه سازگارتر بودند و در خزانه و زمان نشاکاری آسیب کمتری دیدند و در نتیجه رشد مساعدتری را نیز سپری کردند. لیو و همکاران (۲۳) نیز احتمال دادند مهار



شکل ۱. ارتفاع بوته تحت برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی. میله‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند (حداقل اختلاف معنی‌دار: ۲/۴۲۸).

شاهد با حداکثر ۱۱ کپه در متر مربع و رایج منطقه، ۲۵ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری دستی- منظم و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری ماشینی



شکل ۲. طول برگ پرچم تحت برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی. میله‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند (حداقل اختلاف معنی‌دار: ۱/۶۱۹).

شاهد با حداکثر ۱۱ کپه در متر مربع و رایج منطقه، ۲۵ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری دستی- منظم و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری ماشینی

رشد گیاهچه‌ها در خزانه و تأخیر در بهبود آسیب وارده به گیاهچه ناشی از نشاکاری ماشینی باعث کاهش رشد رویشی و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته و وقوع پنجه می‌باشد. این محققان دریافتند که طول خوشه و ارتفاع گیاه در ارقام مختلف مورد مطالعه تحت نشاکاری ماشینی کمتر از نشاکاری با دست بود.

اجزای عملکرد دانه

همان‌طوری که در جدول ۵ مشهود است، اثر ساده سال بر تعداد کل پنجه در کپه در سطح احتمال ۵ درصد و بر درصد خوشه‌چه‌های پر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی بر هیچ یک از اجزای عملکرد

جدول ۵. تجزیه واریانس مرکب صفات اجزای عملکرد دانه برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد کل پنجه در کپه	تعداد خوشه در متر مربع	تعداد کل خوشه‌چه در خوشه	درصد خوشه‌چه پر	وزن هزار دانه
سال	۱	۱۱/۱*	۹۱۲ns	۱۸۱ns	۳۴۹**	۰/۳۰ns
تکرار (سال)	۶	۱/۷۶	۴۹۷	۶۹/۳	۱/۸۵	۰/۱۲
تراکم گیاهی	۴	۱۱۹**	۴۷۶۸۷**	۲۳۱۲**	۱۴۸**	۲/۱۲**
سال × تراکم گیاهی	۴	۱/۸۹ns	۱۸۹۲ns	۱۷۸ns	۹/۰۵ns	۰/۵۸ns
خطا	۲۴	۲/۱۰	۱۱۵۰	۶۶/۷	۸/۵۷	۰/۲۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۳۰	۷/۳۴	۷/۳۳	۳/۸۲	۲/۱۸

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

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات اجزای عملکرد دانه برنج

تیمارهای آزمایشی		تعداد کل پنجه در کپه	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد کل خوشه‌چه در خوشه	درصد خوشه‌چه پر(٪)	وزن هزار دانه (گرم)
سال	۱۳۹۹	۱۹/۳b	۴۵۷a	۱۱۳a	۷۹/۵a	۲۴/۷a
	۱۴۰۰	۲۰/۳a	۴۶۶a	۱۰۹a	۷۳/۶b	۲۴/۹a
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۱/۰۳	۱۷/۲	۶/۴۴	۱/۰۵	۰/۲۶
تراکم گیاهی (کپه در مترمربع)	شاهد	۱۸/۷b	۳۴۱c	۱۲۴b	۷۴/۲b	۲۴/۷a
	۲۵	۱۷/۹bc	۴۲۷b	۱۳۴a	۷۰/۳c	۲۳/۹b
	۱۵/۹	۲۶/۶a	۵۱۹a	۱۰۱c	۷۹/۲a	۲۳/۹a
	۲۰/۸	۱۸/۸b	۵۱۲a	۱۰۰c	۷۸/۶a	۲۵/۲a
	۲۷/۸	۱۷/۰c	۵۰۹a	۹۵/۸c	۸۰/۸a	۲۵/۲a
	حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)	۱/۴۹	۳۵	۸/۴۲	۳/۰۲	۰/۵۵

