

اثر محدودیت منبع و مخزن بر صفات زراعی و عملکرد دانه لاین‌های مختلف برنج (*Oryza sativa* L.)
Effect of source-sink limitation on agronomic traits and grain yield of different lines of rice
(*Oryza sativa* L.)

مرتضی مبلغی^۱، نوراله خیری^{۲*}، صالح حاتمی^۱ و علی محدثی^۳

۱- گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ساری، ایران.

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت‌الله آملی، آمل، ساری، ایران.

۳- محقق ایستگاه تحقیقات برنج تنکابن، تنکابن، ساری، ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: norollah.kheyri@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۴

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر محدودیت‌های منبع و مخزن بر صفات زراعی و عملکرد دانه لاین‌های مختلف برنج، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات برنج چپر سر تنکابن در استان مازندران اجرا گردید. عوامل آزمایش شامل اعمال محدودیت‌های منبع و مخزن در چهار سطح (قطع برگ پرچم، قطع یک‌سوم خوشه، قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم و شاهد) و عامل لاین در چهار سطح (لاین شماره سه، لاین شماره شش، لاین شماره هفت و لاین شماره هشت) بودند. در بین لاین‌های مختلف، لاین شماره هفت بیش‌ترین وزن هزار دانه (۳۳/۳ گرم) و لاین شماره هشت حداکثر درصد باروری خوشه را به‌خود اختصاص داد. بیش‌ترین طول خوشه (۲۹/۷ سانتی‌متر)، تعداد پنجه بارور در بوته (۲۱/۴ عدد) و تعداد دانه پوک در خوشه (۷۱/۵ عدد) در لاین شماره سه و حداکثر تعداد کل دانه در خوشه در لاین (۲۱۰/۹ عدد) شماره شش مشاهده شد. در بررسی اثرات تیمارهای محدودیت منبع و مخزن، با قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم، طول خوشه و تعداد دانه پوک در خوشه افزایش و درصد باروری خوشه کاهش یافت. مقایسه میانگین اثرات متقابل دو عامل نشان داد که لاین شماره هفت و تیمار شاهد با میانگین عملکرد ۶۵۳۱ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین عملکرد و لاین شماره شش و تیمار قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم با میانگین ۴۱۶۶/۳ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد را دارا بودند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بین لاین‌ها، لاین شماره هفت دارای محدودیت مخزن و بقیه لاین‌ها دارای محدودیت منبع بودند.

واژگان کلیدی: برنج، برگ پرچم، عملکرد دانه، لاین، محدودیت منبع و مخزن

مقدمه

یکی از مسائل اساسی در فیزیولوژی عملکرد، مقایسه ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی و ظرفیت پذیرش مخزن به‌عنوان عوامل محدود کننده افزایش بیش‌تر عملکرد می‌باشد. محدودیت عملکرد توسط منبع و مخزن نشان می‌دهد که منبع و مخزن دارای ماهیت مستقل نیستند و تحت تأثیر روابط بین محل‌های تولید و مصرف مواد فتوسنتزی قرار می‌گیرد. هر عاملی که فتوسنتز را افزایش دهد موجب افزایش سرعت انتقال مواد فتوسنتزی نیز می‌شود (Rahimian *et al.*, 1999). منبع محصول آن قسمتی است که قدرت گیاه را برای جذب انرژی نورانی (اندازه برگ و تمرکز کلروپلاست در برگ) تعیین می‌کند. اجزای مخزن شامل بعضی عوامل مثل تعداد خوشه‌های تولید شده و تعداد و اندازه گلچه‌ها در هر خوشه می‌شود. در صورت عدم تعادل بین این دو، عملکرد کاهش می‌یابد که این بدان معنی است که موازنه صحیح بین منبع و مخزن عامل مهم دستیابی به عملکردهای مطلوب خواهد بود (کافی و همکاران، ۱۳۸۱). تشخیص محدودیت منبع یا مخزن همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد. گاهی به‌طور تجربی به وسیله تغییر در منبع یا مخزن می‌توان محدودیت را تشخیص داد. به‌عنوان مثال چنانچه منبع کاهش داده شود (مثلاً حذف برگ‌ها) و عملکرد تغییر پیدا نکند، محدودیت مخزن وجود دارد. در صورت تغییر تعداد محل‌های زایشی (مثلاً حذف یک‌سوم انتهایی خوشه) و عدم تغییر عملکرد، محدودیت منبع وجود دارد (Radmehr *et al.*, 2004). کاهش اندازه مخزن از طریق حذف سنبلیچه‌ها اثرات افزایشی بر میانگین وزن دانه خواهد داشت (Bijanazadeh and Emam, 2010)، در حالی که با حذف منبع (قطع تمامی برگ‌ها یا قطع برگ پرچم) وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Madani *et al.*, 2010^b). سطح برگ پرچم یکی از مهم‌ترین منابع فتوسنتزی برای عملکرد دانه برنج می‌باشد (Haque *et al.*, 2015). حذف برگ پرچم در مرحله گل‌دهی و هشت روز پس از گل‌دهی موجب کاهش معنی‌دار وزن دانه شد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی‌های انجام شده توسط افخمی‌قادی و

