نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هشتم، شماره دوم، تابستان ۹٤
۳۱-٤۹
http://ejcp.gau.ac.ir

تاثیر فاصله ردیف و کاربرد علف‌کش بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد برنج در کشت مستقیم

***ابوالفضل درخشان[۱]، جاوید قرخلو[۲]، ناصر باقرانی[۳]**

[۱و۲] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳] مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٤/٤/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: در دو دهه گذشته در بسیاری از کشورهای آسیایی در پاسخ به افزایش هزینه‌های تولید، روش استقرار برنج از نشاکاری دستی گیاهچه‌ها به کشت مستقیم تغییر یافته است. تغییر روش استقرار برنج و به تبع آن شیوه‌های مدیریت آب، خاک‌ورزی و مهار علف‌های هرز در کشت مستقیم برنج منجر به تغییر در ترکیب و تنوع فلور علف‌های هرز می‌شود. همچنین، تعداد بیشتر گونه‌های هرز در شرایط خشکه‌کاری برنج می‌تواند منجر به کاهش کارایی راهبردهای مدیریت علف‌های هرز شود. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی برخی علف‌کش‌های پس‌رویشی و فاصله بین ردیف‌های کاشت بر کنترل علف‌های هرز در کشت مستقیم برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال ۱۳۹۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورها شامل فاصله بین ردیف‌های کاشت برنج در سه سطح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر و کنترل علف‌های هرز در هفت سطح شامل کاربرد شش تیمار علف‌کشی پندیمتالین، بنتازون، پروپانیل + سینوسولفورون، اکسادیارژیل، کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون و تیمار عاری از

*نویسنده مسئول: derakhshan.abo@gmail.com

علف‌هرز بود. هر کرت از طول به دو بخش تقسیم شد، یک بخش مورد تیمار قرار گرفت و بخش دیگر به عنوان شاهد بخش تیمار شده در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: افت حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر ماده خشک و حداکثر سرعت رشد برنج در اثر مصرف علف‌کش‌های بنتازون (به‌طور متوسط ٦٨ درصد) و اکسادیارژیل (بطور متوسط ٨٤ درصد) بطور معنی‌داری بیشتر از کاربرد علف‌کش پندیمتالین (به‌طور متوسط ٤٧ درصد) و مخلوط علف‌کش‌ها (به‌طور متوسط ٤١ درصد) بود. همچنین، کمترین میزان کاهش شاخص‌های رشدی برنج در رقابت با علف‌های هرز در فاصله ردیف ١٥ سانتی‌متر مشاهده شد (به‌طور متوسط ٤٤ درصد). فاصله ردیف بطور معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد برنج را تحت تاثیر قرار داد. به‌طوری‌که، کمترین میزان افت عملکرد شلتوک در فاصله ردیف ١٥ سانتی‌متر مشاهده شد (٨٣ درصد). تاثیر هیچ یک از تیمارهای کنترل علف‌هرز بر عملکرد برنج مشابه با تیمار عاری از علف‌هرز نبود. با این حال، افت عملکرد برنج با کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام.سی.پی. آ" + بنتازون (٥٦ درصد)، پروپانیل + سینوسولفورون (٥٩ درصد) و کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام.سی.پی.آ" + بنتازون (٥٩ درصد) به‌طور معنی‌داری کمتر از افت عملکرد بدست آمده با کاربرد سایر علف‌کش‌ها بود (به‌طور متوسط ٨٦ درصد).

نتیجه‌گیری: کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی مورد ارزیابی در این تحقیق باعث کمترین اختلاف بین شاخص‌های رشدی و عملکرد برنج در مقایسه با شاهد عاری از علف‌هرز شد. در این مطالعه، افت عملکرد برنج در کرت‌های آلوده به علف‌هرز در حدود ٩٨ درصد بود. با در نظر گرفتن چنین افت عملکردی در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز، افت عملکرد بدست آمده با تنها یک مرتبه کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی در طی فصل رشد رضایت بخش به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: رقابت، شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، مدل بتا

مقدمه

تولید برنج در کشورهای آسیائی بطور معمول به روش غرقابی و با نشاکاری گیاهچه‌ها در خاک پادلینگ شده[1] (آماده‌سازی زمین با شخم مرطوب) انجام می‌گیرد. کاهش تلفات نفوذ آب، کنترل علف‌های هرز، تسهیل استقرار گیاهچه و ایجاد شرایط بی‌هوازی برای افزایش دسترسی به مواد غذایی از جمله فواید کشت نشایی برنج است (۲۰). به هر حال، تکرار این نوع کشت با از بین بردن خاکدانه‌ها، کاهش قابلیت نفوذ در لایه‌های زیرسطحی و تشکیل لایه‌های سخت در اعماق کم، اثرات نامطلوبی بر خصوصیات فیزیکی خاک دارد (۲۲).

در دو دهه گذشته در بسیاری از کشورهای آسیایی در پاسخ به افزایش هزینه‌های تولید، روش استقرار برنج از نشاکاری دستی گیاهچه‌ها به کشت مستقیم تغییر یافته است. بسته به شرایط فیزیکی بستر بذر برای استقرار گیاهچه، کشت مستقیم برنج[2] ممکن است بصورت کشت مرطوب[3]، آب کشت[4] و یا خشکه کاری[5] باشد (۲۰).