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نمی‌باشد
شاهد با حداکثر ۱۱ کپه در متر مربع و رایج منطقه، ۲۵ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری دستی- منظم و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری ماشینی

دانه معنی‌دار نبود ولی، اثر ساده تراکم گیاهی بر کلیه اجزای عملکرد مانند تعداد کل پنجه در کپه، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه، درصد خوشه‌چه پر و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تعداد کل پنجه در کپه برای سال دوم بیشتر از سال اول بود ولی، درصد خوشه‌چه پر برای سال اول با اختلافی معادل ۵/۹، بیشتر از سال دوم بوده است (جدول ۶). برخی از متغیرهای مورد مطالعه هر چند غیر معنی‌دار، احتمالاً توانستند در کنار هم، اثر معنی‌داری را بر درصد خوشه‌چه پر بگذارند. این نتایج را می‌توان به افزایش پنجه‌های موثر (با اختلاف ۱۰ خوشه در مترمربع) و افزایش رقابت بین آنها و در نتیجه کاهش سهم هر پنجه برای پر کردن خوشه‌چه‌ها در سال دوم نسبت داد. علاوه بر آن تعداد

روز از گلدهی تا رسیدگی در سال دوم (با اختلاف ۲/۵ روز) کمتر از سال اول بود، بنابراین فرصت کمتری برای پر شدن خوشه‌چه‌ها وجود داشت. همچنین بیشترین تعداد کل پنجه در کپه برای تراکم ۱۵/۹ کپه در مترمربع در کشت ماشینی با ۲۶/۶۵ پنجه به‌دست آمد (جدول ۶). معمولا با کاهش تراکم، سهم هر کپه برای دریافت فاکتورهای رشدی (آب، نور، مواد غذایی و ...) بیشتر خواهد شد و درنتیجه می‌تواند تعداد پنجه بیشتری را تولید کند. در مطالعه جاری تراکم ۱۵/۹ کپه در مترمربع از سایر تراکم‌ها (به‌غیر از شاهد) کمتر بود. از طرفی این تراکم از فواصل کاشت گسترده و منظم (۲۱ سانتی‌متر ×۳۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد که در مقایسه با تراکم شاهد (با فواصل گسترده و نامنظم) شرایط بهتری را برای دریافت بهینه نور در کانوپی و تحریک بیشتر پنجه‌زنی داشت. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تعداد پنجه در کپه به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تراکم‌های مختلف کاشت (۲۵ × ۲۰، ۲۰ × ۲۰، ۱۵ × ۲۰ و ۱۰ × ۲۰ سانتی‌متر) قرار گرفت، به‌طوری که بیشترین مقدار آن در فواصل بیشتر کاشت و کمترین مقدار آن در فواصل کمتر کاشت مشاهده شد (۱۳). بوومیک و همکاران (۷) اظهار داشتند که احتمالاً این نتایج به‌خاطر دسترسی بهتر گیاهان به نور خورشید و مواد غذای خاک در فواصل مطلوب کاشت و درنتیجه تسهیل در رشد مناسب باشد. کویرنگ و همکاران (۲۱) نتایجی مغایر با یافته‌های ما به‌دست آوردند به‌طوری که بالاترین تعداد پنجه در مترمربع را با افزایش فاصله ردیف مشاهده کردند.