همکاران (۱۳۹۰) بر عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف برنج در شرایط اعمال محدودیت نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای محدودیت منبع و مخزن بودند ولی قابلیت لازم برای افزایش عملکرد را دارا بودند، به‌گونه‌ای که با حفظ و دوام سطح برگ‌های ژنوتیپ‌ها از طریق مبارزه با آفات و بیماری‌ها می‌توانند سبب رفع محدودیت منبع و با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، محدودیت مخزن را جبران نمایند. تیموریان و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی اثرات محدودیت منبع و مخزن بر عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف برنج گزارش نمودند که با اعمال محدودیت قطع کل برگ‌های فعال گیاه به‌جز برگ پرچم علاوه بر کاهش ۲۷ درصدی عملکرد نسبت به شاهد (عدم اعمال محدودیت)، صفات درصد باروری خوشه، وزن هزار دانه، تعداد کل دانه و دانه‌های پر در خوشه کاهش و تعداد دانه پوک در خوشه افزایش یافتند. نیک‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی واکنش ارقام بومی و اصلاح‌شده برنج نسبت به محدودیت منبع و مخزن اظهار داشتند که رقم بومی طارم دارای محدودیت مخزن و ارقام جدید ندا، فجر و شفق دارای محدودیت منبع هستند. این محققان معتقد بودند که جهت حصول حداکثر عملکرد دانه در این ارقام باید این مسأله را در نظر گرفت که محدودیت منبع به هر شکلی از قبیل تنش‌های محیطی نظیر خشکی یا بیماری سوختگی غلاف می‌تواند به کاهش شدید عملکرد این ارقام منجر شود و از طرف دیگر حفظ برگ‌های این ارقام با استفاده از روش‌های مختلف نظیر محلول‌پاشی عناصر غذایی در اواخر رشد می‌تواند افزایش عملکرد قابل توجهی را به‌همراه داشته باشد. عملکرد دانه به‌طور کاملاً مشخصی به تعداد دانه در مترمربع مرتبط است و میانگین وزن دانه در تیمارهایی که با حذف بخشی از گیاه، تابش دریافتی به‌میزان ۷۵ درصد در کل کانوپی کاهش می‌یابد کم‌تر از حذف تنها برگ‌های گیاه بود (Serrago *et al.*, 2013). ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2014) با بررسی ارقام مختلف گندم اظهار داشتند که حذف بخشی از خوشه سبب افزایش میزان فتوسنتز خالص برگ پرچم در ارقام دارای محدودیت منبع گردید اما اثر معنی‌داری بر

لاین شماره شش، لاین شماره هفت و لاین شماره هشت) بودند. مشخصات لاین‌های آزمایش در جدول یک آمده است. قبل از کاشت از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک نمونه مرکب تهیه گردید که نتایج آن در جدول دو ارائه گردید. شخم اول زمین مورد آزمایش در اوایل دی‌ماه، شخم دوم آن در ۱۵ روز قبل از نشاکاری و عملیات شخم سوم و تسطیح زمین حدود سه روز قبل از نشاکاری انجام گردید. نشاکاری زمانی که نشاها در مرحله ۴-۵ برگی بودند با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر و به تعداد سه تا پنج نشا در کپه انجام شد. کود فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از نشاکاری به‌زمین افزوده شد. کود نیتروژن نیز به‌میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در طی سه مرحله (۵۰ درصد در زمان نشاکاری، ۲۵ درصد در مرحله پنجه‌زنی و ۲۵ درصد در شروع خوشه‌دهی) با توجه به نتایج آزمون خاک در هر یک از کرت‌های آزمایشی به‌طور یکنواخت توزیع گردید. برای مبارزه با علف‌های هرز، وجین دستی در دو مرحله (۱۵ و ۳۰ روز پس از نشاکاری) انجام شد. جهت مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از سم دیازینون (گرانول ۵ درصد) طی دو مرحله استفاده گردید. در هنگام ظهور خوشه، اعمال تیمارهای مورد نظر (محدودیت‌های منبع و مخزن) روی لاین‌ها صورت گرفت. قبل از برداشت محصول و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، صفات طول خوشه و تعداد پنجه بارور در بوته با اندازه‌گیری و شمارش از ۱۲ بوته و تعداد کل دانه، تعداد دانه‌های پر و پوک در خوشه و وزن هزار دانه با شمارش ۱۵ خوشه در هر کرت تعیین شد. جهت تعیین عملکرد دانه (شلتوک)، دو مترمربع از وسط هر کرت آزمایشی را کف‌بر نمود و پس از جداکردن دانه از کاه و کلش، برای مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داد و سپس عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید. در نهایت، داده‌های آماری با استفاده از نرم افزار SAS، تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