علف‌های هرز مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد در تولید برنج می‌باشند (۲۲). در سطح جهانی، افت عملکرد واقعی برنج به دلیل آفات در حدود ٤٠ درصد برآورد شده است و علف‌های هرز در حدود ۳۲ درصد برآورد شده است (۲۰). تغییر روش استقرار برنج و به تبع آن شیوه‌های مدیریت آب، خاک‌ورزی و مهار علف‌های هرز در کشت مستقیم برنج منجر به تغییر در ترکیب و تنوع فلور علف‌های هرز می‌شود (١٤). سینگ و همکاران (٢٠٠٦) گزارش کردند که تعداد گونه‌های باریک‌برگ، پهن‌برگ و جگن در کشت نشایی برنج در هند به‌ترتیب ٦، ٤ و ٤ گونه بود، درحالیکه با تغییر روش استقرار برنج به خشک کشت مستقیم، تعداد گونه‌های باریک‌برگ به ۱۵ و تعداد گونه‌های پهن‌برگ به ۱۹ گونه افزایش یافت (۲۱). واضح است که برخی گونه‌های باریک‌برگ و پهن‌برگی که با شرایط غرقاب سازگار نیستند، می‌توانند در سیستم خشکه‌کاری برنج ظاهر شوند. تعداد بیشتر گونه‌های هرز در شرایط خشکه‌کاری برنج می‌تواند منجر به کاهش کارایی راهبردهای مدیریت علف‌های هرز شود. از آنجایی‌که در کشت مستقیم برنج علف‌های هرز و گیاه زراعی به‌طور هم‌زمان سبز می‌شوند و برخی

1- Puddled soil
2- Direct-seeding of rice (DSR)
3- Wet-seeding
4- Water-seeding
5- Dry-seeding

از گونه‌های هرز از قبیل سوروف (*Echinochloa cruss-gali* L.) و درنه سرخه (*Echinochloa colona* L.) از لحاظ مورفولوژیکی بسیار شبیه به برنج می‌باشند، مصرف علف‌کش‌ها در این زراعت اهمیت بیشتری می‌یابد. علف‌کش‌های پیش‌رویشی و پس‌رویشی گوناگونی در کشت مستقیم برنج مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال، در بنگلادش گزارش شد که مصرف علف‌کش اکسادیازون و یک مرتبه وجین به کنترل موثر علف‌های هرز در کشت مستقیم برنج منجر شد (۲۰). ایشایا و همکاران (۲۰۰۷) چندین علف‌کش و اختلاط علف‌کشی را در کشت مستقیم برنج ارزیابی کردند. ایشان اظهار کردند که اختلاط‌های علف‌کشی پرتیلاکلر + دی‌متامترین و پای‌پرفوس + سینوسولفورون به‌طور موثری علف‌های هرز را کنترل کردند و منجر به رشد بهتر و عملکرد دانه بیشتر برنج شدند (۱۳).

به تازگی توجه زیادی به کاربرد روش‌های زراعی در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز شده است (٦، ۸، ١٦). یکی از این رویکردها، کاهش فاصله ردیف کاشت گیاه زراعی می‌باشد. اثرات رقابت علف‌های هرز می‌تواند با بهینه‌سازی تراکم بوته گیاه زراعی و آرایش کاشت کاهش یابد (٤). تراکم بهینه گیاه زراعی باعث سایه اندازی سریع بوته‌ها روی خاک شده و از رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌کند (۵).

کشاورزان شالی‌کار در استان گلستان و مازندران با محدودیت منابع آبی مواجه می‌باشند و ادامه روند کشت برنج به صورت نشایی ذخایر آبی این منطقه را تهدید می‌کند. بنابراین، جایگزینی شیوه‌های سنتی کشت برنج با روش کشت مستقیم این محصول می‌تواند بهره‌وری از منابع آبی را بهبود بخشد. در این راستا، هدف از این مطالعه بررسی تاثیر فاصله ردیف‌های کاشت گیاه زراعی و همچنین کاربرد علف‌کش بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد برنج در شرایط کشت به روش مستقیم بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۰ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی انجام شد. میانگین حداکثر و حداقل دما و کل بارندگی ثبت شده در دوره کاشت تا برداشت برنج در محل آزمایش در شکل (۱) ارائه شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب

طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورها شامل فاصله بین ردیف‌های کاشت برنج در سه سطح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر و کنترل علف‌های هرز در هفت سطح شامل کاربرد شش تیمار علف‌کشی پندیمتالین به مقدار ٦٦٠ گرم ماده موثره در هکتار، بنتازون به مقدار ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار، پروپانیل + سینوسولفورون به مقدار ۲۱٦۰ + ۲۰ گرم ماده موثره در هکتار، اکسادیارژیل به مقدار ۹۰۰ گرم ماده موثره در هکتار، کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون به مقدار ٤۰ + ۲۰۰ + ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار، ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون به مقدار ۲۵۰ + ۲۰۰ + ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار و تیمار عاری از علف‌هرز (وجین کامل) بودند.

آماده‌سازی زمین جهت کاشت با انجام دو بار دیسک به عمق ۲۰ سانتی‌متر و تسطیح مزرعه انجام شد. بخشی از کود نیتروژن (اوره ٤٦ درصد به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل به مقدار ٦۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسه (کلرور پتاسیم به مقدار ٦۰ کیلوگرم در هکتار) بین دو مرحله دیسک مزرعه توزیع شدند. علاوه بر این، ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره در طول دوره رشد گیاه زراعی (۵۰ درصد پس از ٤۰ روز از کاشت و ۵۰ درصد پس از ۸۰ روز از کاشت) مصرف شد. بذور برنج (رقم شیرودی) در فواصل ردیف مورد نظر در کرت‌هایی به طول ۸ متر و در ۱۲ ردیف کشت شدند. برای جلوگیری از سله بستن خاک مکرراً کرت‌ها تا ظهور گیاهچه در سطح خاک با آبپاش آبیاری گردید. پس از ظهور گیاهچه‌ها در سطح خاک، آبیاری تا آخر فصل رشد به صورت نواری انجام شد. کرت از طول به دو بخش تقسیم شد، یک بخش مورد تیمار علف‌کش قرار گرفت و بخش دیگر به عنوان شاهد بخش تیمار شده (تیمار آلوده به علف‌هرز) در نظر گرفته شد. در کرت‌های شاهد تا پایان فصل به علف‌های هرز اجازه رشد داده شد. علف‌کش پندیمتالین ۷ روز پس از کاشت (بلافاصله پس از سبز شدن برنج) و بقیه تیمارهای علف‌کشی ۳۵ روز پس از کاشت (اوایل پنجه‌زنی برنج) مصرف شدند. سم‌پاشی با استفاده از دستگاه سمپاش پشتی تلمبه‌ای (۲۰ لیتری) با نازل پلی‌جت و میزان آب ۳۰۰ لیتر در هکتار انجام شد.

به منظور تعیین شاخص‌های رشد برنج نمونه‌برداری تخریبی به فواصل ۱۲ روز در طی فصل از هر دو بخش تیمار شده و شاهد کرت‌ها صورت گرفت. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، سطح برگ

برنج با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج نوری (مدل دلتا تی[1]) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند.