حداکثر تعداد خوشه در مترمربع (۵۱۹، ۵۱۲ و ۵۰۹ خوشه) به‌ترتیب برای تراکم‌های ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع در کشت ماشینی و کمترین تعداد آن برای تراکم شاهد با ۳۴۱ خوشه در مترمربع حاصل شد (جدول ۶). با توجه به نتایج به دست آمده احتمالاً تعداد خوشه در مترمربع در تراکم‌های کشت ماشینی از طریق افزایش تعداد پنجه مؤثر در هر کپه در تراکم پایین و افزایش تعداد پنجه مؤثر در واحد سطح در تراکم‌های بالاتر افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد به‌خاطر اینکه سن گیاهچه‌ها در تراکم‌های کشت دستی بالاتر از کشت ماشینی بود فرصت کمتری برای تبدیل تمام پنجه‌ها به پنجه‌های مؤثر وجود داشت. این کاهش در تیمار شاهد به‌خاطر تراکم بسیار پایین و نامطلوب، شدیدتر بود. حداکثر تعداد کل خوشه‌چه در خوشه و کمترین درصد خوشه‌چه پر و حداقل وزن هزار دانه برای تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم حاصل شد (جدول ۶). هر چند درصد خوشه‌چه پر در تراکم ۲۵ کپه در مترمربع کم بود اما به‌خاطر تعداد کل خوشه‌چه بالاتر، تعداد خوشه‌چه‌های پر شده بیشتری در هر خوشه در مقایسه با سایر تیمارها داشت و همین امر باعث افزایش رقابت و درنتیجه کاهش وزن هزار دانه شد. در ادامه نتایج ملاحظه می‌شود که بیشترین درصد خوشه‌چه پر برای تراکم‌های ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع در کشت ماشینی و کمترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه نیز برای همین تراکم‌ها به‌دست آمد. زمانی که تعداد پنجه مؤثر در واحد سطح افزایش می‌یابد سهم هر پنجه از عوامل رشدی برای تشکیل خوشه‌چه‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش تعداد کل خوشه‌چه در هر خوشه رقابت بین خوشه‌چه‌ها برای دریافت مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد که همین اتفاق باعث افزایش تعداد خوشه‌چه پر و وزن هزار دانه در تراکم‌های کشت ماشینی شد. علاوه بر این بیشترین تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی (طول پر شدن دانه) برای تراکم‌های همین کشت بود که می‌تواند دلیلی دیگر برای افزایش درصد خوشه‌چه پر و وزن هزار دانه باشد. بر اساس مطالعات وو و همکاران (۳۴) مشخص شد که کاهش مناسب تراکم کاشت می‌تواند به‌طور مؤثری تعداد خوشه و تعداد دانه در بوته را افزایش دهد، به‌طوری‌که بوته‌ها می‌توانند هماهنگ با یکدیگر رشد کنند تا عملکرد برنج بالاتری به‌دست آورند. طی مطالعه‌ای که هو و همکاران (۱۴) انجام داده‌اند معلوم شد که تعداد خوشه در واحد سطح با افزایش تراکم کاشت افزایش یافت درحالی‌که تعداد خوشه‌چه‌ها در هر خوشه کاهش یافت. نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تعداد خوشه موثر در مترمربع و تعداد کل دانه در خوشه و عملکرد دانه در اکثر ارقام مورد بررسی تحت نشاء ماشینی به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (۲۳) که با نتایج مطالعه جاری مطابقت ندارد.

