نشریه علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳ (ص ۱۶۰-۱۴۷)

کارایی مصرف نور ارقام برنج در سیستم‌های کشت مستقیم و نشایی در وضعیت تداخل با علف‌های هرز

افراسیاب علا[۱]، مجید آقاعلیخانی[۲*]، بهمن امیری لاریجانی[۳] و سعید صوفی‌زاده[۴]
۱ و ۲، دانشجوی دکتری و دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ۳، عضو هیئت علمی مرکز ترویج و توسعهٔ تکنولوژی هراز، ایران، ۴، استادیار، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۸ – تاریخ تصویب: ۹۳/۲/۳)

چکیده

برای ارزیابی کارایی مصرف نور سه رقم برنج در دو سیستم کشت نشایی و مستقیم و بررسی تأثیر علف هرز، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز واقع در محمودآباد مازندران اجرا شد. کرت‌های اصلی دو سیستم کشت نشایی و مستقیم و کرت‌های فرعی سه رقم برنج در دو وضعیت با علف هرز و بدون آن بودند. نتایج نشان داد کارایی مصرف نور (RUE) و عملکرد دانه برنج در وضعیت تداخل علف هرز به‌ویژه در کشت مستقیم کاهش معناداری یافتند. میانگین RUE لاین ۸۴۳، رقم خزر و رقم طارم به ترتیب در کشت عاری از علف هرز ۳/۱۸، ۳/۲۲ و ۲/۶۹ و در وضعیت تداخل ۳/۰۸، ۲/۵۷ و ۲/۳۵ گرم بر مگاژول PAR جذبی بود. تفاوت عملکرد ارقام بیشتر به تفاوت در زیست‌توده و شاخص برداشت مربوط بود و با RUE ارتباطی نداشت. ضریب استهلاک نوری (K) طارم، خزر و لاین ۸۴۳ به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۴ بود. در وضعیت تداخل بالای علف هرز (همانند کشت مستقیم)، رقم طارم به دلیل ارتفاع بیشتر بوته و K بزرگ‌تر موجب فرونشانی بیشتر علف هرز و اُفت کمتر عملکرد گردید. در وضعیت نبود تداخل و تداخل خفیف علف هرز (همانند کشت نشایی)، لاین ۸۴۳ به دلیل K کوچک‌تر، سطح برگ بیشتر و شاخص برداشت بالاتر (بیشتر)، عملکرد بیشتری تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: جذب نور، زیست‌توده، شاخص برداشت، عملکرد.

مقدمه

رقابت بین گونه‌ای برای دریافت منابع ضروری رشد گیاه (نور، آب و مواد غذایی) از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کنندهٔ عملیات سیستم‌های کشاورزی است. در زراعت برنج، نشاکاری، مدیریت خوب آب، وجین دستی و کاربرد علف‌کش‌های مناسب، تداخل علف‌های هرز را کاهش می‌دهند. با این حال علف‌های هرز همواره افت عملکرد درخور توجهی را به مزرعه تحمیل می‌کنند، به‌ویژه این کاهش عملکرد در کشت مستقیم بذر که برای رشد اولیه و استقرار به آب کمتری نیاز دارد، شدیدتر است (Chauhan & Johnson, 2010b). مدیریت علف‌های هرز در برنج بیشتر به مصرف علف‌کش وابسته است. لیکن تأثیر سوء علف‌کش‌ها بر محیط زیست، امکان تغییر فلور علف‌های هرز و ایجاد بیوتیپ‌های مقاوم به علف‌کش‌ها نگرانی‌هایی در زمینهٔ اتکا به روش‌های کنترل شیمیایی علف‌های هرز ایجاد کرده است (Rao *et al*., 2007).

مطالعات مختلف از توان رقابتی متفاوت ارقام برنج با علف هرز حاکی است. استفاده از ارقام با توان رقابت بالا، ابزاری مطمئن برای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز محسوب می‌شود (Haefele *et al*., 2004). توانایی رقابتی فقط تحت وضعیت رقابت تعیین می‌شود و توان رقابتی مختلف ارقام به تفاوت در ویژگی‌های مورفولوژی تغییرناپذیر همچون ارتفاع، تعداد پنجه و ساختار کانوپی نسبت داده شده است (Haefele *et al*., 2004). بر همین

تلفن: ۰۹۱۲۲۶۰۹۶۵۹ E-mail:maghaalikhani@modares.ac.ir

اساس برخی محققان توان رقابتی برنج را با خصوصیات منتهی به جذب نور بیشتر مرتبط دانستند و اظهار کردند برنج و علف هرز قبل از هر چیز برای کسب نور با یکدیگر رقابت می‌کنند (Fofana & Rouber , 1999).

رقابت برای جذب نور متأثر از شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نور(K) و میزان سایه‌اندازی علف‌های هرز روی گیاه زراعی است (Tollenaar *et al*., 1994). این شاخص که نشان‌دهندهٔ میزان نفوذ نور به داخل کانوپی است، به وضعیت مورفو فیزیولوژیک گیاه وابسته است و در طول فصل رشد بسته به مرحلهٔ نموی گیاه تغییر می‌کند (Boschetti *et al*., 2006). علاوه بر شاخص سطح برگ، شیب برگ، زاویهٔ برگ و الگوی توزیع برگ‌ها در داخل کانوپی، عواملی مانند سایه‌اندازی خوشه‌ها و زاویهٔ تابش خورشید نیز بر تغییرات ضریب استهلاک نوری تأثیر دارند (Yin-fa *et al*., 1997). هر چه مقدار عددی K بزرگ‌تر باشد، جذب نور به وسیلهٔ لایه‌های بالایی کانوپی بیشتر است و مقدار کوچک‌تر K موجب نفوذ بیشتر نور به داخل کانوپی می‌شود و به این ترتیب نور در سطح برگ بیشتری دریافت می‌شود و کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد (Kiniry *et al*., 2001). در شکل‌گیری عملکرد دانه گیاهان زراعی عواملی همچون میزان انرژی نورانی در دسترس و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه همانند میزان جذب نور، کارایی تبدیل نور جذب‌شده به زیست‌توده (RUE) و سهم زیست‌توده در دانه (HI) نقش دارند (Long *et al*., 2006). وجود رابطهٔ خطی بین تجمع زیست‌توده و تشعشع تجمعی در بسیاری از گیاهان زراعی به اثبات رسیده است (Sinclair & Muchow, 1999) و ارزیابی RUE، راهکاری مؤثر و کارامد برای کمی‌کردن تجمع مادهٔ خشک معرفی شده است. این نسبت به‌صورت افزایش مادهٔ خشک به ازای جذب هر واحد تابش فعال فتوسنتزی (PAR) تعریف می‌شود و در واقع شیب خط رگرسیون بین این دو متغیر است (Monteith, 1977).