روند تغییرات شاخص سطح برگ برنج در طول دوره رشد با استفاده از مدل بتا (معادله ۱) توصیف شد (۲۳).

معادله (۱)
$$y=L_{max}\left[\left(\frac{t_e-t}{t_e-t_m}\right)\left(\frac{t-t_b}{t_m-t_b}\right)^{\frac{t_m-t_b}{t_e-t_b}}\right]^c$$

که در این معادله t، زمان (روز پس از کاشت)؛ y، شاخص سطح برگ؛ L_{max}، حداکثر شاخص سطح برگ؛ t_b، زمان شروع رشد؛ t_m، زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ؛ t_e، زمان پایان رشد برگ و c ضریب ثابت مدل می‌باشد. برای توصیف روند تجمع ماده خشک برنج در طول دوره رشد نیز از مدل بتا (معادله ۲) استفاده شد (۲۳).

معادله (۲)
$$w=w_{max}\left(1+\frac{t_e-t}{t_e-t_m}\right)\left(\frac{t}{t_e}\right)^{\frac{t_e}{t_e-t_m}}$$

که در این مدل t، زمان (روز پس از کاشت)؛ w، ماده خشک تجمعی؛ w_{max}، حداکثر تجمع ماده خشک؛ t_m، زمان وقوع حداکثر سرعت رشد و t_e، زمان وقوع حداکثر تجمع ماده خشک می‌باشد. بر اساس پارامترهای بدست آمده، حداکثر سرعت رشد (c_m) با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (۲۳).

معادله(۳)
$$c_m=\frac{2t_e-t_m}{t_e(t_e-t_m)}\left(\frac{t_m}{t_e}\right)^{\frac{t_m}{t_e-t_m}}w_{max}$$

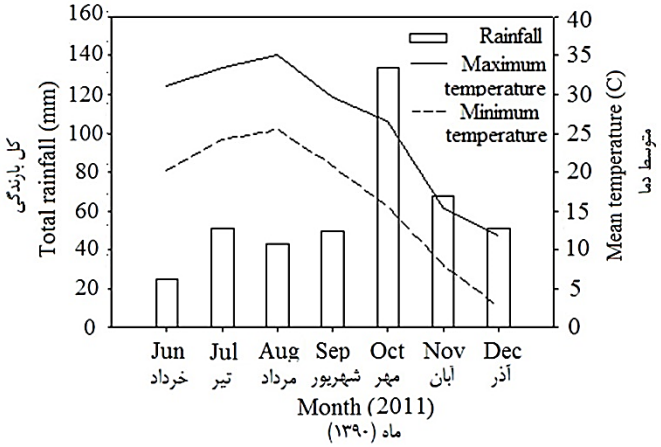
جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد برنج، در زمان رسیدگی یک متر مربع از هر کرت برداشت و ۱۰ بوته آن انتخاب شد. اجزای عملکرد برنج شامل تراکم گیاه زراعی، تعداد خوشه در هر بوته، تعداد دانه در هر خوشه و وزن هزار دانه روی بوته‌های انتخاب شده اندازه‌گیری شد. درصد تغییر عملکرد با استفاده از معادله ٤ محاسبه شد.

معادله (٤)
$$\text{درصد کاهش عملکرد} = \frac{\text{عملکرد سمپاشی شده} - \text{عملکرد شاهد عاری از علف هرز}}{\text{عملکرد شاهد عاری از علف هرز}}$$

به منظور برقراری مفروضات تجزیه واریانس، تبدیل زاویه ($y=\arcsin\sqrt{x+0.5}$) بر روی داده‌ها انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و با رویه GLM و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD محافظت شده در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برازش مدل‌ها به

1 - Delta T Device

داده‌های سطح برگ و تجمع ماده خشک با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot و تخمین پارامترهای هر مدل به روش مطلوب سازی تکراری در این نرم‌افزار انجام شد.



شکل ۱. میانگین حداکثر و حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) و میزان بارندگی (میلی‌متر) ثبت شده در محل آزمایش

Figure 1. Average of maximum and minimum temperature (C) and rainfall (mm) recorded in experiment location

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک بدون مصرف علف‌کش: روند تغییرات شاخص سطح برگ برنج تحت تاثیر فاصله ردیف در شرایط عاری و آلوده به علف‌هرز در شکل ۲ نشان داده شده است. در شرایط عاری از علف‌هرز، حداکثر شاخص سطح برگ برنج تحت تاثیر فاصله ردیف قرار نگرفت (جدول ۱). با این حال، حداکثر شاخص سطح برگ برنج در شرایط آلوده به علف‌هرز در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد و با افزایش فاصله ردیف کاهش یافت. شاخص سطح برگ برنج به شدت تحت تاثیر رقابت علف‌های هرز قرار گرفت، بطوریکه حداکثر شاخص سطح برگ برنج در فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر در شرایط آلوده به علف‌هرز به ۰/۳۵ کاهش یافت (جدول ۱). به دلیل وجود رقابت شدید علف‌های هرز و کاهش رشد بوته‌های برنج، زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ برنج (T_m) در شرایط آلوده به علف‌هرز کوتاه‌تر از شرایط عاری از علف‌هرز بود (جدول ۱). چائوهان (۲۰۱۲) اظهار کرد که در شرایط کشت مستقیم، رقابت برای نور نخستین سازوکار تعیین‌کننده پیامدهای رقابت بین برنج و علف‌های هرز است (۳). گسترش سطح برگ در مراحل اولیه رشد،

اهمیت زیادی در افزایش توانایی گیاه زراعی دارد که این امر ناشی از نقش اساسی سطح برگ در جذب نور است. توانایی سایه‌اندازی بیشتر منجر به کاهش دسترسی نور برای گیاهان رقیب شده و رشد آنها را کاهش می‌دهد (۱۰).