عملکرد شلتوک، زیستی و شاخص برداشت

عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی از نظر آماری تحت اثر ساده تراکم گیاهی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند ولی تحت اثر ساده سال تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. همچنین تنها عملکرد زیستی تحت برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی قرار گرفت و در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌داری شد. شاخص برداشت تحت هیچ یک از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۷). عملکرد شلتوک تحت تراکم‌های ۲۵، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۹/۱، ۱۹/۲، ۲۱/۱ و ۲۰/۵ درصد افزایش معنی‌داری داشتند. حداقل عملکرد شلتوک معادل ۶۴۹۳ کیلوگرم در هکتار برای تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۸). تراکم‌های مختلف در کشت ماشینی به‌واسطه برتری در صفات تعداد خوشه در مترمربع، درصد خوشه‌چه پر و وزن هزار دانه عملکرد شلتوک بالایی داشتند. در مطالعات قبلی نیز ثابت شد که ارتباط مستقیمی میان عملکرد دانه با تعداد پنجه موثر در مترمربع، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه وجود دارد (۲۱). علیپور ابوخیلی و مبصر (۴) تعداد خوشه در مترمربع را مهمترین جز عملکرد برای افزایش عملکرد دانه در پاسخ به تراکم گیاهی گزارش کردند. از طرفی در مطالعه جاری تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم تنها به‌خاطر تعداد کل خوشه‌چه در خوشه توانست حداکثر عملکرد شلتوک را به‌دست آورد. این تراکم به‌خاطر طول خوشه بلندتر از تعداد کل خوشه‌چه بیشتری در هر خوشه برخوردار بود. اما در حقیقت به‌واسطه طول برگ پرچم بلندتری که داشت تعداد بیشتری از خوشه‌چه‌ها را در مقایسه با سایر تیمارها (علی‌رغم درصد خوشه‌چه پر کمتر)، در هر خوشه پر کرد. در نتایج دیگر مطالعات موفقیت تراکم ۲۵ کپه در مترمربع (۲۰ سانتی‌متر × ۲۰ سانتی‌متر) به برتری در طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه نسبت داده شد (۱۳) بر اساس نتایج سایر مطالعات، تغییر در روش کاشت برنج تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه دارد. با این‌حال عملکرد دانه را می‌توان با افزایش ظرفیت مخزن افزایش داد. در واقع بالا بردن ظرفیت مخزن (تعداد کل خوشه‌چه در واحد سطح) یک عامل حیاتی برای افزایش عملکرد دانه برنج است (۱۴). ظرفیت مخزن را می‌توان با افزایش تعداد خوشه در واحد سطح (۱۷) و یا با افزایش تعداد خوشه‌چه در هر خوشه (۳۶) افزایش داد که با یافته‌های مطالعه جاری کاملاً مطابقت دارد. شکل ۳ نشان داد که حداقل عملکرد زیستی در سال اول و در سال دوم با تراکم شاهد (به‌ترتیب ۱۲۳۷۹ و ۱۲۲۴۲ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. این نتیجه می‌تواند به‌خاطر کاهش همزمان عملکرد کاه (به‌دلیل افت شدید تعداد ساقه در واحد سطح) و عملکرد شلتوک باشد. حداکثر عملکرد زیستی به‌خاطر افزایش عملکرد کاه (به‌دلیل طول خوشه و طول برگ پرچم بالاتر) در سال اول با تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی- منظم (۱۵۵۱۱ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که از نظر آماری با تیمارهای ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع در کشت ماشینی در سال اول (به‌ترتیب ۱۵۰۳۸ و ۱۵۱۸۳ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵/۹ و ۲۰/۸ کپه در مترمربع در کشت ماشینی در سال دوم (به‌ترتیب ۱۴۹۵۸ و ۱۵۱۹۱ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی داری را نشان نداند. علی‌رغم عدم معنی‌داری شاخص برداشت تحت اثر ساده تراکم، آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار توانست بین مقدار میانگین‌های مختلف تراکم گیاهی تفاوت نشان دهد به‌طوری‌که تراکم ۱۵/۹ کپه در مترمربع در کشت ماشینی با ۵۵/۱۶ درصد توانست حداکثر شاخص برداشت را برای خود ثبت کند. به‌نظر می‌رسد این نتیجه به‌خاطر بالاتر بودن شدت افزایش عملکرد شلتوک در مقایسه با عملکرد کاه باشد. سایر محققان نیز عدم معنی‌داری شاخص برداشت را در پاسخ به تراکم بوته گزارش کردند (۳، ۴ و ۲۶). علیپور ابوخیلی و مبصر (۴) علّت این اتفاق را برای هر دو کشت اول و کشت مجدد برنج، یکسان بودن شدت افزایش عملکرد دانه و عملکرد کاه عنوان کردند. در مطالعه‌ای جداگانه با بررسی فواصل مختلف کاشت مشخص شد که بالاترین شاخص برداشت به‌علّت بیشتر بودن شدت افزایش عملکرد دانه نسبت به عملکرد کاه، در تراکم ۲۵ کپه در مترمربع (۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد. کمترین شاخص برداشت نیز به‌علّت بیشتر بودن شدت کاهش عملکرد دانه نسبت به عملکرد کاه