بیشتر مواقع جذب نور در طول دورهٔ رشد تغییر می‌کند و RUE با توسعهٔ کانوپی در طول فصل رشد و افزایش سطح برگ کاهش می‌یابد و روند کاهشی بعد از گرده‌افشانی معنادار است. به عبارت دیگر بیشترین کارایی مصرف نور زمانی حاصل می‌گردد که گیاه در سریع‌ترین مرحلهٔ رشد خود قرار دارد (Gallagher & Biscoe, 1978). مقایسهٔ RUE ذرت، سویا و برنج نشان داد که به رغم نبود مسیر فتوسنتزی C4، گیاه برنج به دلیل تولید زیاد کربوهیدرات، RUE بالاتری در مقایسه با سایر C3ها دارد (Sinclair & Muchow, 1999). ایشان بیشینهٔ کارایی مصرف نور پتانسیل برنج را در حدود ۱/۵ گرم بر مگاژول بر اساس تشعشع خورشیدی جهانی (معادل ۲/۹ گرم بر مگاژول بر اساس PAR) پیشنهاد کردند. در مطالعات مختلف میزان RUE برنج متفاوت گزارش شده است. دلیل این اختلاف را می‌توان به نحوهٔ اندازه‌گیری تشعشع (مجموع تشعشع یا PAR)، نحوهٔ محاسبه PAR از مجموع تشعشع یا تغییرات تشعشع جذبی در طول فصل رشد، اختلاف بین تشعشع دریافت‌شده توسط گیاه با مقدار تشعشع جذب‌شده، درنظرگرفتن یا صرف‌نظرکردن از سهم زیست‌تودهٔ ریشه در زیست‌تودهٔ کل گیاه، اندازه‌گیری بین دو مرحلهٔ متوالی یا کل دورهٔ رشد، مکان‌های مختلف اندازه‌گیری، حجم نمونه‌های اندازه‌گیری، دما و در نهایت وضعیت مواد غذایی و آب در دسترس گیاه (Sinclair & Muchow, 1999) نسبت داد.

علف‌های هرز همواره به عنوان یک عامل تنش‌زای زنده در مطالعات بیولوژی مطرح بوده‌اند که می‌توانند بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی تأثیر بگذارند. چنانکه گفته شد، RUE رهیافتی مهم برای فهم رشد و عملکرد محصول است و بیشتر برای توضیح محدودیت‌های رشد استفاده می‌شود. بسیاری از تفاوت‌های رقابتی گیاهان به اختلاف آنها در RUE مربوط است (Doll, 1997). به عبارت دیگر میزان کاهش عملکرد گیاهان زراعی در وضعیت با تداخل علف هرز به میزان تسهیم نور ورودی در مزرعه بین گیاه زراعی و علف هرز بستگی دارد. تاکنون مطالعات چندانی دربارهٔ کارایی مصرف نور در گیاه برنج و نقش آن در رقابت با علف هرز در جهان انجام نگرفته و در ایران نیز نادر است. این تحقیق با هدف مطالعه توان رقابت یک رقم بومی و دو رقم اصلاح‌شده برنج با علف هرز در دو سیستم نشاکاری و کشت مستقیم برنج و مقایسه ویژگی‌های رشدی، ضریب استهلاک نور، کارایی مصرف نور و عملکرد این ارقام در وضعیت وجود و نبود علف‌های هرز انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعهٔ پژوهشی مرکز ترویج و توسعهٔ تکنولوژی هراز واقع در محمودآباد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۹ دقیقهٔ شرقی و هم‌تراز با سطح دریا (ارتفاع صفر) اجرا شد. نتیجهٔ تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مکان مورد آزمایش و مواد غذایی موجود در آن قبل از شخم اولیه در جدول ۱ آمده است. بر اساس آزمون خاک بافت خاک مزرعهٔ لومی بود. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی به دو سیستم کشت نشایی و مستقیم و کرت‌های فرعی به سه رقم مختلف برنج تحت دو روش مدیریت علف هرز (با و بدون علف هرز) اختصاص یافتند. علاوه بر آن در هریک از کرت‌های اصلی، برای محاسبهٔ ضریب استهلاک نوری علف‌های هرز، یک کرت نیز علف هرز خالص در نظر گرفته شد. براساس گروه‌بندی امین پناه (۲۰۰۹) در غرب استان مازندران در وضعیت نشاکاری، سه رقم برنج تیپ هندی با دامنهٔ متفاوتی از رقابت با علف هرز، شامل دو رقم اصلاح‌شده به نام‌های لاین ۸۴۳ و خزر و یک رقم محلی به نام طارم دیلمانی برای این آزمایش برگزیده شدند.

جدول ۱. نتیجهٔ تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۰

عمق (سانتی‌متر)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسیدیته گل اشباع	مواد خنثی شونده (درصد)	کربن آلی (درصد)	مواد آلی (درصد)	درصد اشباع
۰-۲۰	۲۶	۳۶	۳۸	لوم	۰/۶۱	۷/۶۱	۱۲	۱/۹۱	۳/۲۹	۷۱

عمق (سانتی‌متر)	نیتروژن کل (درصد)	P (قابل جذب)	K (قابل جذب)	Fe	Mn	Zn	Cu
		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
۰-۲۰	۰/۱۹	۶/۳	۱۵۸	۵۸/۲	۱۲/۲	۳/۵	۵/۳

بعد از آماده‌سازی زمین و پس از رسیدن دمای کمینهٔ محیط به بیش از ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد در ۱۱ اردیبهشت بذرکاری کشت مستقیم در بستر مرطوب در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۶ متر و به فواصل خطوط ۲۵×۲۰ سانتی‌متر (در ۲۰ ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر) و طول ۶ متر کشت شدند. برای روش نشاکاری بذرپاشی در خزانه سنتی در ۲۵ فروردین انجام گرفت و بر اساس وضعیت جوی کشت نشا در زمین اصلی به همان فواصل در ۳۰ اردیبهشت ۹۰ اجرا شد. در کشت نشایی دو بوته در هر کپه نشا شدند و در کشت مستقیم پنج بذر جوانه‌دار در هر کپه کشت شدند که بعد از دو هفته با تنک‌کردن به دو بوته کاهش یافتند.

در این مطالعه علف‌های هرز از بانک بذری خاک روییدند و آلودگی مصنوعی انجام نشد. در کرت‌های منتسب به حضور علف هرز، در سیستم نشایی هیچ‌گونه عملیات کنترل علف‌های هرز انجام نشد، اما در کشت مستقیم یک بار وجین دستی در سه هفته بعد از بذرکاری (Zhao *et al*., 2006a) اجرا شد و بعد از آن تا آخر فصل رشد به علف‌های هرز اجازهٔ رشد داده شد. در کرت‌های بدون علف هرز، در هر دو سیستم با یک بار کاربرد علف‌کش ماچتی (Butachlor EC 60%) به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار قبل از کشت و وجین دستی در طول فصل رشد، مزرعه عاری از علف هرز نگه داشته شد. آبیاری در کشت نشایی طبق روش معمول منطقه (غرقابی) بود اما در کشت مستقیم آبیاری تا مرحله ۲/۵ برگی به‌صورت کرتی و غیرغرقابی بود و بعد از آن همانند کشت نشایی آبیاری غرقابی انجام گرفت. کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های فنی به ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه قبل از بذرپاشی و نشاکاری استفاده شد و برای ارقام اصلاح‌شده علاوه بر کود پایه، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز کود اوره به‌صورت سرک در دو مرحله (پنجه‌دهی و تشکیل خوشهٔ اولیه) به کار برده شد. برای پیشگیری از بیماری بلاست در رقم طارم از قارچ‌کش بیم (Tricyclazole) به میزان نیم لیتر در هکتار در ابتدای خوشه‌دهی و برای مبارزه با آفت کرم ساقه‌خوار برنج از سم فسفره دیازینون (Diazinon MAC EC 60%) به میزان یک لیتر در هکتار در دو مرحله (نسل‌های اول و دوم) به‌صورت محلول‌پاشی استفاده شد.