جدول ۱. برآورد ضرایب معادله بتا برازش یافته به داده‌های شاخص سطح برگ برنج در روزهای پس از کاشت در شرایط عاری و آلوده به علف‌هرز

Table 1. Coefficients estimates for Beta equation fitted to LAI of rice in days after planting in the weed-free and weed-infested conditions

R^2	c	T_e (day)	T_m (day)	T_b (day)	LAI_{max}	فاصله‌ردیف Row spacing (cm)	تیمار Treatment
0.97	5.64±5.18	115.80±10.60	85.82±1.94	4.48±26.29	4.71±0.23	15	عاری از علف‌هرز
0.98	2.52±1.95	110.36±7.74	88.50±1.74	4.07±29.07	4.23±0.19	25	Weed-free
0.99	2.52±1.80	109.88±7.56	90.09±1.60	3.37±25.94	4.17±0.19	35	
0.97	4.01±2.88	112.01±11.50	76.43±1.94	4.13±82.17	0.85±0.05	15	آلوده به علف‌هرز
0.98	2.81±3.25	110.02±15.85	73.51±1.34	2.66±38.42	0.46±0.02	25	Weed-infested
0.93	2.47±3.29	111.49±18.04	71.87±2.89	0.16±58.07	0.35±0.02	35	

LAI_{max}، حداکثر شاخص سطح برگ؛ T_b، زمان شروع رشد برگ؛ T_m، زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ؛ T_e، زمان پایان رشد برگ؛ c، ضریب ثابت مدل

LAI_{max}= maximum leaf area index; T_b=time at onset of leaf growth; T_m=time at maximum LAI; T_e=time at end of leaf growth; c= Constant coefficient model

حداکثر تجمع ماده خشک (گرم بر متر مربع) در شرایط عاری از علف‌هرز در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر بدست آمد و بین فواصل ردیف ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲؛ شکل ۳). در هر دو شرایط عاری و آلوده به علف‌هرز، بین فواصل ردیف از نظر زمان وقوع حداکثر تجمع ماده خشک (T_e) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). حداکثر سرعت رشد برنج (گرم در متر مربع در روز) نیز در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر بیشتر از فواصل عریض‌تر بود. تجمع ماده خشک برنج به شدت تحت تاثیر رقابت علف‌های هرز قرار گرفت (شکل ۳)، به‌طوری‌که حداکثر تجمع ماده خشک برنج در شرایط آلوده به علف‌هرز تا ٤۰ گرم در متر مربع در

فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر کاهش یافت (جدول ۲). فاصله ردیف کمتر با توسعه سریع‌تر سایه‌انداز گیاهی و اجازه نفوذ کمتر نور توان رقابتی گیاه زراعی با علف‌های هرز را بهبود می‌بخشد (٦). در شرایط آلوده به علف‌هرز، بیشترین تجمع ماده خشک برنج در فاصله ردیف کمتر مشاهده شد. با این وجود، کاهش ماده خشک برنج در فاصله ردیف کمتر در مقایسه با شرایط عاری از علف‌هرز (در حدود ۹۰ درصد) قابل توجه بود. علاوه بر این، زمان وقوع حداکثر تجمع ماده خشک در شرایط آلوده به علف‌هرز به واسطه سایه‌اندازی و رقابت شدید علف‌های هرز زودتر از شرایط عاری از علف‌هرز اتفاق افتاد. بطوریکه، در زمان رشد خطی بوته‌های برنج در شرایط عاری از علف‌هرز، وزن خشک بوته‌ها در شرایط آلوده به علف‌هرز روندی نزولی داشتند. چائوهان (۲۰۱۲) اظهار کرد که اثر رقابت علف‌های هرز می‌تواند با بهینه‌سازی آرایش و تراکم گیاه زراعی کاهش یابد و این راه حل باید در چهارچوب برنامه مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و نه به عنوان یک راهبرد کنترلی مستقل در نظر گرفته شود (۳).

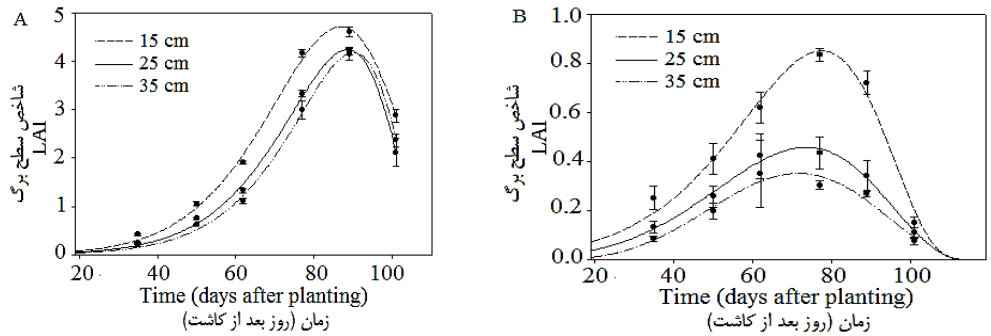
جدول ۲. ضرایب مربوط به برازش معادله بتا به تغییرات وزن خشک برنج در روزهای پس از کاشت در شرایط عاری و آلوده به علف‌هرز

Table 2. Coefficients of fitted Beta equation to rice dry weight changes in days after planting in the weed-free and weed-infested conditions

C_m ($g.m^{-2}.d^{-1}$)	R^2	T_e (day)	T_m (day)	W_{max} ($g.m^{-2}$)	فاصله‌ردیف Row spacing (cm)	تیمار Treatment
23.98	0.99	103.49±2.17	83.26±0.97	1076.25±24.09	15	عاری از علف‌هرز
22.73	0.98	103.55±4.16	85.84±1.93	928.63±33.27	25	Weed-free
22.03	0.98	102.83±3.89	86.42±1.80	856.70±38.20	35	
2.11	0.93	83.18±2.35	50.54±5.56	106.39±7.68	15	آلوده به علف‌هرز
1.05	0.90	75.60±2.59	41.77±6.51	50.92±4.02	25	Weed-infested
0.87	0.90	75.51±3.25	45.66±1.80	40.08±3.25	35	