جدول ۷. تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد شلتوک	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
سال	۱	۱۵۵۶۲۵^{ns}	۱۲۵۱۶۰^{ns}	۲/۶۰^{ns}
تکرار (سال)	۶	۱۵۷۰۴۲	۵۸۷۴۶۷	۱/۱۹
تراکم گیاهی	۴	۴۲۷۲۹۱۳**	۱۱۳۶۷۰۴۳**	۷/۸۸^{ns}
سال × تراکم گیاهی	۴	۲۰۰۷۵۶^{ns}	۷۵۳۷۳۵*	۳/۱۴^{ns}
خطا	۲۴	۱۰۹۴۹۳	۲۱۷۳۹۴	۳/۰۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۴/۲۵	۳/۲۴	۳/۲۱

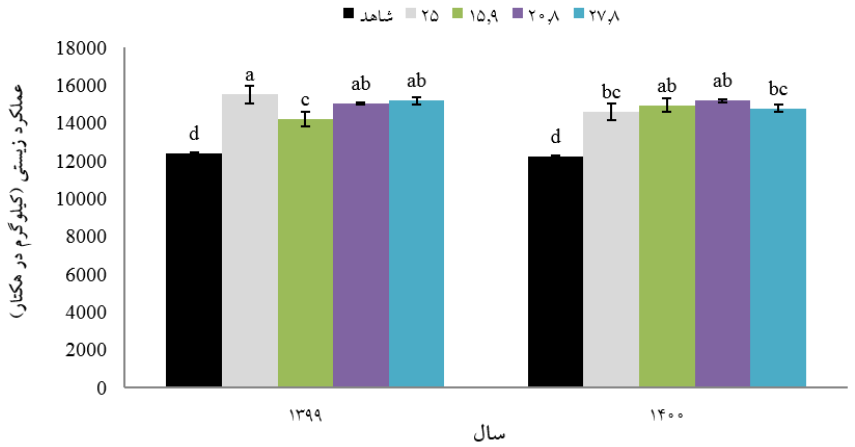
ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد

جدول ۸. مقایسه میانگین صفات عملکرد شلتوک، زیستی و شاخص برداشت برنج

تیمارهای آزمایشی		عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
تراکم گیاهی (کپه در متر مربع)	شاهد	۶۴۹۳^{b}	۵۲/۷۳^{b}
	۲۵	۸۰۲۲^{a}	۵۳/۲۸^{b}
	۱۵/۹	۸۰۳۴^{a}	۵۵/۱۶^{a}
	۲۰/۸	۸۲۳۶^{a}	۵۴/۴۹^{ab}
	۲۷/۸	۸۱۶۸^{a}	۵۴/۴۷^{ab}
حداقل اختلاف معنی‌دار (۰/۰۵)		۳۴۱/۵	۱/۷۹۱

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نمی‌باشد

شاهد با حداکثر ۱۱ کپه در متر مربع و رایج منطقه، ۲۵ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری دستی- منظم و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری ماشینی



شکل ۳. عملکرد زیستی تحت برهم‌کنش سال در تراکم گیاهی. میله‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند (حداقل اختلاف معنی‌دار: ۶۸۰/۵).