برای بررسی تغییرات شاخص سطح برگ و وزن خشک، پنج مرحله نمونه‌برداری در طول دورهٔ رشد به فواصل ۱۵ روز هم‌زمان در تمام تیمارها (شروع از چهار هفته بعد از کشت مستقیم و دو هفته بعد از نشاکاری) صورت گرفت. نمونه‌ها به‌طور تصادفی از سطح ۰/۵ مترمربع برداشت شدند و پس از تفکیک برنج و علف هرز، سطح برگ برنج و علف هرز (سوروف و اویارسلام) توسط دستگاه سطح‌برگ‌سنج (Li- Li-COR Inc., USA 3100,) اندازه‌گیری شد. وزن خشک نمونه‌ها بعد از قرارگرفتن آنها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد تعیین شد. در این تحقیق برای مطالعهٔ روند رشد گیاهی از زمان گرمایی (Termal Time) استفاده شد که در کشت مستقیم از زمان کاشت بذر در زمین اصلی و در کشت نشایی از زمان نشاکاری محاسبه شده است (رابطه ۱):

$$t_{TT} = \int_{t_i}^{T} (T_{eff} - \mathrm{Tb})\, \mathrm{dt} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن t_{TT} زمان گرمایی بین دو مرحلهٔ برداشت؛ t زمان پس از کاشت، Tb دمای پایه بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد؛ و T_{eff} دمای مؤثر دریافت‌شدهٔ روزانه است (رابطه ۲):

(رابطه ۲)

$$T_{eff} = \begin{cases} \overline{T} & \mathrm{Tb} \le \overline{T} \le T_0 \\ \mathrm{T0} - (\mathrm{T0} - \mathrm{Tb})\left(\dfrac{\overline{T} - \mathrm{T0}}{T_m - \mathrm{T0}}\right) & \mathrm{T0} < \overline{T} < \mathrm{Tm} \\ \mathrm{Tb} & \overline{T} \ge \mathrm{Tm}, \overline{T} < \mathrm{Tb} \end{cases}$$

که در آن $\overline{T}$ دمای میانگین روزانه؛ T_0 دمای بهینه؛ و T_m دمای بیشینه است. دمای پایه، مطلوب و بیشینه به ترتیب ۱۰، ۳۰ و ۳۶/۶ در نظر گرفته شد (Tang *et al*., 2009). با استفاده از مدل تجربی آنگستروم-پرسکات (Almorox *et al*., 2005)، میزان تشعشع روزانهٔ رسیده به سطح کانوپی (I_d، مگاژول در مترمربع) از طریق رابطه ۳ محاسبه شد:

$$\frac{I_d}{I_{tot}} = a + b\frac{n}{N} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

در معادلهٔ فوق I_{tot} میزان تشعشع فرازمینی روزانه برای عرض جغرافیایی محل تحقیق؛ و N طول روز حقیقی است که با استفاده از نرم‌افزار (Photoperiod & Solar Radiation Caculator) محاسبه شدند. a وb ضرایب تجربی آنگستروم هستند که بنا به واسنجی معینی و همکاران (۱۳۸۹) بر اساس اقلیم منطقهٔ مورد تحقیق، به ترتیب ۰/۳۶۰ و ۰/۳۵۹ در نظر گرفته شدند. nساعات آفتابی واقعی است که از ایستگاه هواشناسی محل تحقیق استخراج شد.

هم‌زمان با اندازه‌گیری سطح برگ، مقدار نور رسیده به بالای کانوپی از طریق نصب سنسور تشعشع نوری (Sunshine Sensor, type BF3, Delta-T Devices, UK) روی سه پایه در کنار کرت‌ها و مقدار نور کف کانوپی از دستگاه تشعشع‌سنج لوله‌ای (SunScan, Delta-T Devices, UK) در ظهر خورشیدی (بین ساعت ۱۱ تا ۱۳) در وضعیت آسمان بدون ابر در هر تیمار، اندازه‌گیری شد. میزان نور دریافتی توسط کانوپی (RIC: Radiation Interception Canopy) با استفاده از رابطه ۴ و ضریب استهلاک نوری (K) کل دورهٔ رشد با رگرسیون‌گیری از لگاریتم طبیعی میزان نور عبورکرده از کانوپی (I_i/I_o) در برابر شاخص سطح برگ در تیمارهای خالص (برنج و علف هرز) بر مبنای معادلهٔ لامبرت-بیر از طریق رابطه ۵ محاسبه شدند (O'Connel *et al*, 2004).

$$\%\ \mathrm{RIC} = (1 - I_i / I_o) \times 100 \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$K = -\ln(I_i / I_o) \times \mathrm{LAI}^{-1} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در معادله‌های بالا I_i بیانگر میزان تشعشع در کف کانوپی؛ Io بیانگر میزان تشعشع در بالای کانوپی؛ و LAI بیانگر شاخص سطح برگ است. برآورد میزان شاخص سطح برگ روزانه (L) از طریق برازش رابطه ۶ به دست آمد:

(رابطه ۶)

$$L = a + b(t_{TT}) + c(t_{TT})^2$$

که در آن a عرض از مبدأ ؛ و b و c ضرایب معادله هستند. میزان تشعشع جذب‌شدهٔ روزانه برنج براساس

روابط ۷ تا ۹ محاسبه شد (Francescangeli *et al.*, 2006):

$$I_r = I_d\,(1-\exp(-K_r.L_r)) \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

$$I_{abs} = I_d\,(1-\exp((-K_r.L_r) + (-K_w.L_w))) \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

$$I_{rc} = I_{abs}\ \frac{(-K_r.L_r)}{(-K_r.L_r)+(-K_w.L_w)} \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

در معادلات بالا I_d میزان تشعشع روزانه در بالای کانوپی؛ I_{abs} تشعشع جذب‌شده توسط کانوپی مخلوط؛ I_r و I_{rc} تشعشع جذب‌شده توسط برنج به‌ترتیب در وضعیت‌های عاری از علف هرز و با تداخل علف هرز؛ L_r و L_w به‌ترتیب شاخص سطح برگ برنج و علف هرز؛ و K_r و K_w به‌ترتیب ضریب استهلاک نور برنج و علف هرز در تیمارهای خالص هستند.

برای مقدار تجمعی تشعشع جذب‌شده در هر دوره نمونه‌برداری و کل دوره رشد، از انتگرال تشعشع جذب‌شده در هر روز استفاده شد. مجموع تشعشع جذبی در هر مرحله با استفاده از ضریب ۰/۵ به تشعشع فعال فتوسنتزی (Monteith, 1977) تبدیل شد. در نهایت کارایی مصرف نور برنج (RUE ، گرم بر مگاژول) از شیب خط رگرسیونی برازش‌یافته، بین زیست‌تودهٔ تجمعی به عنوان متغیر وابسته، در مقابل تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شده تجمعی در طول دورهٔ رشد به دست آمد (Sinclair & Muchow, 1999). در زمان رسیدگی برنج از مرکز هر کرت مساحتی به اندازه ۴ مترمربع برداشت و عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴درصد محاسبه شد. در همان زمان به‌منظور محاسبهٔ زیست‌تودهٔ برنج و شاخص برداشت به‌طورتصادفی از سطح ۰/۲۵ مترمربع بوته‌های برنج کف‌بر شدند (Zhao *et al.*, 2006a). پس از محاسبهٔ وزن خشک دانه‌های پر و اندام هوایی، شاخص برداشت بر اساس نسبت (درصد) وزن دانه‌های پر به وزن کل اندام هوایی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و برای هر اثر اصلی و اثر متقابل که F test معنادار ($P\leq0.05$) بود، مقایسهٔ میانگین با آزمون LSD صورت گرفت و نمودارها به کمک نرم‌افزار SigmaPlot 11.0 رسم شد.