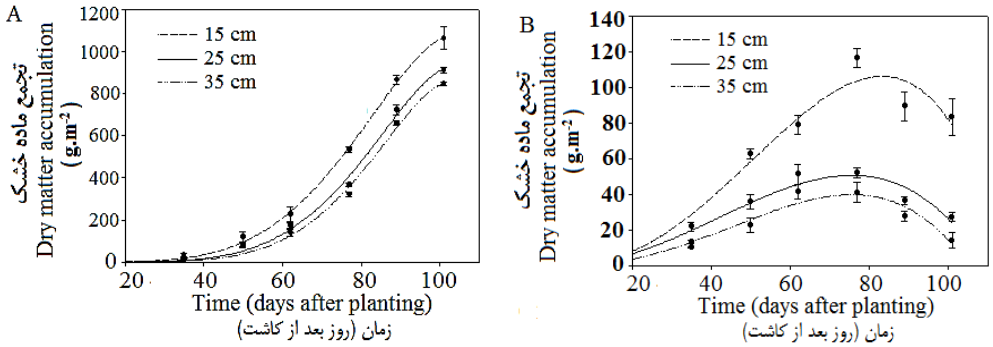
W_{max}، حداکثر تجمع ماده خشک (گرم بر مترمربع)؛ T_m، زمان وقوع حداکثر سرعت رشد؛ T_e، زمان وقوع حداکثر تجمع ماده خشک؛ C_m، حداکثر سرعت رشد

W_{max}=maximum dry weight; T_m= time at maximum growth rate; T_e= time at maximum dry matter accumulation; C_m= maximum growth rate



شکل ۲. تغییرات شاخص سطح برگ برنج تحت تاثیر فاصله ردیف در شرایط عاری (A) وآلوده (B) به علف‌هرز

Figure 2. Changes in rice LAI as affected by row spacing in the weed-free (A) and weed-infested (B) conditions



شکل ۳. تغییرات تجمع ماده خشک برنج تحت تاثیر فاصله ردیف در شرایط عاری (A) وآلوده (B) به علف‌هرز

Figure 3. Changes in rice dry matter accumulation as affected by row spacing in the weed-free (A) and weed-infested (B) conditions

شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک با مصرف علف‌کش: تیمارهای کنترل علف‌هرز و فاصله ردیف تاثیر معنی‌داری (P=۰/۰۰۰۱) بر حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر تجمع ماده خشک و حداکثر سرعت رشد برنج گذاشتند، ولی اثر متقابل کنترل علف‌هرز و فاصله ردیف بر درصد تغییر این صفات معنی‌دار نبود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). کمترین میزان کاهش حداکثر شاخص سطح برگ برنج در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۳). کمترین درصد تغییر در حداکثر شاخص سطح برگ برنج نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز مربوط به تیمار کاربرد ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون بود، ولی اختلاف معنی‌داری با

تیمارهای کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، پندیمتالین و پروپانیل + سینوسولفورون نداشت (جدول ۳). همچنین، درصد کاهش حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار کاربرد اکسادیارژیل مشابه با شرایط عدم کنترل علف‌های هرز بود.

مشابه با حداکثر شاخص سطح برگ، کمترین درصد کاهش حداکثر تجمع ماده خشک و حداکثر سرعت رشد برنج در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد. کاربرد اختلاط علف‌کش‌های ستوکسیدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون و کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون منجر به کمترین درصد کاهش در حداکثر تجمع ماده خشک برنج و عدم کنترل علف‌های هرز منجر به بیشترین درصد کاهش شدند. تاثیر کاربرد اختلاط علف‌کشی پروپانیل + سینوسولفورون بر درصد کاهش حداکثر تجمع ماده خشک برنج مشابه با تیمار کاربرد کلودینافوپ پروپارژیل + " بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ " + بنتازون بود. درصد کاهش حداکثر تجمع ماده خشک برنج با کاربرد علف‌کش‌های پندیمتالین، بنتازون و اکسادیارژیل به ترتیب در حدود ۵۰، ٦۹ و ۸۵ بود. کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی ستوکسیدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون و پروپانیل + سینوسولفورون منجر به کمترین درصد کاهش در حداکثر سرعت رشد برنج شد. بین تیمارهای کاربرد علف‌کش اکسادیارژیل و عدم کنترل علف‌های هرز اختلافی در درصد کاهش حداکثر سرعت رشد برنج نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز مشاهده نشد (جدول ۳).

در مجموع، افت حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر تجمع ماده خشک و حداکثر سرعت رشد برنج در اثر مصرف علف‌کش‌های تک‌منظوره (بنتازون و اکسادی‌آرژیل) بیش از علف‌کش دومنظوره پندیمتالین و مخلوط علف‌کش‌ها بود.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کاربرد علف‌کش و فاصله ردیف بر درصد کاهش حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، حداکثر تجمع ماده خشک (W_{max}) و حداکثر سرعت رشد (C_m) برنج نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز

Table 3. Mean comparison for the effects of herbicide application and row spacing on percent decrease of rice maximum leaf area index (LAI_{max}), maximum dry matter accumulation (W_{max}) and maximum growth rate (C_m) compared with weed-free condition

تیمار Treatment	درصد کاهش Percent decrease		
	LAI_{max}	W_{max}	C_m
علف‌کش (Herbicide)			
عدم کنترل Unconrolled	87.01 c	93.26 e	96.64 d
پندیمتالین Pendimethalin	42.87 a	50.11 c	49.99 b
بنتازون Bentazon	64.70 b	69.69 d	70.70 c
پروپانیل + سینوسولفورون Propanil + Cinosulfuron	45.76 a	44.09 b	41.66 a
اکسادی‌آرژیل Oxadiargyl	80.56 c	85.83 e	86.04 a
کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون Clodinafop propargyl + "Bromoxynil + MCPA"+ Bentazon	42.30 a	38.60 ab	41.48 ab
ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون sethoxydim + "bromoxynil + MCPA" + bentazon	41.73 a	36.58 a	37.35 a
فاصله ردیف (Row spacing)			
15 cm	42.28 a	45.88 a	45.66 a
25 cm	51.86 b	55.40 b	54.62 b
35 cm	57.71 c	55.53 b	57.92 b

*میانگین‌هایی، در هر ستون، که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

*Means, in each column, following similar letter (s) are not significantly different at the 5% level of probability- using LSD Test.

عملکرد و اجزای عملکرد: اثر متقابل فاصله ردیف و کنترل علف‌هرز بر درصد کاهش ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته و سایر اجزای عملکرد برنج نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز معنی‌دار نبود، اما اثرات ساده آن‌ها بطور معنی‌داری این صفات را تحت تاثیر قرار دادند (جدول تجزیه واریانس آورده نشده است). حداقل درصد کاهش ارتفاع در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ٤).