ارقام دارای محدودیت مخزن نداشت. این محققان افزودند که با تیمار حذف نیمی از سنبلچه‌ها، مقدار فتوسنتز برگ پرچم کاهش یافت. مدنی و همکاران (Madani et al., 2010^a) با بررسی تیمارهای مختلف محدودیت بر عملکرد گندم عنوان نمودند که با حذف تمام برگ‌های گیاه در مرحله گل‌دهی، عملکرد دانه به‌میزان ۴۳/۹ درصد نسبت به شاهد یا عدم اعمال محدودیت کاهش یافت. نتایج به‌دست آمده توسط نوری و همکاران (Nouri et al., 2013) نشان داد که قطع تمامی برگ‌ها سبب کاهش شدیدتر عملکرد خوشه اصلی، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه نسبت به قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم می‌گردد. از طرفی دیگر گزارش شد که با اعمال تیمار قطع خوشه‌چه، کاهش معنی‌داری در تعداد دانه در خوشه، میزان ماده خشک و عملکرد دانه گندم در مقایسه با سایر تیمارهای محدودیت و شاهد مشاهده گردید (Felekari et al., 2014). دانشمندان دریافته‌اند که با کاهش مخزن از طریق حذف ۵۰ درصد از خوشه‌چه‌های گندم، تعداد دانه در خوشه به‌میزان ۳۸/۵ درصد کاهش ولی وزن تک دانه به‌مقدار ۱۲ درصد افزایش یافت (Madani et al., 2010^b).

این پژوهش به‌منظور بررسی واکنش لاین‌های مختلف برنج به تیمارهای محدودیت منبع و مخزن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات برنج چپرسر واقع در استان مازندران (شهرستان تنکابن) اجرا گردید. منطقه با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی، در ارتفاع ۲۰- متری از سطح دریا قرار دارد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۳ متر اجرا شد. عوامل آزمایش شامل اعمال محدودیت‌های منبع و مخزن در چهار سطح (قطع برگ پرچم، قطع یک سوم خوشه، قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم و شاهد) و عامل لاین در چهار سطح (لاین شماره سه،

جدول ۱- مشخصات لاین‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1. characteristics of lines used in the experiment

لاین شماره ۳	رقم شماره ۴ از (A37632) XIR 67015/22/6/2 (Amol 3 × No.3) (۳ × شماره ۳)
لاین شماره ۶	رقم شماره ۱۲۶ از (A37632) XIR 67015/22/6/2 (Amol 3 × No.3) (۳ × شماره ۳)
لاین شماره ۷	رقم شماره ۳۹ از (A37632) XIR 67015/22/6/2 (Amol 3 × No.3) (۳ × شماره ۳)
لاین شماره ۸	رقم شماره ۸۴۳ از (A37632) XIR 67015/22/6/2 (Amol 3 × No.3) (۳ × شماره ۳)

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی- شیمیایی نمونه خاک اولیه قبل از اجرای آزمایش

Table 2. Results of soil analysis before beginning the experiment

هدایت الکتریکی	سیلت	رس	شن	فسفر	پتاسیم	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن کل	بافت خاک
EC(dS/m)	Silt	Clay	Sand	P ppm	K ppm	(pH)	O.C(%)	T.N(%)	Soil Texture
1.42	44.98	43.94	11.08	1.05	112	7	3.88	0.26	رس سیلتی
									Silty clay

نتایج و بحث

طول خوشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفت طول خوشه تحت تأثیر لاین‌های برنج ($p < 0.05$) و تیمار محدودیت منبع و مخزن ($p < 0.01$) معنی‌دار گردید ولی تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل قرارنگرفت (جدول سه). مقایسه میانگین اثرات ساده لاین نشان داد که بیش‌ترین طول خوشه با میانگین ۲۹/۷ سانتی‌متر متعلق به لاین شماره سه بود، هرچندکه با لاین‌های شماره شش و هشت تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میزان طول خوشه نیز با ۴/۷ درصد کاهش نسبت به بلندترین طول خوشه در لاین شماره هفت مشاهده گردید. اختلاف در طول خوشه ارقام مختلف به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی ارقام می‌باشد (نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶). تحت تأثیر اثرات اصلی محدودیت منبع و مخزن، بیش‌ترین طول خوشه با میانگین ۳۰/۲ سانتی‌متر از تیمار قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم به دست آمد در حالی که با تیمارهای قطع برگ پرچم و شاهد در یک گروه آماری قرارگرفت. با تیمار قطع یک‌سوم خوشه، کم‌ترین میزان طول خوشه (۲۵/۹ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول چهار)، که با نتایج تیموریان و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت داشت.

بررسی‌های به‌دست آمده توسط افخمی قادی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که با قطع یک‌سوم انتهای خوشه، طول خوشه به میزان ۶/۲ سانتی‌متر در مقایسه با شاهد کاهش یافت.

تعداد پنجه بارور در بوته

تعداد پنجه بارور در بوته تحت تأثیر لاین‌های مختلف برنج ($P < 0.01$) قرارگرفت ولی تحت اثرات تیمار محدودیت منبع و مخزن و هم‌چنین اثر متقابل دو عامل معنی‌دار نشد (جدول سه). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین تعداد پنجه بارور در بوته با میانگین ۲۱/۴ عدد پنجه مربوط به لاین شماره سه بود که با لاین شماره هشت اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میزان صفت مذکور نیز با حدود ۲۵/۷ درصد کاهش متعلق به لاین شماره شش بود (جدول چهار).