نتایج و بحث

زیست‌تودهٔ علف هرز

در طول فصل رشد زیست‌تودهٔ علف‌های هرز در بین دو سیستم کشت تفاوت معناداری داشتند (جدول ۲) و میزان آن در کشت مستقیم خیلی بیشتر از کشت نشایی بود (جدول ۳). دلیل بالابودن زیست‌تودهٔ علف هرز در کشت مستقیم، نبود فشار آب بر علف هرز در ابتدای رشد و نیز تقدم یا هم‌زمانی ظهور علف هرز در مقایسه با برنج بوده است که با یافته‌های محققان (Moody, 1983; Chauhan & Johnson, 2010b) هم‌خوانی دارد. نبود تفاوت معنادار زیست‌تودهٔ علف‌های هرز در مراحل ابتدایی رشد در بین ارقام (جدول ۲)، حاکی از یکنواختی تقریبی بانک بذری علف هرز در ابتدای آزمایش بوده است، اما با گذشت زمان بسته به قدرت رقابت ارقام و نوع سیستم کشت، میزان زیست‌تودهٔ علف هرز تغییر یافت.

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) فاکتورهای آزمایشی برای صفات زیست‌تودهٔ علف هرز در ابتدا و انتهای رشد برنج، ضریب استهلاک نوری، عملکرد، شاخص برداشت و ارتفاع نهایی بوتهٔ برنج

منابع تغییرات	d.f	زیست‌تودهٔ ابتدایی علف هرز	زیست‌تودهٔ نهایی علف هرز	ضریب استهلاک نوری	عملکرد برنج	شاخص برداشت	ارتفاع نهایی برنج
سیستم کشت	۱	۱۰۰۰۰۳۸/۶۵ **	۱۵۲۹۶۳۶۹۲/۵ **	۰/۰۰۲ ns	۳۶۱۶۳۱۴۴/۴۲ **	۲/۰۹ ns	۷۸۸/۶۷ **
رقم	۲	۵۴۲/۷۳ ns	۳۹۳۷۸۲۸/۲ **	۰/۱۳۷ **	۱۵۰۶۶۵۱۵/۴۳ **	۱۴۴/۶۵ **	۳۴۳۲/۹۱ **
علف هرز	۱	-	-	-	۵۲۰۵۹۹۷۶/۸۷ **	۰/۰۸ ns	۳۰۹/۱۷ *
رقم × سیستم	۲	۷۹/۳۹ ns	۳۹۳۳۳۸۸/۹ **	۰/۱۵۱ ns	۳۲۹۸۱۹۷/۵۵ **	۸/۸۹ ns	۱۶/۶۴ ns
علف هرز × سیستم	۱	-	-	-	۲۰۵۵۵۹۷۷/۱۸ **	۴/۵۴ ns	۱۳۰/۳۴ ns
علف هرز × رقم	۲	-	-	-	۱۶۹۵۵۲۸/۶۴ *	۱/۰۰ ns	۲۴۸/۶۸ *
علف هرز × رقم × سیستم	۲	-	-	-	۹۷۶۶۲۶/۸۶ ns	۰/۷۱ ns	۴۶/۵۵ ns
ضریب تغییرات		۲۱/۷۱	۱۱/۵۴	۱۴/۶۴	۱۴/۰۴	۷/۶۱	۵/۴۶

* و ** به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنادار است. ns : معنادار نیست.

در کشت نشایی لاین ۸۴۳ و در کشت مستقیم رقم طارم قدرت بیشتری در فرونشانی علف‌های هرز داشتند (جدول ۳). در آزمایش حاضر، در هر دو روش کشت از نظر زیست‌توده بیشتر دو گونه سوروف (*Echinochloa cruss-glli* and *E. colonum*) علف هرز غالب مزرعه بودند و سه گونه جگن شامل اویارسلام بذری (*Cyperus difformis*)، پیزور درشت بذر (*Scirpus mucronatus*) و پیزور دریایی (*Scirpus maritimus*) بقیهٔ زیست‌تودهٔ علف هرز را به خود اختصاص دادند و سایر علف‌های هرز از نظر زیست‌توده اهمیت ناچیزی داشتند.

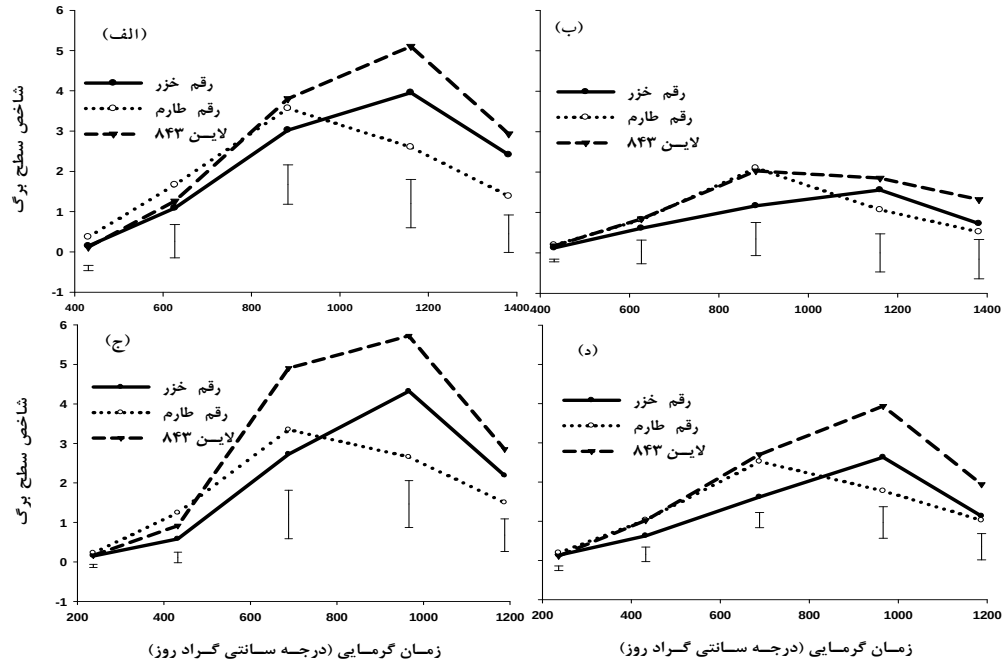
جدول ۳. مقایسهٔ میانگین زیست تودهٔ علف‌های هرز مزرعه به تفکیک سیستم کشت و رقم در ابتدا (دو هفته بعد از نشاکاری یا چهار هفته بعد از کشت مستقیم) و انتهای فصل رشد برنج