شاهد با حداکثر ۱۱ کپه در متر مربع و رایج منطقه، ۲۵ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری دستی- منظم و توصیه مرکز تحقیقات برنج کشور، ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع به صورت نشاکاری ماشینی

برای تراکم ۵۰ کپه در مترمربع (۱۰ × ۲۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد (۱۳). سرور و همکاران (۳۰) بالاترین شاخص برداشت را در تراکم‌های پایین مشاهده کردند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج مطالعه حاضر مشخص شد که تعداد روز از نشاکاری تا ابتدای گلدهی و رسیدگی برای تراکم‌های مختلف در کشت ماشینی بیشتر بود. حداکثر طول خوشه و طول برگ پرچم برای تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی– منظم به‌دست آمد. بیشترین عملکرد شلتوک برای تراکم‌های مختلف در کشت ماشینی به‌خاطر افزایش تعداد خوشه در مترمربع، درصد خوشه‌چه پر و وزن هزار دانه و برای تراکم ۲۵ کپه در مترمربع در کشت دستی– منظم تنها به‌خاطر افزایش تعداد کل خوشه‌چه در خوشه به‌دست آمد. پیشنهاد می‌شود در مناطقی که امکان بالا رفتن سن گیاهچه‌ها وجود دارد، به‌منظور تسریع در کشت گیاهچه‌های تأخیری، عملیات نشاکاری به‌صورت ماشینی و با هر یک از تراکم‌های ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ کپه در متر مربع انجام شود.

منابع مورد استفاده

1. Adhikari, B. B., B. Mehera and S. Haefele. 2013. Impact of rice nursery nutrient management, seeding density and seedling age on yield and yield attributes. *American Journal of Plant Sciences* 4: 146-155.
2. Ahmadi, A. and T. Hosseinpour. 2013. Investigation the effect of plant density on the growth process of barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotypes under rain fed conditions. *Crop Physiology Journal* 5: 89-102. (In Farsi).
3. Ahmadi, K., H. R. Ebadzadeh, F. Hatami, S. Mohamadniya Afroozi, A. Esfandiari Pour and R. Abbas Taqani. 2021. Agricultural Statistics of Iran, Crop Year 2019–2020. Volume One (Crops). Ministry of Jihad-e Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. (In Farsi).
4. 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.
5. Alipour Abookheili, F., G. Nourmohammadi, 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).
6. Berhanu, A. 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.
7. Bhowmik, S. K., M. A. R. Sarkar and F. Zaman. 2012. Effect of spacing and number of seedlings per hill on the performance of aus rice cv. NERICA 1 under dry direct seeded rice (DDSR) system of cultivation. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 10: 191-195.
8. Dou, Z., Y. Li, H. Guo, L. Chen, J. Jiang, Y. Zhou, Q. Xu, Z. Xing, H. Gao and H. Zhang. 2021. Effects of mechanically transplanting methods and planting densities on yield and quality of nanjing 2728 under rice-crayfish continuous production system. *Agronomy* 11: 1-15.
9. EbrahimiRad, H., E. Amiri and H. Sedghi. 2018. Effect of different planting densities and irrigation managements on rice (Tarom Hashemi Variety) yield and yield components in Kooshal Lahijan Region, Guilan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 49: 377-383. (In Farsi).
10. El-Khoby, M. W. and M. E. A. S. Alaa. 2016. Effect of irrigation management and seedling age on the productivity and quality of two rice varieties using system of rice intensification (SRI). *Journal of Agricultural Research. Kafr El-Shaikh University* 42: 288-299.
11. FAO. 2009. How to Feed the World in 2050. Food and Agriculture Organization. Available online at: https://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/issues-briefs/en. Accessed 12-13 October 2009.
12. Fathalinejad, K., J. Daneshian, M. Moradkhani and M. Younesi. 2017. Determining the most suitable