در نتایج مشابه، سایر محققان گزارش نمودند که ارقام مختلف آزمایش از نظر صفت تعداد پنجه بارور دارای تفاوت معنی‌داری بودند ولی صفت مذکور تحت تأثیر تیمارهای محدودیت منبع و مخزن قرارنگرفت (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴؛ نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶؛ Eradatmand Asli *et al.*, 2011).

تعداد کل دانه در خوشه

است که حذف منبع (برگ یا غلاف برگ) از طریق کمبود تولید مواد فتوسنتزی و همچنین کاهش توانایی انتقال آسیمیلات‌ها از برگ به خوشه سبب کاهش تعداد دانه‌ی پر در خوشه و عملکرد دانه برنج می‌گردد (Ishibashi et al., 2014). محققان دریافتند که با اعمال تیمار قطع یک‌سوم خوشه، درصد خوشه‌چه‌های پر شده (۶۲/۲ درصد) افزایش و با حذف برگ پرچم، از درصد خوشه‌چه پر (۵۵/۶ درصد) کاسته گردید (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج به‌دست آمده توسط تیموریان و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که اعمال تیمار محدودیت قطع برگ‌ها به‌جز برگ پرچم و قطع برگ پرچم در مقایسه با شاهد به‌ترتیب سبب کاهش ۲/۳ و ۲/۵ درصدی تعداد دانه پر در خوشه گردید. گزارش شد که با اعمال تیمار قطع ۵۰ درصد برگ پرچم، درصد دانه پر در خوشه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمارهای شاهد، حذف ۲۵ و ۵۰ درصد سنبل‌چه کاهش یافت (Shahrudin et al., 2014).

تعداد دانه پوک در خوشه

صفت تعداد دانه پوک در خوشه تحت تأثیر تیمار لاین‌های مختلف برنج و محدودیت منبع و مخزن ($P < 0/01$) قرار گرفت ولی تحت تأثیر اثر متقابل لاین و محدودیت معنی‌دار نشد (جدول سه). مقایسه میانگین اثرات لاین نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه پوک در خوشه با میانگین ۷۱/۵ دانه پوک مربوط به لاین شماره سه بود که با لاین شماره شش (۶۶/۲ دانه پوک) در یک گروه آماری قرار گرفت. کم‌ترین میزان صفت فوق نیز با میانگین ۳۳ عدد دانه پوک مربوط به لاین شماره هفت بود که با لاین شماره هشت (۳۵/۲ عدد دانه پوک) اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد (جدول چهار). نتایج نشان داد که تیمارهای قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم و برگ پرچم با میانگین ۶۷ و ۵۷/۴ دانه پوک در خوشه، بیش‌ترین میزان این صفت را به‌خود اختصاص دادند که به‌دلیل حذف قسمت عمده‌ای از اندام‌های فتوسنتز کننده بود که در اثر آن مواد پرورده کافی برای پرکردن همه دانه‌ها وجود نداشت و موجب پوک‌شدن تعداد بیش‌تری از دانه‌ها گردید.

اثر لاین‌های مختلف برنج بر تعداد کل دانه در خوشه ($P < 0/01$) معنی‌دار بود ولی صفت یاد شده تحت تأثیر تیمار محدودیت منبع و مخزن و همچنین اثر متقابل دو عامل قرارنگرفت (جدول سه). مقایسه میانگین اثر لاین نشان داد که بین لاین‌های مختلف برنج تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که بیش‌ترین تعداد کل دانه در خوشه با میانگین ۲۱۰/۹ دانه در خوشه مربوط به لاین شماره شش بود که درصد دانه پوک بالایی نیز داشت. کم‌ترین تعداد دانه در خوشه نیز با میانگین ۱۳۳/۹ دانه در لاین شماره هشت مشاهده شد که با لاین شماره هفت (۱۴۳/۳ دانه) در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول چهار). تفاوت تعداد کل دانه در خوشه در ارقام برنج به‌دلیل اختلاف ژنتیکی بین ارقام بود که بستگی به‌طول دوره رشد و ارتفاع گیاه دارد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). مشابه نتایج این پژوهش، مهدوی و همکاران (۱۳۸۴) گزارش دادند که رقم دشت مورد استفاده در آزمایش بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه را داشت ولی درصد دانه پوک آن نیز نسبتاً بالا بود که دلیل آن را محدودیت منبع در این رقم و پر نشدن تمام مخزن عنوان نمودند.