منبع تغییر	زیست‌تودهٔ علف هرز (کیلوگرم در هکتار)[a]			
	ابتدای فصل رشد		انتهای فصل رشد	
سیستم کشت				
مستقیم	۲۰۴/۴ a		۷۴۴۴/۱ a	
نشایی	۵۵/۳ b		۱۶۱۳/۹ b	
	کشت مستقیم	نشاکاری	کشت مستقیم	نشاکاری
رقم				
خزر	۲۱۱/۷ a	۶۷/۵ a	۸۳۹۰/۰ a	۲۱۳۲/۰a
لاین ۸۴۳	۲۰۲/۱ a	۵۶/۵ a	۸۲۶۳/۸ a	۱۰۷۱/۰b
طارم	۱۹۹/۳ a	۴۱/۹a	۵۶۷۸/۶ b	۱۶۳۸/۶ab

a در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد فقط در مراحل سوم و چهارم نمونه‌برداری سیستم کشت نشایی به‌طور معناداری سطح برگ بیشتری در مقایسه با کشت مستقیم داشت، همچنین در تمام تیمارها تداخل علف هرز موجب کاهش معنادار سطح برگ ارقام گردید. لیکن در بیشتر مراحل نمونه‌برداری اثر متقابل بین سیستم کشت با رقم، سیستم کشت با علف هرز و نیز علف هرز با رقم معنادار بود، به همین دلیل روند تغییرات شاخص سطح برگ به تفکیک سیستم کشت و علف هرز در شکل ۱ بررسی شد.



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام برنج به تفکیک سیستم کشت مستقیم بدون تداخل علف هرز (الف)، کشت مستقیم با تداخل علف هرز (ب)، کشت نشایی بدون تداخل علف هرز (ج) و کشت نشایی با تداخل علف هرز (د). ستون‌های عمودی بیانگر حداقل اختلاف معنادار (LSD) بین ارقام در سطح ۵ درصد است.

در تمام تیمارها لاین ۸۴۳ سطح برگ بیشتری از ارقام داشت، این برتری از اواسط فصل رشد به بعد عمدتاً معنادار بود، اما در وضعیت تداخل علف هرز در کشت مستقیم معنادار نبود. بالاترین شاخص سطح برگ برنج به میزان ۵/۷۲ مربوط به لاین ۸۴۳ در وضعیت عاری از علف هرز در کشت نشایی حاصل شد و رقم خزر و طارم به ترتیب در رتبه‌های بعدی جای داشتند (شکل ۱). لاین ۸۴۳ همواره سطح برگ بیشتری از رقم طارم داشت، اما در کشت مستقیم عملکرد بیشتری در مقایسه با طارم نداشت. این فرض، فرضی معمول ولی نادرست است که سطح برگ بیشتر می‌تواند برای هر گونه رقیب یک امتیاز به شمار آید، بلکه ارتفاع گیاه و توزیع عمودی سطح برگ نیز در این امر دخیل است (Waker *et al.*, 1988). این نتایج حاکی از آن است در وضعیت تداخل شدید علف هرز پتانسیل برتری لاین ۸۴۳ بروز نمی‌کند.

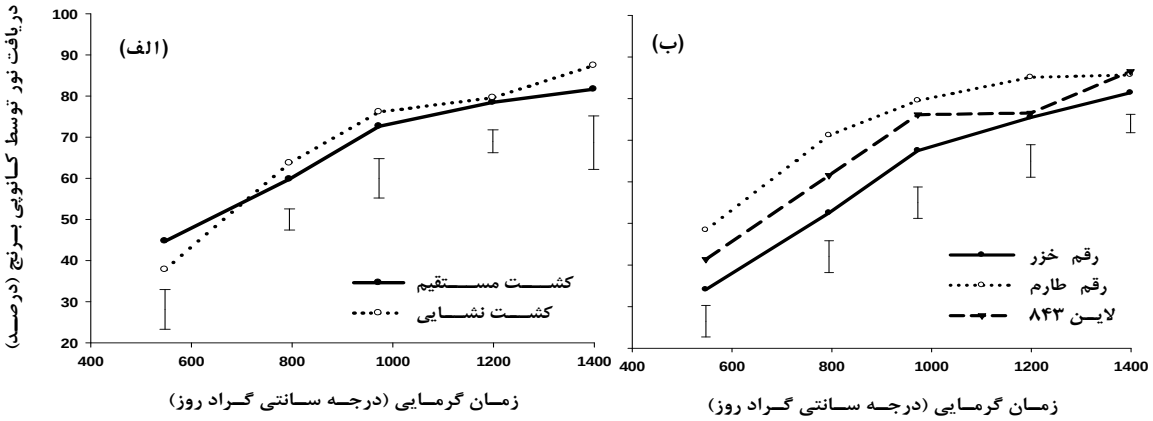
سطح برگ رقم طارم در ابتدای رشد در تمام تیمارها آهنگ رشد سریع‌تری نسبت به دو رقم دیگر (به‌ویژه رقم خزر) داشت و زودتر کانوپی خود را بست، اما به دلیل زودرسی (۱۰-۷ روز در مقایسه با دو رقم دیگر)، روند نزولی سطح برگ آن زودتر از دو رقم دیگر آغاز شد. در وضعیت عاری از علف هرز، بیشینه سطح برگ طارم (۳/۵۶) کمتر از دو رقم دیگر بود، اما در وضعیت تداخل علف هرز سطح برگ آن از رقم خزر پیشی گرفت. رقم خزر گرچه در وضعیت عاری از علف هرز رتبه دوم سطح برگ را داشت (۴/۳۲)، اما در وضعیت تداخل علف هرز کمترین سطح برگ را به‌ویژه تا قبل از گل‌دهی داشت و مقاومت ضعیفی در برابر علف هرز از خود نشان داد. همان‌طور که اشاره شد به دلیل تداخل زیاد علف‌های هرز، سطح برگ کاهش چشمگیری در تمام تیمارها به‌ویژه در کشت مستقیم داشت (شکل ۱). محققان زیادی بر کاهش سطح برگ برنج در اثر تداخل علف‌های هرز اشاره کردند (Johnson *et al.*, 1998; Dingkuhn *et al.*, 1999; Heafele *et al.*, 2004; Aminpanah, 2009).

دریافت نور (Interception) به وسیلهٔ کانوپی برنج

هم‌زمان با افزایش سطح برگ، نور بیشتری نیز توسط کانوپی برنج دریافت شد، بعد از گل‌دهی روند افزایشی دریافت نور تا انتهای رشد کُند گردید (شکل ۲). در مقایسه بین دو سیستم کشت در مراحل ابتدایی رشد (همانند پنجه‌دهی) در کشت مستقیم و در اواسط فصل رشد به بعد در کشت نشایی، به دلیل سطح برگ بیشتر، نور بیشتری دریافت شده است. اما از نظر دریافت نور در کل دورهٔ رشد تفاوت معناداری بین دو سیستم کشت نشایی و مستقیم مشاهده نشد.