rice transplanting age for mechanized cultivation in order to achieve the highest yield in Mazandaran province. *Agricultural Mechanization and Systems Research* 17: 69-80. (In Farsi).
13. Halder, J., G. M. Rokon, M. A. Islam, N. Salahin and M. K. Alam. 2018. Effect of planting density on yield and yield attributes of local aromatic rice varieties. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 43: 489-497.
14. Hu, Q., W. Jiang, S. Qiu, Z. Xing, Y. Hu, B. Guo, G. Liu, H. Gao, H. Zhang and H. Wei. 2020. Effect of wide-narrow row arrangement in mechanical pot-seedling transplanting and plant density on yield formation and grain quality of japonica rice. *Journal of Integrative Agriculture* 19: 1197-1214.
15. Hu, Y. J., P. Wu, H. C. Zhang, Q. G. Dai, Z. Y. Huo, K. Xu, H. Gao, H. Y. Wei, B. W. Guo and P. Y. Cui. 2018. Comparison of agronomic performance between inter-sub-specific hybrid and inbred japonica rice under different mechanical transplanting methods. *Journal of Integrative Agriculture* 17: 806-816.
16. Huang, M., C. Yang, Q. Ji, L. Jiang, J. Tan and Y. Li. 2013. Tillering responses of rice to plant density and nitrogen rate in a subtropical environment of southern China. *Field Crops Research* 149: 187-192.
17. Huang, M., Y. B. Zou, P. Jiang, B. Xia, M. Ibrahim and H. J. Ao. 2011. Relationship between grain yield and yield components in super hybrid. *Agricultural Sciences in China* 10: 1537-1544.
18. Huo, Z. Y., J. Li, H. C. Zhang, Q. G. Dai, K. Xu, H. Y. Wei and J. L. Gong. 2012. Characterization of nitrogen uptake and utilization in rice under different planting methods. *Acta Agronomica Sinica* 38: 1908-1919.
19. International Rice Research Institute. 2002. Standard Evaluation System for Rice. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. Available online at: http://www.knowledgebank.irri.org/images/docs/rice-standard-evaluation-system.pdf. Accessed November 2002.
20. Kheyri, N. and H. R. Mobasser. 2016. Effect of seedling age and seeding rate in nursery on some agronomic traits and seed yield of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi. *Journal of Crop Ecophysiology* 10: 431-446. (In Farsi).
21. Koireng, R. J., N. Monica Devi, Kh. Priya Devi, M. Gogoi and P. S. Rolling Anal. 2019. Effect of variety and spacing on the productivity of direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) under Manipur condition. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences* 7: 335-341.
22. 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.
23. Liu, Q., X. Wu, J. Ma, B. Chen and C. Xin. 2015. Effects of delaying transplanting on agronomic traits and grain yield of rice under mechanical-transplantation pattern. *PLoS ONE* 10: e0123330.
24. Liu, Q., X. Zhou, J. Li and C. Xin. 2017. Effects of seedling age and cultivation density on agronomic characteristics and grain yield of mechanically transplanted rice. *Scientific Reports* 7: 14072.
25. Mobasser, H. R., G. Noormohamadi, V. M. Fallah, F. Darvish and S. Majidi. 2005. Effects of nitrogen rates and splitting on grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) Var. Tarom Hashemi. *Journal of Agricultural Science* 11: 109-120. (In Farsi).
26. 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.
27. Naseri, H. A., S. M. Nabavi Kalat and R. Sadrabadi Haghighi. 2019. Effect of seedling age and plant density on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) in Heart Province- Afghanistan. *Journal of Plant Production Science* 9: 107-119. (In Farsi).
28. Roy, A. 2015. Effect of age of seedlings at staggered planting and nutrient management on the growth and yield of aromatic fine rice (cv. BRRI dhan 38). MSc thesis. Bangladesh Agricultural University. Mymensingh, Bangladesh.
29. RRII. 2015. Transformation in the country's rice production through the introduction of high-yielding varieties. Rice Research Institute of Iran. Available online at: https://berenj.areeo.ac.ir/en-US/berenj.areeo.ac/27548. (In Farsi).
30. Sarwar, N., M. Magsood, S. A. Wajid and M. Anwar-Ul-Hag. 2011. Impact of nursery seeding density, nitrogen and seeding age on yield and yield attributes of fine rice. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 343-349.
31. Shi, D. Y., Y. H. Li, J. W. Zhang, P. Liu, B. Zhao and S. T. Dong. 2016. Increased plant density and

reduced N rate lead to more grain yield and higher resource utilization in summer maize. *Journal of Integrative Agriculture* 15: 2515-2528.