به نظر می‌رسد که درصد کاهش بیشتر ارتفاع بوته‌های برنج در فواصل ردیف عریض‌تر مرتبط با کاهش توانایی رقابتی آن‌ها با علف‌های هرز باشد. ارتفاع به عنوان یکی از معیارهای توانایی رقابتی ارقام و گونه‌های مختلف زراعی مطرح می‌باشد. رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی در مراحل اولیه رشد و یا رقابت ضعیف آن‌ها می‌تواند موجب افزایش ارتفاع گیاه زراعی شود. این موضوع به دلیل تغییر در کیفیت نور رسیده به گیاه زراعی و کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور است و از راهبردهای گریز از سایه محسوب می‌شود (۱۷). با این حال، واکنش ارتفاع گیاه زراعی به رقابت علف‌های هرز، به تراکم (شدت رقابت) و نوع علف‌های هرز وابسته است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد کاهش ارتفاع در زمان برداشت مربوط به کرت‌های آلوده به علف‌هرز بود (جدول ٤). کاربرد علف‌کش پندیمتالین و اختلاط‌های علف‌کشی کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، پروپانیل + سینوسولفورون و ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون تاثیر مشابهی بر درصد تغییر ارتفاع برنج در زمان برداشت داشتند و کمترین میزان کاهش ارتفاع در این تیمارها بدست آمد. کاهش ارتفاع گیاه زراعی در رقابت با علف‌های هرز را می‌توان به کاهش دسترسی به منابع و در نتیجه کاهش رشد نسبت داد (۱۷).

درصد کاهش تعداد پنجه در بوته در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر برنج به ترتیب ١٤ و ١١ درصد کمتر از فواصل ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر بود (جدول ٤). چائوهان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش مقدار بذر از ۱۵ تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، تعداد پنجه در واحد سطح در هر دو شرایط عاری و آلوده به علف‌هرز به صورت خطی افزایش یافت (۸). در شرایط عاری از علف‌هرز با افزایش تراکم گیاه زراعی ممکن است تعداد پنجه در بوته به دلیل رقابت درون گونه‌ای کاهش یابد، با این حال تعداد پنجه در واحد سطح تحت تاثیر تراکم گیاه زراعی قرار می‌گیرد. کاهش بیشتر در تعداد پنجه در بوته با افزایش فاصله ردیف را می‌توان به رقابت شدیدتر بوته‌های برنج با علف‌های هرز در فواصل ردیف بیشتر نسبت داد.

نتایج نشان داد که کمترین درصد کاهش تعداد پنجه در بوته مربوط به تیمارهای کاربرد علف‌کش پندیمتالین و اختلاط‌های علف‌کشی کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، پروپانیل + سینوسولفورون و ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون بود (جدول ٤). در شرایط آلوده به علف‌هرز تعداد پنجه در بوته نسبت به شاهد عاری از علف‌هرز در

حدود ۹٦ درصد کاهش یافت. میزان کاهش تعداد پنجه در بوته با کاربرد علف‌کش اکسادیارژیل مشابه با شرایط عدم کنترل علف‌هرز بود. اکلم و همکاران، (۲۰۰۹) گزارش کردند که با انجام یک و دو مرتبه وجین دستی در طول فصل رشد برنج در کشت مستقیم، تعداد پنجه در بوته به ترتیب ٤۲ و ٤۹ درصد نسبت به شرایط عدم کنترل علف‌های هرز افزایش یافت (۹). همبستگی منفی بین تعداد پنجه در بوته و وزن خشک علف‌های هرز توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (۱۱، ۱۷).

توانایی رقابت برنج اغلب وابسته به صفات مرتبط با جذب نور است و با ارتفاع، شاخص سطح برگ (LAI)[1]، سطح ویژه برگ (SLA)[2]، ریزش برگ و تولید پنجه همبستگی دارد (۲۰). میزان کاهش ارتفاع بوته‌های برنج بسیار کمتر از کاهش تعداد پنجه در بوته بود (جدول ٤). کاهش بیشتر تعداد پنجه در بوته را می‌توان به کمبود شدید منابع و ریزش برگ‌ها در رقابت با علف‌های هرز و همچنین تخصیص منابع برای دسترسی بوته‌های برنج به نور نسبت داد.

کمترین درصد کاهش تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک برنج در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ٤). اکوباندو و آهایسو (۱۹۸۵) نیز گزارش کردند که در شرایط عاری از علف‌هرز، فاصله ردیف (۱۵ تا ٤۵ سانتی‌متر) تاثیر اندکی بر عملکرد دانه برنج در کشت مستقیم داشت، اما در رقابت با علف‌های هرز، فواصل ردیف عریض‌تر منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دانه برنج شدند (۱). بطور همسان، ازمای و جانسون (۲۰۰۹) گزارش کردند که در یک مزرعه آلوده به برنج وحشی در مالزی، با افزایش مقدار بذر از ۲۰ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه برنج افزایش یافت (۲). در مطالعه دیگر، عملکرد دانه در خشک کشت مستقیم برنج بین فواصل ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر مشابه بود، اما علف‌های هرز در این مطالعه کنترل شدند (۱۵). چائوهان و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که با افزایش مقدار بذر از ۱۵ تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، اختلاف تعداد خوشه در واحد سطح بین کرت‌های آلوده و عاری از علف‌هرز کاهش یافت (۸). افزایش تراکم گیاهی می‌تواند منجر به کاهش رشد علف‌های هرز و در نتیجه کاهش افت عملکرد ناشی از رقابت آن‌ها شود (۳). کاهش افت عملکرد محصول با افزایش تراکم گیاه زراعی در شرایط آلوده به علف‌هرز در مطالعات پیشین با برنج هوازی (۲۰)، گندم (۱۹) و جو (۱۸) گزارش شده است.