تعداد دانه پر در خوشه

تعداد دانه پر در خوشه تحت تأثیر لاین‌های مختلف برنج، تیمار محدودیت منبع و مخزن ($P < 0/01$) و همچنین اثر متقابل دو عامل ($P < 0/05$) قرار گرفت (جدول سه). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه با میانگین ۱۷۱/۷ در لاین شماره شش و تیمار عدم محدودیت منبع و مخزن یا شاهد مشاهده شد، اگرچه با همین لاین و تیمار قطع یک‌سوم خوشه (۱۵۹/۱ دانه) اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد دانه پر در خوشه نیز به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۰۳/۱ و ۱۰۳/۸ مربوط به لاین‌های شماره هفت و هشت با قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم حاصل شد (جدول پنج). قطع برگ‌ها و عدم انتقال شیره پرورده از منبع به مخزن سبب کاهش تعداد دانه پر در خوشه گردید. گزارشات حاکی از آن

کم‌ترین تعداد دانه پوک در خوشه نیز در تیمار قطع یک‌سوم خوشه (۳۸/۱ دانه پوک) به‌دست آمد که به دلیل حذف بخشی از مخزن، توان بیش‌تری برای پر کردن دانه داشت، اگرچه با تیمار شاهد (عدم اعمال محدودیت) در یک گروه آماری قرارگرفت (جدول چهار). در نتایجی مشابه، افخمی‌قادی و همکاران (۱۳۹۰) بیان نمودند که بیش‌ترین تعداد دانه پوک (۳۵ عدد) در ژنوتیپ جلودار و تیمار حذف تمام برگ‌ها به‌جز برگ پرچم مشاهده شد و همچنین ژنوتیپ جهش در تیمار قطع یک‌سوم انتهایی خوشه کم‌ترین تعداد دانه پوک در خوشه (۵/۴ عدد) را دارا بود. سایر محققان نیز نتایج کاملاً مشابهی را در مورد سایر ژنوتیپ‌های برنج گزارش نمودند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴؛ تیموریان و همکاران، ۱۳۸۸؛ نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶).

امکان پرشدن دانه‌های باقی‌مانده بیش‌تر شد و نهایتاً حداکثر درصد باروری به‌دست آمد. کم‌ترین درصد باروری نیز با میانگین ۶۵ درصد در تیمار قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم به‌دست آمد (جدول چهار)، زیرا با کاهش سطح فتوسنتزکننده، آسیمیلات‌های تولیدشده برای پرکردن تمام دانه‌های خوشه کافی نبودند. افخمی‌قادی و همکاران (۱۳۹۰) اظهار نمودند که تیمار شاهد و تیمار قطع یک‌سوم انتهایی خوشه بالاترین و تیمار حذف تمام برگ‌ها به‌جز برگ پرچم، کم‌ترین درصد باروری خوشه را داشتند که این موضوع نشان‌دهنده افزایش سهم گلچه‌ها در دریافت ماده خشک و همچنین اهمیت برگ‌ها در پرکردن دانه است. تیموریان و همکاران (۱۳۸۸) و نیک‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

درصد باروری خوشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفت درصد باروری خوشه تحت تأثیر لاین‌های برنج و تیمار محدودیت منبع و مخزن ($P < 0.01$) معنی‌دار گردید ولی تحت تأثیر اثر متقابل لاین در محدودیت منبع و مخزن قرارنگرفت (جدول سه). مقایسه میانگین اثرات اصلی لاین نشان داد که بیش‌ترین درصد باروری خوشه به‌ترتیب با میانگین‌های ۸۳/۲ و ۸۰ درصد مربوط به لاین‌های شماره هشت و هفت بود، درحالی‌که کم‌ترین میزان صفت مذکور با میانگین ۶۱/۹ درصد در لاین شماره سه مشاهده شد (جدول چهار). با توجه به این که لاین‌های شماره هفت و هشت دارای کم‌ترین طول خوشه و پایین‌ترین تعداد دانه در خوشه بودند، بنابر این به‌دلیل محدودیت مخزن، در مقایسه با سایر ارقام از درصد باروری بالاتری برخوردار گردیدند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات محدودیت منبع و مخزن نیز نشان داد که تیمار قطع یک‌سوم خوشه با میانگین ۷۹/۴ درصد، بیش‌ترین میزان باروری را داشت که با شرایط عدم اعمال محدودیت یا شاهد (۷۹/۲ درصد باروری) اختلاف معنی‌داری نداشت. در واقع در تیمار قطع یک‌سوم خوشه به‌دلیل کاهش تعداد مخازن و فراهمی مواد فتوسنتزی،

وزن هزار دانه

اثر لاین‌های مختلف برنج بر وزن هزار دانه ($P < 0.01$) معنی‌دار بود ولی صفت یاد شده تحت تأثیر تیمار محدودیت منبع و مخزن و همچنین اثر متقابل لاین و محدودیت قرارنگرفت (جدول سه). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین لاین‌های مختلف برنج از نظر وزن هزار دانه، اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن هزار دانه با میانگین ۳۳/۳ گرم مربوط به لاین شماره هفت و کم‌ترین میزان صفت فوق نیز با میانگین ۲۷/۶ گرم متعلق به لاین شماره سه بود (جدول چهار). کاهش تعداد کل دانه در خوشه در لاین شماره هفت سبب شد تا سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافت به هر دانه در این لاین افزایش یابد که دلیل ازدیاد وزن هزار دانه آن در مقایسه با سایر لاین‌ها بود. وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم عملکرد برنج است و به‌عنوان یک ویژگی ژنتیکی در ارقام، مقدار آن تا حدی متأثر از شرایط دوره رسیدگی می‌باشد. علاوه بر این، برخلاف سایر غلات، عملکرد بیش‌تر در برنج از طریق افزایش اندازه دانه بسیار محدود است چرا که از نظر فیزیولوژی، رشد دانه توسط پوسته دانه محدود می‌شود. در نتایجی مشابه با این پژوهش، سایر پژوهشگران گزارش نمودند که