32. Statista. 2022. Worldwide production of grain in 2021/2022. Available online at: https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/. Accessed January 31 2022.
33. Tang, L., Z. J. Xu and W. F Chen. 2017. Advances and prospects of super rice breeding in China. *Journal of Integrative Agriculture* 16: 984-991.
34. Wu, C., D. Ye, H. Lin, R. Ni, L. Lai and H. Lin. 2005. Effects of transplanting density on rice yield and its quality. *Chinese Agricultural Science Bulletin* 21: 190-205.
35. Xing, Z. P., Y. J. Hu, H. J. Qian, W. W. Cao, B. W. Guo, H. Y. Wei, K. Xu, Z. Y. Huo, G. S. Zhou, Q. G. Dai and H. C. Zhang. 2017. Comparison of yield traits in rice among three mechanized planting methods in a rice-wheat rotation system. *Journal of Integrative Agriculture* 16: 1451-1466.
36. Yang, W., S. Peng, R. C. Laza, R. M. Visperas and M. L. Dionisio-Sese. 2008. Yield gap analysis between dry and wet season rice crop grown under high-yielding management conditions. *Agronomy Journal* 100: 1390-1395.
37. Zhang, H. C. and J. L. Gong. 2014. Research status and development discussion on high-yield agronomy of mechanized planting rice in China. *Scientia Agricultura Sinica* 47: 1273-1289.
38. Zhou, W., T. F. Lv, P. P. Zhang, Y. Huang, Y. Chen and W. J. Ren. 2016. Regular nitrogen application increases nitrogen utilization efficiency and grain yield in indica hybrid rice. *Agronomy Journal* 108: 1951-1961.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 4, Winter 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Determining the Best Planting Density in Mechanized Transplanting of Rice Compared to Manual Transplanting in Conditions of High Seedling Age

E. Rezaei[1], M. Sam Daliri[2], H. R. Mobsser[3*], A. A. Mousavi Mirkolaei[4] and M. Moballeghi[4]

(Received: September 28-2022; Accepted: January 23-2023)

Abstract

It is important to determine the appropriate planting density in the conditions of using old seedlings of paddy rice. For this purpose, a field experiment was conducted as a randomized complete block design at Qaemshahr, Northern Iran, in four replications and in two years, 2020 and 2021. Plant densities consisted of manual-traditional planting of up to 11 hills/m^2 (with unequal planting spaces and common in the region) as control and manual-equidistant planting with 25 hills/m^2 (with planting spaces of 20 × 20 cm and recommended by the Rice Research Institute of Iran) and machine-planting with 15.9, 20.8 and 20.8 hills/m^2 (with planting spaces of 30 × 21, 30 × 16 and 30 × 12 cm, respectively). The paddy rice seedlings aged 45 d in manual-planting and 35 d in machine-planting. The results showed that the number of days from transplanting to flowering and flowering to maturity for machine-planting densities were greater than those of the control and 25 hills/m^2 in manual-equidistant planting. The interaction effect of year × planting density was significant only for the flag leaf length and plant height. The greatest panicle length and flag leaf length were obtained when the rice plants were sown in a density of 25 hills/m^2 in manual-equidistant planting. The greatest panicles/m^2 and the percentage of grain-bearing spikelets were obtained when rice plants were sown by the machine. The maximum grain yield was obtained from planting density of 25 hills/m^2 in manual-equidistant planting (8022 kg/ha). The planting densities of 15.9, 20.8 and 27.8 hills/m^2 in machine planting with 8034, 8236 and 8168 kg/ha grain yield ranked next as they out-yielded the control by 19%, 19%, 21% and 21%, respectively. It was concluded that machine planting with planting densities of 15.9, 20.8 and 27.8 hills/m^2 is advantageous, at least when using old paddy rice seedlings.

Keywords: Planting method, Flag leaf length, Grain yield, Planting density, Seedling with old age

1, 2 and 4. PhD Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
*: Corresponding Author, Email: drmobasser.neg@gmail.com