1- Leaf area index
2- Specific leaf area

جدول ٤. مقایسه میانگین درصد کاهش عملکرد و اجزای عملکرد برنج در تیمارهای مختلف کاربرد علف‌کش‌ها و فاصله ردیف نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز

Table 4. Mean comparison for percent decrease of rice yield and yield components in different treatments of herbicide application and row spacing on of rice compared to the weed-free condition

تیمار Treatment	درصد کاهش نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز Percent loss compared to the weed-free condition						
	ارتفاع Height	تعداد پنجه Number of tillers ($Plant^{-1}$)	تعداد خوشه Number of panicles (m^{-2})	تعداد دانه در خوشه Number of grains per panicle	وزن هزار دانه Thousand grain weight (gr)	عملکرد Yield ($T.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological Yield ($T.ha^{-1}$)
کنترل علف‌هرز (Weed control)							
عدم کنترل Unconrolled	40.34 d	96.29 c	89.02 b	74.89 d	47.92 c	98.45 d	95.27 e
پندیمتالین Pendimethalin	7.98 a	59.47 a	52.18 a	22.62 b	16.66 b	67.49 b	50.55 b
بنتازون Bentazon	22.51 b	86.99 b	82.74 b	51.33 c	17.61 b	92.58 c	70.33 c
پروپانیل + سینوسولفورون Propanil + Cinosulfuron	6.14 a	57.27 a	48.25 a	18.60 ab	10.68 a	59.13 a	43.80 ab
اکسادی‌آرژیل Oxadiargyl	34.81 c	93.55 bc	88.17 b	67.20 d	44.24 c	97.31 d	86.61 d
کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون Clodinafop propargyl + "Bromoxynil + MCPA"+ Bentazon	8.36 a	51.46 a	44.81 a	21.51 b	10.67 a	59.46 a	40.28 a
ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون sethoxydim + "bromoxynil + MCPA" + bentazon	6.40 a	51.39 a	43.39 a	13.38 a	11.43 a	55.76 a	37.31 a
فاصله ردیف (Row Spacing)							
15 cm	11.34 a	54.47 a	50.47 a	27.62 a	15.34 a	82.90 a	46.50 a
25 cm	18.26 b	68.55 b	58.45 b	37.87 b	19.55 b	85.95 b	56.70 b
35 cm	19.48 b	65.51 b	59.28 b	35.60 b	21.06 b	87.05 b	55.85 b

*اعداد دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD ($p\leq0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

*Means in each column with similar letter are not significantly different based on LSD Test ($p\leq0.05$).

کمترین درصد کاهش تعداد خوشه در واحد سطح در تیمارهای کاربرد علف‌کش پندیمتالین و اختلاط‌های علف‌کشی پروپانیل + سینوسولفورون، کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون و ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون مشاهده شد (جدول ٤). بین تیمارهای کاربرد علف‌کش بنتازون، کاربرد اکسادیارژیل و عدم کنترل علف‌های هرز اختلافی از نظر تعداد خوشه در واحد سطح وجود نداشت. این کاهش شدید در تعداد خوشه در واحد سطح را می‌توان به عدم کارایی علف‌کش‌های بنتازون و اکسادیارژیل و در نتیجه رقابت شدید علف‌های هرز و محدودیت منابع نسبت داد.

کمترین درصد کاهش تعداد دانه در خوشه در تیمارهای کاربرد ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون و پروپانیل + سینوسولفورون و بیشترین درصد کاهش مربوط به تیمار کاربرد علف‌کش اکسادیارژیل و عدم کنترل علف‌های هرز بود. تاثیر کاربرد علف‌کش‌های پروپانیل + سینوسولفورون، کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون و پندیمتالین بر تعداد دانه در خوشه مشابه بود. درصد کاهش تعداد دانه در خوشه با کاربرد علف‌کش بنتازون در حدود ۵۱ درصد بود. کاهش تعداد دانه در خوشه در حضور علف‌های هرز را می‌توان این گونه توجیه کرد که با افزایش سایه‌اندازی در درون و بالای کانوپی کارایی فتوسنتز گیاه زراعی کاهش یافته و در اثر شدت رقابت، تخصیص اسیمیلات به اندام زایشی کاهش می‌یابد.

کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، پروپانیل + سینوسولفورون و ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون منجر به کمترین درصد کاهش وزن هزار دانه نسبت به شاهد عاری از علف‌هرز شد. تاثیر کاربرد علف‌کش‌های پندیمتالین و بنتازون بر درصد کاهش وزن هزار دانه مشابه بود. بطور همسان، کاربرد علف‌کش اکسادیارژیل و عدم کنترل علف‌های هرز منجر به بیشترین درصد کاهش وزن هزار دانه برنج شدند. وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم موثر بر عملکرد دانه برنج است. آزمایش‌های مختلف نشان داده است که به‌طور معمول وزن هزار دانه کمتر تحت تاثیر رقابت علف‌های هرز قرار می‌گیرد و تراکم علف‌هرز تاثیر قابل توجهی بر وزن هزار دانه گیاه زراعی نداشته است (۷، ۱۸، ۱۹). میانگین بارندگی ماهانه در مهرماه سال آزمایش که مصادف با زمان پر شدن دانه برنج بود، بیشتر از حالت معمول بود (شکل ۱). از این رو، بخشی از افت وزن دانه مربوط به شرایط آب و هوایی خاص در این سال زراعی بود. با این حال، کاهش وزن هزار دانه در این مطالعه می‌تواند مرتبط با شدت رقابت و محدودیت

منابع باشد. فروغی و همکاران (۲۰۱۳) نیز کاهش وزن هزار دانه کنجد در رقابت با توق را گزارش کرد (۱۲).