در نهایت از عملکرد دانه کاسته شد. به نظر می‌رسد در صورت عدم وجود برگ پرچم در گیاه، سایر برگ‌ها و بخش‌های سبز گیاه سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی و انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره شده می‌شوند. در نتایج مشابه، تیموریان و همکاران (۱۳۸۸) گزارش نمودند که بالاترین عملکرد دانه تحت شرایط شاهد (۶/۲ تن در هکتار) و کم‌ترین میزان آن از تیمار قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم (۴/۵ تن در هکتار) حاصل شد. نتایج به دست آمده توسط افخمی‌قادی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که برهمکنش تیمارهای محدودیت منبع و مخزن و ژنوتیپ بر عملکرد دانه برنج معنی‌دار بود و ژنوتیپ جلودار در تیمار شاهد بیش‌ترین و ژنوتیپ جهش در تیمار حذف تمام برگ‌ها به جز برگ پرچم، کم‌ترین عملکرد را دارا بودند. از طرفی، شاهرودین و همکاران (Shahrudin *et al.*, 2014) اظهار نمودند که بدون اعمال محدودیت منبع و مخزن، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمارهای محدودیت بود ولی در بین تیمارهای محدودیت، تیمار قطع ۵۰ درصد خوشه، عملکرد دانه را به‌میزان ۳۹/۱ درصد بیش‌تر از تیمار قطع ۵۰ درصد برگ پرچم کاهش داد. سایر محققان نیز با بررسی رابطه بین منبع و مخزن در ارقام مختلف برنج بیان داشتند که اثر متقابل رقم و تیمار دارای محدودیت معنی‌دار بود و با اعمال محدودیت حذف برگ پرچم، عملکرد دانه هر سه رقم بینام، بیجار و خزر نسبت به شاهد یا عدم اعمال محدودیت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Eradatmand Asli *et al.*, 2011). گزارش گردید که حذف برگ سبب کاهش معنی‌دار وزن تک دانه و نهایتاً عملکرد دانه در ارقام مختلف گندم در مقایسه با سایر تیمارهای محدودیت شد (Zhang *et al.*, 2014).

اعمال تیمارهای مختلف محدودیت منبع و مخزن بر وزن هزار دانه اثر معنی‌داری نداشت (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴؛ نیک‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶). گزارشات به‌دست آمده از تیموریان و همکاران (۱۳۸۸) نیز حاکی از آن است که صفت وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر متقابل رقم و محدودیت قرار نگرفت.

عملکرد دانه (شلتوک)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر لاین‌های مختلف برنج، تیمار محدودیت منبع و مخزن ($P < 0/01$) و همچنین اثر متقابل دو عامل ($P < 0/05$) قرارگرفت (جدول سه). نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل لاین در محدودیت منبع و مخزن بر عملکرد دانه نشان داد که به‌جز لاین شماره سه، سه لاین دیگر زمانی که تحت تأثیر محدودیت‌ها قرار گرفتند عملکرد آن‌ها کم‌تر از زمانی بود که تحت شرایط بدون اعمال محدودیت قرارداشتند و کم‌ترین عملکرد در شرایط اعمال محدودیت قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم مشاهده شد. حداکثر عملکرد دانه با میانگین ۶۵۳۱ کیلوگرم در هکتار متعلق به لاین شماره هفت و عدم اعمال محدودیت منبع و مخزن یا شاهد بود، درحالی‌که کم‌ترین میزان عملکرد دانه با ۳۶/۲ درصد کاهش مربوط به لاین شماره شش و تیمار قطع سایر برگ‌ها به‌جز برگ پرچم بود (جدول پنج). بالابودن عملکرد دانه در لاین شماره هفت، به‌دلیل درصد باروری (۸۰ درصد) و میانگین وزن هزار دانه (۳۳/۳ گرم) بیش‌تر این لاین بود. علاوه بر برگ پرچم، فتوسنتز سایر برگ‌ها نیز در پرشدن دانه‌ها بسیار مؤثر است، به‌گونه‌ای که با حذف برگ‌های فعال گیاه به‌جز برگ پرچم، سرعت و مقدار انتقال مواد فتوسنتزی به دانه کاهش یافت و