در تمام تیمارهای عاری از علف هرز، کانوپی رقم طارم در مقایسه با لاین ۸۴۳ و خزر نور بیشتری در کل فصل رشد دریافت کرده است (شکل ۲). دریافت نور بین رقم طارم و لاین ۸۴۳ اختلاف معناداری نداشت، ولی از ابتدا تا اواسط فصل رشد، رقم طارم به‌طور معناداری نور بیشتری از رقم خزر دریافت نمود. لاین ۸۴۳ به دلیل برخورداری از سطح برگ بیشتر، در کل فصل رشد نور کمتری در کف کانوپی آن در مقایسه با رقم خزر ثبت شد، اما اختلاف معناداری در دریافت نور بین این دو دیده نشد. لاین ۸۴۳ در تمام تیمارهای عاری از علف هرز در هنگام گل‌دهی (۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد-روز) روند دریافت نور به میزان جزئی کاهش و بعد از گل‌دهی دوباره افزایش یافت. دلیل احتمالی روند یادشده آن است که در لاین ۸۴۳ نقطه اوج سطح برگ قبل از گل‌دهی اتفاق می‌افتد و بعد از گل‌دهی هم به دلیل ظهور خوشه‌های برنج روند افزایشی دریافت نور توسط کانوپی ادامه می‌یابد. رقم طارم به دلیل توسعهٔ سریع‌تر سطح برگ (توانایی رشد سریع)، ارتفاع بیشتر بوته و زاویهٔ بیشتر برگ‌ها نسبت به افق، نور بیشتری را به‌ویژه در ابتدای رشد دریافت کرد. دریافت بیشتر نور به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد برای سبقت‌گرفتن و برتری بر علف‌های هرز در میدان رقابت بسیار مهم است. شاخص سطح برگ گیاه زراعی و تشعشع رسیده به علف هرز بیانگر توانایی گیاه در تسخیر تشعشع ورودی است. بنا به گزارش Crotser & witt (2000) هرچه شاخص سطح برگ گیاه زراعی بیشتر باشد، نور کمتری توسط علف‌های هرز دریافت می‌شود و در نتیجه توانایی تداخل علف هرز با گیاه زراعی کاهش می‌یابد. بنابراین هر عاملی که موجب کاهش این شاخص به کمتر از مقدار بهینهٔ خود شود، عملکرد را به‌طور مستقیم تحت تأثیر

قرار می‌دهد (Loomis *et al*., 1986). در انتهای فصل رشد به دلیل زودرسی رقم طارم و پیری برگ‌ها روند تثبیت دریافت نور زودتر از دو رقم دیگر آغاز شد. در کل بعد از گل‌دهی تفاوت معناداری در دریافت نور توسط کانوپی ارقام تحت آزمایش دیده نشد.



شکل ۲. روند دریافت نور توسط کانوپی ارقام برنج مورد تحقیق به تفکیک نوع سیستم کشت (الف) و ارقام (ب) در وضعیت کشت خالص. ستون‌های عمودی بیانگر حداقل اختلاف معنادار (LSD) بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

ضریب استهلاک نوری (K)

اختلاف ضریب استهلاک نور در دو سیستم کشت معنادار نبود (جدول ۲)، نبود تفاوت ضریب استهلاک نوری در دو سیستم کشت نشایی و مستقیم را قبلاً محققان دیگر (San-oh *et al*., 2004) نیز گزارش کرده‌اند. به نظر می‌رسد ضریب K بیشتر تحت تأثیر نوع رقم و ساختار کانوپی است. در تمام تیمارهای عاری از علف هرز ضریب K رقم طارم به‌طور معناداری بالاتر از دو رقم دیگر بود و از این نظر دو رقم خزر و لاین ۸۴۳ اختلاف معناداری با هم نداشتند (جدول ۴). در منابع مختلف میزان K گیاه زراعی برنج از ۰/۳۰ (Dingkuhn *et al*., 1999) تا ۰/۶۸ (Campbell, 2001) گزارش شد.

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین ضریب استهلاک نوری کانوپی (K) برنج به تفکیک سیستم کشت و رقم در طول دوره رشد

K	رقم	K[a]	سیستم کشت
۰/۴۵ b	خزر	۰/۵۲ a	مستقیم
۰/۴۴ b	لاین ۸۴۳	۰/۵۴ a	نشایی
۰/۷۱ a	طارم		

a در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

در آزمایش حاضر تفاوت ارقام در K به مورفولوژی و ساختار کانوپی آنها مربوط بود. با توجه به پایین‌بودن شاخص سطح برگ رقم طارم (شکل ۱)، بالابودن K در این رقم بیانگر افقی‌بودن برگ‌های آن است. این ویژگی موجب نفوذ کمتر نور به داخل کانوپی و محروم‌ساختن علف هرز از نور در مقایسه با دو رقم دیگر شده که سرانجام باعث برتری آن در میدان رقابت با علف هرز شده است، بر اساس توصیهٔ Zhao *et al*. (2006a) برای جذب بیشتر نور در ابتدای رشد و رقابت با علف هرز، برگ‌های افقی مناسب‌تر از برگ‌های عمودی است. این در حالی است که در وضعیت عاری از علف هرز بالابودن K مزیت محسوب نمی‌شود، چون نور کمتری به داخل کانوپی نفوذ کرده و اسیمیلات کمتری تولید می‌شود که این یکی از دلایلی است که باعث می‌شود در نهایت عملکرد کمتری در رقم طارم به دست آید.

با توجه به بیشتر بودن شاخص سطح برگ در رقم خزر و لاین ۸۴۳، کمتر بودن K در این دو رقم حاکی از عمودی‌بودن برگ‌های آنها و نفوذ عمیق‌تر نور به درون کانوپی است. به رغم تفاوت ناچیز دو رقم خزر و لاین ۸۴۳ در ضریب K، دلیل جذب بیشتر نور به‌وسیلهٔ کانوپی لاین ۸۴۳ (شکل ۲) بالاتربودن سطح برگ آن بود (شکل ۱). در نتیجه نور در سطوح برگ بیشتری توزیع و مادهٔ خشک بیشتری تولید شد و در نهایت عملکرد بیشتری در کشت عاری از علف هرز تولید شد.

اما پایین‌تربودن K موجب دریافت نور بیشتری توسط علف‌های هرز درون کانوپی شده و باعث غلبهٔ بیشتر علف هرز بر این دو رقم به‌ویژه در کشت مستقیم شد.

ارتفاع نهایی، زیست‌توده، عملکرد و شاخص برداشت

تفاوت ارتفاع در اثر سیستم کشت، علف هرز و رقم معنادار بود (جدول ۲). ارتفاع نهایی رقم طارم حدود ۳۲-۲۴ سانتی‌متر بلندتر از دو رقم دیگر بود و لاین ۸۴۳ و رقم خزر به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند اما اختلاف دو رقم اخیر از این نظر معنادار نبود (جدول ۵). اثر علف هرز بر کاهش ارتفاع بوته برنج در سیستم کشت نشایی به دلیل فشار کمتر علف هرز معنادار نبود. در سیستم کشت مستقیم که تداخل علف هرز شدیدتر بود، کاهش معناداری در ارتفاع نهایی برنج مشاهده شد و به‌طور متوسط حدود ۷ درصد ارتفاع ارقام برنج کاهش یافت. محققان دیگری نیز کاهش ارتفاع برنج در اثر تداخل علف‌های هرز به دلیل کاهش منابع در دسترس را گزارش کرده‌اند (Guowei *et al*., 1998; Heafele *et al*., 2004). در کشت مستقیم که فشار علف هرز شدیدتر بود، ارتفاع بیشتر رقم طارم از جمله دلایلی بود که به همراه برگ‌های افقی‌تر موجب سایه‌اندازی بیشتر روی علف‌های هرز و تولید عملکرد بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر در این وضعیت شد (جدول ۵). این نتیجه مطابق با یافته‌های Ekeleme *et al*., (2009) است که افزایش ارتفاع را سبب افزایش توانایی رقابتی ارقام در برابر علف هرز عنوان کردند، اما باید توجه داشت که احتمال افزایش ورس یکی از معایب ارقام پابلند است که خود به کاهش عملکرد منجر خواهد شد.