کمترین درصد کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک برنج مربوط به تیمارهای کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی ستوکسیدیم سدیم + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون، پروپانیل + سینوسولفورون و کلودینافوپ پروپارژیل + "بروماکسینیل + ام. سی. پی. آ" + بنتازون بود. درصد کاهش عملکرد برنج در تیمار کاربرد علف‌کش اکسادیارژیل مشابه با شرایط عدم کنترل علف‌های هرز بود. درصد کاهش عملکرد برنج با کاربرد علف‌کش‌های پندیمتالین و بنتازون به ترتیب در حدود ٦٧ و ۹۲ درصد بود. بیشترین درصد کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز مشاهده شد. درصد کاهش عملکرد اقتصادی برنج نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز در تمام تیمارها بیشتر از درصد کاهش عملکرد بیولوژیک بود. حساسیت بیشتر عملکرد دانه به تنش رقابت علف‌های هرز نسبت به عملکرد بیولوژیک را می‌تواند مرتبط با حساسیت بیشتر رشد زایشی گیاهان به تنش‌ها در مقایسه با رشد رویشی و کوتاه‌تر بودن طول دوره تشکیل اجزای عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک باشد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی میزان کاهش ارتفاع بوته‌های برنج بسیار کمتر از کاهش تعداد پنجه در بوته بود. کمترین میزان کاهش ارتفاع و تعدادپنجه در بوته در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین، کمترین میزان افت افت عملکرد و اجزای عملکرد در فاصله ردیف کمتر مشاهده شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که می‌توان از راهکار کاهش فاصله ردیف به‌عنوان جزئی از مدیریت تلفیقی علف‌های هرز در کشت مستقیم برنج سود برد. برخلاف علف‌کش اکسادی‌آرژیل، کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی مورد ارزیابی در این تحقیق باعث کمترین اختلاف بین شاخص‌های رشدی و عملکرد برنج در مقایسه با شاهد عاری از علف‌هرز شد. در این مطالعه، افت عملکرد برنج در کرت‌های آلوده به علف‌هرز در حدود ۹۸ درصد بود. با در نظر گرفتن چنین افت عملکردی در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز، افت عملکرد بدست آمده با تنها یک مرتبه کاربرد اختلاط‌های علف‌کشی در طی فصل رشد رضایت بخش به نظر می‌رسد.

منابع

1. Akobundu, I.O., and Ahissou, A. 1985. Effect of interrow spacing and weeding frequency on the performance of selected rice cultivars on hydromorphic soils of West Africa. Crop Prot. 4:71-76.
2. Azmi, M., and Johnson, D.E. 2009. Crop establishment options for lowland irrigated rice in relation to weed infestation and grain yield. J. Trop. Agric. Food Sci. 37:111-117.
3. Chauhan, B.S. 2012. Weed ecology and weed management strategies for dry-seeded rice in Asia. Weed Technol. 26:1-13.
4. Chauhan, B.S., and Johnson, D.E. 2010a. The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. Adv. Agron. 105:221-262.
5. Chauhan, B.S., and Johnson, D.E. 2010b. Implications of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Echinochloa crus-galli* emergence for weed growth and crop yield loss in aerobic rice. Field Crops Res. 117:177-182.
6. Chauhan, B.S., and Johnson, D.E. 2011a. Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. Field Crops Res. 121:226-231.
7. Chauhan, B.S., and Johnson, D.E. 2011b. Growth response of direct-seeded rice to oxadiazon and bispyribac-sodium in aerobic and saturated soils. Weed Sci. 59:119-122.
8. Chauhan, B.S., Singh, V.P., Kumar, A., and Johnson, D.E. 2011. Relations of rice seeding rates to crop and weed growth in aerobic rice. Field Crops Res. 121:105-115.
9. Ekeleme, F., Kamara, A.Y., Oikeh, S.O., Omoigui, L.O., Amaza, P., Abdoulaye, T., and Chikoye, D. 2009. Response of upland rice cultivars to weed competition in the savannas of West Africa. Crop Prot. 28:90-96.
10. Farooq, M., Siddique, K.H.M., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.J., and Wahid, A. 2011. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. Soil Tillage Res. 111:87-98.
11. Fischer, A.J., Ramirez, H.V., Gibson, K.D., and Pinhjeiro, S.B. 2001. Competitiveness of semidwarf upland rice cultivars against Palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and Signalgrass (*B. decumbens*). Agron. J. 93:967-973.
12. Foroghi, A., Gherkhlo, J., and Ghaderifar, F. 2013. Row spacing and common cocklebur interference effect on grain yield and its components of two sesame cultivars in Gorgan. EJCP. 6:101-116.
13. Ishaya, D.B., Dadari, S.A., and Shebayan, J.A.Y. 2007. Evaluation of herbicides for weed control in three varieties of upland rice (*Oryza sativa* L.) in the Nigerian Savannah. Crop Prot. 26:1490-1495.
14. Kumar, V., and Ladha, J.K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. Adv. Agron. 111:299-391.
15. Lampayan, R.M., Bouman, B.A.M., de Dios, J.L., Espiritu, E.J., Soriano, J.B., Lactaoen, A.T., Faronilo, J.E., and Thant, K.M. 2010. Yield of aerobic rice in rainfed lowlands of the Philippines as affected by nitrogen management and row spacing. Field Crops Res. 116:165-174.
16. Mahajan, G., and Chauhan, B.S. 2011. Effects of planting pattern and cultivar on weed and crop growth in aerobic rice system. Weed Technol. 25:521-525.

17. Namuco, O.S., Cairns, J.E., and Johnson, D.E. 2009. Investigating early vigour in upland rice (*Oryza sativa* L.): Part I. Seedling growth and grain yield in competition with weeds. Field Crops Res. 113:197-206.
18. O'Donovan, J.T., Harker, K.N., Newman, J.C., and Hall, L.M. 2001. Barley seeding rate influences the effects of variable herbicide rates on wild oat. Weed Sci. 49:746-754.
19. Olsen, J.M., Kristensen, L., Weiner, J., and Griepentrog, H.W. 2005. Increased density and spatial uniformity increases weed suppression by spring wheat (*Triticum aestivum* L.).Weed Res. 45:316-321.
20. Rao, A.N., Johnson, D.E., Sivaprasad, B., Ladha, J.K., and Mortimer, A.M. 2007. Weed management in direct-seeded rice. Adv. Agron. 93:153-255.
21. Singh, S., Bhushan, L., Ladha, J.K., Gupta, R.K., Rao, A.N., and Sivaprasad, B. 2006. Weed management in dry-seeded rice (*Oryza sativa*) cultivated in the furrow-irrigated raised-bed planting system. Crop Prot. 25:487-495.
22. Weerakoon, W.M.W., Mutunayake, M.M.P., Bandara, C., Rao, A.N., Bhandari, D.C., and Ladha, J.K. 2011. Direct-seeded rice culture in Sri Lanka. Field Crops Res. 121:53-63.
23. Yin, X., Gouadrian, J., Latinga, E.A., Vos, J., and Spiertz, J.H. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. Ann. Bot. 91:361-371.