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی و عملکرد دانه

Table 3. Analysis of variance of agronomic traits and grain yield

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه بارور در بوته Fertile tiller number per plant	تعداد کل دانه در خوشه Total grain number per panicle	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number per panicle	تعداد دانه پوک در خوشه Unfilled grain number per panicle	درصد باروری خوشه Percent of panicle fertility	وزن هزار دانه 1000- Grain weight	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	3	2.45	12.53	603.97	637.08	993.96	105.13	4.70	2313636.42
محدودیت‌ها Limitations (A)	3	66.26**	2.49 ^{ns}	452.66 ^{ns}	1696.38**	2781.86**	798.34**	0.74 ^{ns}	3883910.8**
لاین Line (B)	3	5.24*	86.10**	18894.53**	3797.54**	6522.60**	1553.09**	93.22**	272839.35**
اثر متقابل محدودیت و لاین AxB	9	1.09 ^{ns}	2.1 ^{ns}	370.28 ^{ns}	488.37*	363.26 ^{ns}	57.87 ^{ns}	1.84 ^{ns}	976222.07*
خطا Error	45	1.32	3.90	275.87	198.57	308.61	52.55	2.46	378245.64
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.97	10.75	9.80	11.58	34.11	9.87	5.26	11.27

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها بر صفات زراعی و عملکرد دانه

Table 4. Mean comparison of main effects the treatments on agronomic traits and grain yield

تیمارها	Treatments	طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle length (cm)	باروری خوشه (درصد) panicle fertility (%)	تعداد دانه پوک در خوشه Unfilled grain number per panicle	تعداد پنجه بارور در بوته Fertile tiller number per plant	تعداد کل دانه در خوشه Total grain number per panicle	وزن هزار دانه (گرم) 1000- Grain weight (gr)
	قطع برگ پرچم flag leaf removed	30.0 ^a	70.3 ^b	57.4 ^a	—	—	—
محدودیت‌ها Limitations	قطع یک‌سوم خوشه one third panicle removed	25.9 ^b	79.4 ^a	38.1 ^b	—	—	—
	قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم All leaves removed except the flag leaf	30.2 ^a	65.0 ^c	67.0 ^a	—	—	—
	شاهد Control	29.9 ^a	79.2 ^a	48.4 ^b	—	—	—
	شماره ۳ No. 3	29.7 ^a	61.9 ^c	71.5 ^a	21.4 ^a	184.7 ^b	27.6 ^c
لاین Line	شماره ۶ No. 6	29.1 ^{ab}	68.8 ^b	66.2 ^a	15.9 ^d	210.9 ^a	29.3 ^b
	شماره ۷ No. 7	28.3 ^b	80.0 ^a	33.0 ^b	17.5 ^c	143.3 ^c	33.3 ^a
	شماره ۸ No. 8	28.9 ^{ab}	83.2 ^a	35.2 ^b	18.7 ^b	139.3 ^c	29.0 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to DMRT test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر تعداد دانه پر در خوشه و عملکرد دانه

Table 5. Mean comparison of interaction effects the treatments on filled grain number per panicle and grain yield

محدودیت منبع و مخزن Source-Sink Limitation	لاین Line	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number per panicle	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.ha ⁻¹)
قطع برگ پرچم flag leaf removed		112.8 ^{bc}	4769.8 ^{ef}
قطع یک‌سوم خوشه one third panicle removed	شماره ۳ No. 3	117.3 ^{bc}	5438.5 ^{bcd}
قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم All leaves removed except the flag leaf		109.3 ^{bc}	4977.0 ^{def}
شاهد Control		114.0 ^{bc}	4348.3 ^f
قطع برگ پرچم flag leaf removed		126.4 ^{bc}	5566.0 ^{abcde}
قطع یک‌سوم خوشه one third panicle removed	شماره ۶ No. 6	159.1 ^{ab}	5845.0 ^{abcd}
قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم All leaves removed except the flag leaf		121.5 ^{bc}	4166.3 ^f
شاهد Control		171.7 ^a	6258.5 ^{ab}
قطع برگ پرچم flag leaf removed		119.8 ^{bc}	5618.5 ^{abcde}
قطع یک‌سوم خوشه one third panicle removed	شماره ۷ No. 7	109.3 ^{bc}	6122.3 ^{ab}
قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم All leaves removed except the flag leaf		103.1 ^c	5097.0 ^{cdef}
شاهد Control		117.4 ^{bc}	6531.0 ^a
قطع برگ پرچم flag leaf removed		112.3 ^{bc}	5415.3 ^{bcd}
قطع یک‌سوم خوشه one third panicle removed	شماره ۸ No. 8	119.9 ^{bc}	6080.3 ^{abc}
قطع سایر برگ‌ها به جز برگ پرچم All leaves removed except the flag leaf		103.8 ^c	4989.0 ^{def}
شاهد Control		129.3 ^b	6082.8 ^{abc}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability according to DMRT test.

نتیجه‌گیری کلی

دارای حداکثر عملکرد دانه در شرایط عدم اعمال محدودیت (شاهد) بود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که بین لاین‌ها، لاین شماره هفت دارای محدودیت مخزن و بقیه لاین‌ها (سه، شش و هشت) دارای محدودیت منبع بودند.