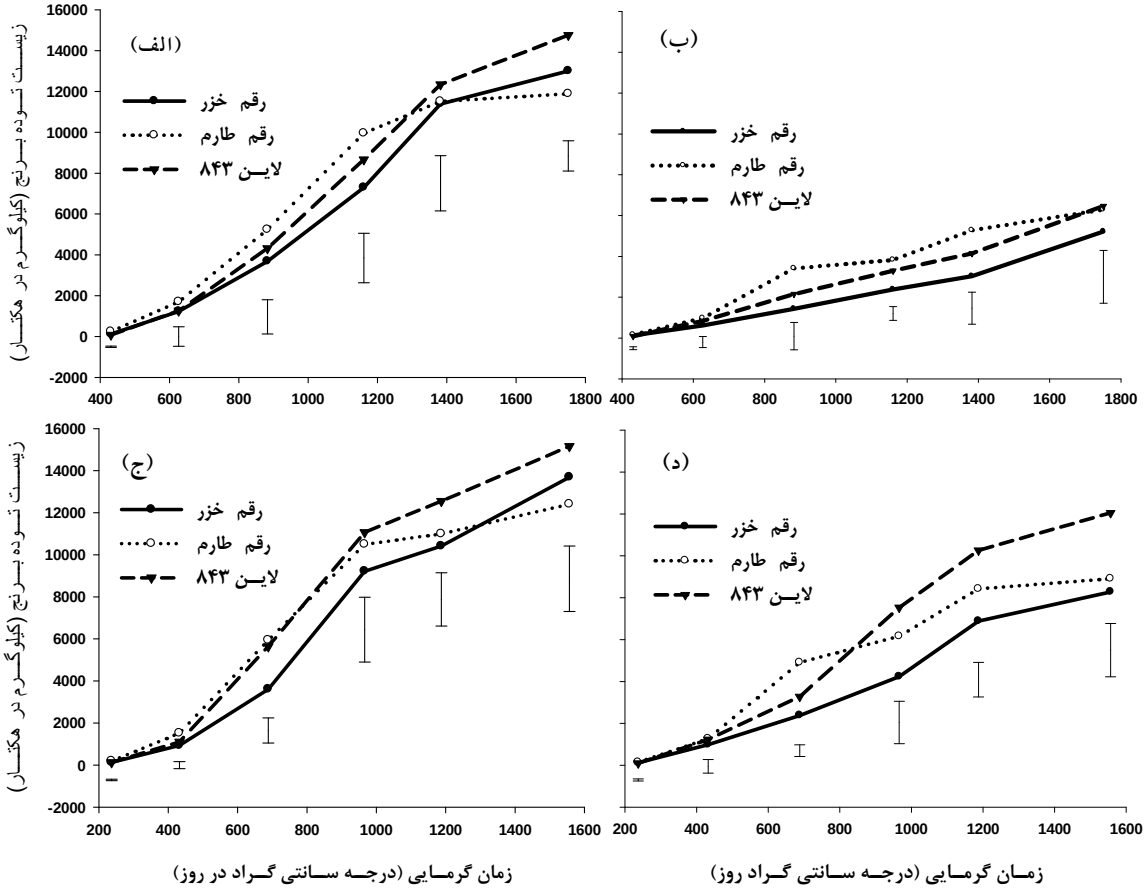
جدول ۵. مقایسهٔ میانگین‌های عملکرد، شاخص برداشت و ارتفاع نهایی ارقام برنج در دو وضعیت تداخل (با علف هرز) و بدون تداخل با علف‌های هرز در دو سیستم کشت مستقیم و نشایی[a]

منبع تغییر	کشت مستقیم					کشت نشایی				
	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)			شاخص برداشت (%)	ارتفاع نهایی (سانتی‌متر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)			شاخص برداشت (%)	ارتفاع نهایی (سانتی‌متر)
	بدون علف هرز	تداخل علف هرز	کاهش (٪)			بدون علف هرز	تداخل علف‌هرز	کاهش (٪)		
خزر	۵۶۳۳ b	۱۶۰۴b	۷۱/۶	۳۹/۹ b	۱۱۷/۴ b	۶۱۶۴ b	۵۰۴۵b	۱۸/۰	۴۰/۹ b	۱۲۸/۳ b
لاین ۸۴۳	۷۲۷۰ a	۲۱۰۲ a	۷۱/۱	۴۶/۷ a	۱۲۵/۵ b	۸۲۲۲a	۷۲۷۱ a	۱۱/۶	۴۶/۷ a	۱۳۲/۲ b
طارم	۴۸۵۶ b	۲۳۰۰ a	۵۲/۷	۴۲/۳ b	۱۴۹/۴ a	۴۸۴۷ c	۴۲۳۶ b	۱۲/۶	۳۹/۹ b	۱۶۰/۰ a
با علف هرز				۴۳/۳ a	۱۲۵/۹ b				۴۲/۱ a	۱۳۹/۱ a
بدون علف هرز				۴۲/۷ a	۱۳۵/۶ a				۴۲/۹ a	۱۴۱/۲ a

a در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه معنادار بود (جدول ۲). وجود این تأثیرات متقابل حاکی از وضعیت متفاوت دو روش کشت نشایی و مستقیم در استقرار برنج و ظهور متفاوت علف هرز و نیز پاسخ متفاوت ارقام در این وضعیت است. در کشت عاری از علف هرز لاین ۸۴۳ بالاترین وزن خشک نهایی (شکل ۳) و بیشترین عملکرد دانه را در هر دو روش کشت (در کشت نشایی و مستقیم به ترتیب ۸۲۲۲ و ۷۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) داشت (جدول ۵). در وضعیت تداخل علف هرز در کشت نشایی لاین ۸۴۳ بیشترین عملکرد و زیست‌توده را داشت، اما درصد کاهش عملکرد آن در وضعیت عاری از علف هرز در کشت مستقیم به دلیل کاهش شدید زیست‌توده بیشتر از رقم طارم بود (جدول ۵). این نتیجه حاکی از توانایی رقابتی اندک لاین ۸۴۳ در وضعیت فشار زیاد علف هرز (در کشت مستقیم) است. زیست‌تودهٔ نهایی و عملکرد دانه رقم خزر در وضعیت عاری از علف هرز در هر دو سیستم کشت در رتبهٔ دوم قرار داشت اما در وضعیت تداخل علف هرز پایین‌ترین زیست‌توده و عملکرد را در بین ارقام تولید کرد. دلیل کاهش شدید عملکرد رقم خزر در برابر علف

هرز آهنگ رشد کُند، سطح برگ پایین(کم) و در نهایت تولید زیست توده کمتر به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد است (شکل‌های ۱ و ۳). از این رو به نظر می‌رسد تداخل علف‌های هرز در مراحل اولیهٔ رشد بیش از تداخل آنها در مراحل بعدی رشد در کاهش عملکرد گیاه زراعی نقش دارد. سرعت رشد اولیهٔ برنج، مهم‌ترین ویژگی ارقام برای توقف رشد علف هرز است (Zhao *et al*., 2006b).