نتایج نشان داد که با اعمال محدودیت منبع، درصد باروری خوشه کاهش و تعداد دانه پوک در خوشه افزایش و همچنین اعمال محدودیت مخزن سبب کاهش طول خوشه گردید. لاین شماره هفت به‌دلیل افزایش درصد باروری خوشه و وزن هزار دانه

References

منابع

- افخمی‌قادی، ع.، بابائیان‌جلودار، ن.، پیردشتی، ه.، باقری، ن.، حسن‌نتاج، ا.، و خادمیان، ر. ۱۳۹۰. اثر محدودیت منبع و مخزن بر عملکرد و اجزای عملکرد سه ژنوتیپ برنج در سطوح کود نیتروژن. مجله علوم زراعی ایران. ۱۳(۳): ۴۹۵-۵۰۹.
- تیموریان، م.، گلوی، م.، پیردشتی، ه.، و نصیری، م. ۱۳۸۸. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم مختلف برنج در واکنش به محدودیت منبع و مخزن و کود نیتروژن. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۶(۳): ۴۹-۶۶.
- صادقی، س.ع.، قنبری، س.، مبصر، ح.ر.، و رحیمی‌پطودی، ا. ۱۳۹۴. بررسی روابط منبع و مخزن در سیستم‌های مختلف زراعی کشت برنج (*Oryza sativa* L.) رقم فجر. مجله یافته‌های نوین کشاورزی. ۹(۳): ۲۱۳-۲۲۴.
- کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، شریفی، ح.، و گلدانی، م. ۱۳۸۱. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). جلد اول. چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- مهدوی، ف.، اسماعیلی، م.ع.، فلاح، ا.، و پیردشتی، ه. ۱۳۸۴. مطالعه خصوصیات مرفولوژیک، شاخص‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام بومی و اصلاح شده برنج. مجله علوم زراعی ایران. ۷(۴): ۲۸۰-۲۹۷.
- نیک‌نژاد، ی.، زرغامی، ر.، نصری، م.، و پیردشتی، ه. ۱۳۸۶. اثر محدودیت منبع و مخزن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه چند رقم برنج. مجله نهال و بذر. ۱۲۳(۱): ۱۱۳-۱۲۱.
- Bijan-zadeh, E., and Emam, Y. 2010.** Effect of source-sink manipulation on yield components and photosynthetic characteristics of wheat cultivars (*Triticum aestivum* and *T. durum* L.). Journal of Applied Sciences. 10(7): 564-569.
- Eradatmand Asli, D., Eghdami, A., and Houshmandfar, A. 2011.** Evaluation of sink and source relationship in different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Advances in Environmental Biology. 5(5): 912-919.
- Felekari, H., Ghobadi, M.E., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S., and Saeidi, M. 2014.** The effect of post anthesis source and sink limitation in wheat cultivars under moderate condition. International Journal of Biosciences. 5(5): 52-59.
- Haque, M.M., Pramanik, H.R., Biswas, J.K., Iftexharuddaula, K.M., and Hasanuzzaman, M. 2015.** Comparative performance of hybrid and elite inbred rice varieties with respect to their source-sink relationship. The Scientific World Journal. 1-11.
- Ishibashi, Y., Okamura, K., Miyazaki, M., Phan, T., Yuasa, T., and Iwaya-Inoue, M. 2014.** Expression of rice sucrose transporter gene OsSUT1 in sink and source organs shaded during grain filling may affect grain yield and quality. Environmental and Experimental Botany. 97: 49-54.
- Madani, A., Shirani Rad, A.H., Pazoki, A., Nourmohammadi, G., and Zarghami, R. 2010^a.** Wheat (*Triticum aestivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source :sink modification under postanthesis water and nitrogen deficiency. Acta Scientiarum. Agronomy. 32(1): 145-151.
- Madani, A., Shirani-Rad, A., Pazoki, A., Nourmohammadi, G., Zarghami, R., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2010^b.** The impact of source or sink limitations on yield formation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) due to post-anthesis water and nitrogen deficiencies. Plant, Soil and Environment. 56(5): 218-227.
- Nouri, H., Ahmadi, A., and Postini, K. 2013.** Effect of source restriction on the grain yield and yield components in Iranian wheat cultivars. Technical Journal of Engineering and Applied Sciences. 3(13): 1223-1228.
- Radmehr, M., Lotf-Ali Aeyneh, G.A., and Naderi, A. 2004.** A study on source-sink relationship of wheat genotypes under favourable and terminal heat stress conditions in Khuzestan. Iranian Journal of Crop Sciences. 6(2): 101-113.
- Rahimian, H., Koocheki, A., and Zand, A. 1999.** Evolution, adaptation and crop yields. Agriculture Training. 435p.
- Serrago, R.A., Alzueta, I., Savin, R., and Slafer, G.A. 2013.** Understanding grain yield responses to source-sink ratios during grain filling in wheat and barley under contrasting environments. Field Crops Research. 150: 42-51.

- Shahrudin, Sh., Puteh, A., and Juraimi, A.S. 2014.** Response of source and sink manipulations on yield of selected rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*. 1(2): 125-131.
- Zhang, Y.H., Sun, N.N., Hong, J.P., Zhang, Q., Wang, C., Xue, Q.W., Zhou, S.L., Huang, Q., and Wang, Z.M. 2014.** Effect of source-sink manipulation on photosynthetic characteristics of flag leaf and the remobilization of dry mass and nitrogen in vegetative organs of wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 13(8): 1680-1690.