شکل ۳. روند تغییرات زیست‌تودهٔ ارقام برنج به تفکیک سیستم کشت مستقیم بدون تداخل علف هرز (الف)، کشت مستقیم با تداخل علف هرز (ب)، کشت نشایی بدون تداخل علف هرز (ج) و کشت نشایی با تداخل علف هرز (د). ستون‌های عمودی بیانگر حداقل اختلاف معنادار (LSD) بین ارقام در سطح ۵ درصد است.

از ابتدا تا اواسط دورهٔ رشد، در کشت نشایی وزن خشک رقم طارم در تیمارهای با و بدون علف هرز اختلاف معناداری با لاین ۸۴۳ نداشت (شکل ۳). حتی در کشت مستقیم به‌ویژه در وضعیت تداخل علف هرز در ابتدای رشد رقم طارم بیشترین وزن خشک را داشت که باعث تولید عملکرد بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر شد (جدول ۵). توسعهٔ سریع‌تر سطح برگ رقم طارم در ابتدای رشد در کشت مستقیم موجب برتری آن نسبت به دو رقم دیگر شد که این برتری در میدان رقابت با علف هرز محسوس‌تر بود. سرعت زیاد رشد اولیه، یک امتیاز مهم رقابتی برای گیاه زراعی در برابر علف‌های هرز همجوار محسوب می‌شود (Bastiaans *et al*., 1997). باوجود برتری کانوپی رقم طارم در دریافت نور به‌ویژه نسبت به رقم خزر، این رقم نتوانست در وضعیت عاری از علف هرز وزن خشک نهایی بیشتری از دو رقم دیگر تولید کند (شکل ۳). بنا به گزارش Gardner *et al*., (1985) تولید وزن خشک به جذب تشعشع خورشیدی وابسته است که آن هم به افزایش سطح برگ وابسته است؛ با این شرط که سایه‌اندازی در مراحل ابتدایی رشد اتفاق نیفتد. بنابراین از جمله دلایل کمتر بودن وزن

خشک رقم طارم، کوتاه‌تربودن طول دورهٔ رشد آن و نیز کمتر بودن سطح برگ آن است. همچنین به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم، بیشتربودن دریافت نور در کانوپی رقم طارم به وزن خشک بیشتر منجر نشد.

سیستم کشت و علف هرز تأثیری بر شاخص برداشت نداشتند، اما اثر رقم بر آن معنادار بود (جدول ۲). در تمام تیمارها بیشترین شاخص برداشت (۴۶/۷٪) مربوط به لاین ۸۴۳ بود و دو رقم دیگر از این لحاظ تفاوت معناداری نداشتند (جدول ۵). میزان شاخص برداشت در برنج از ۲۵ تا ۵۵ درصد گزارش شده است (Zhao *et al*., 2006a; Boschetti *et al*., 2006). در اثر تداخل علف هرز زیست‌توده و عملکرد ارقام برنج مورد آزمایش تقریباً به یک نسبت کاهش یافتند. به همین دلیل شاخص برداشت کاهش نیافت و این نتیجه با یافته‌های برخی محققان (Zhao *et al*., 2007) هم‌خوانی دارد. در مقابل برخی دیگر از محققان (Heafele *et al*., 2004) گزارش کردند که تیمار علف هرز سبب کاهش معناداری در شاخص برداشت ارقام برنج گردید.

کارایی مصرف نور (RUE)

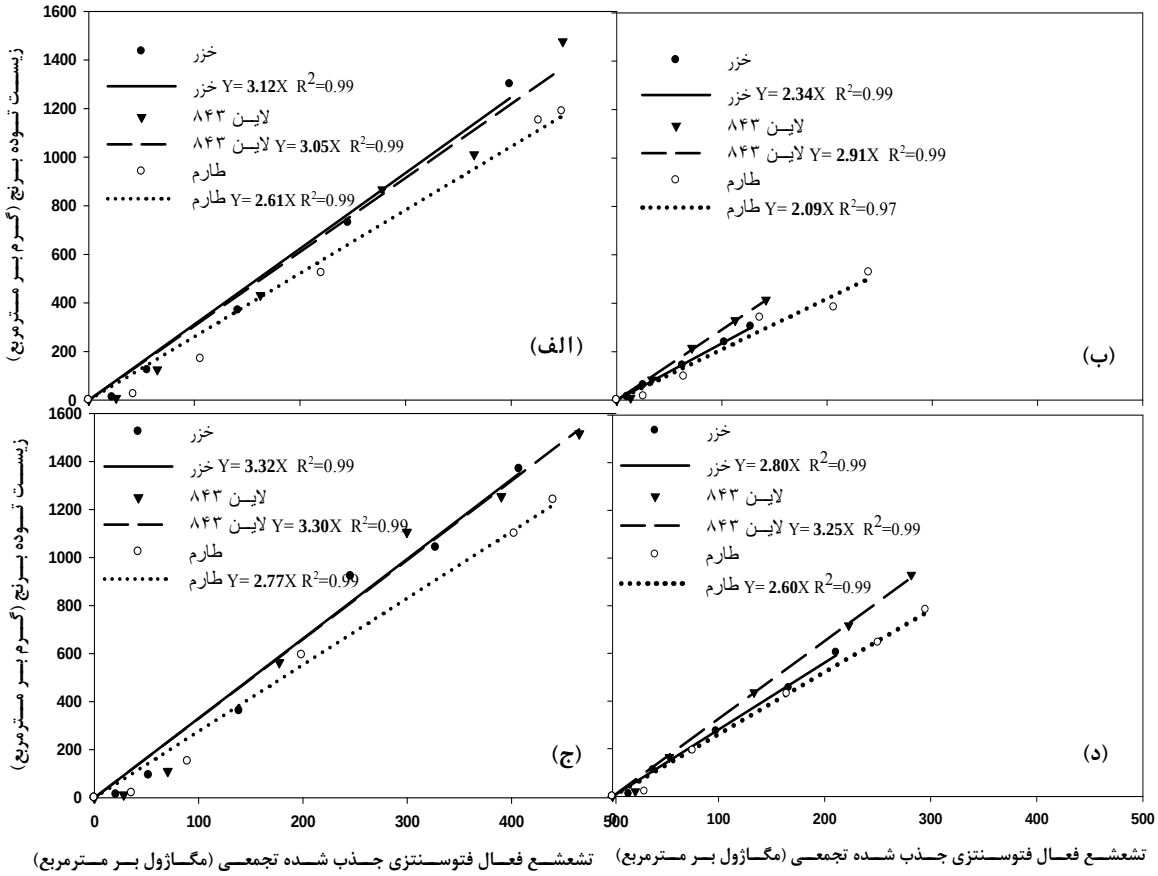
نتایج تجزیهٔ رگرسیون کارایی مصرف نور ارقام برنج در جدول ۶ آمده است. بیشترین میزان RUE در لاین ۸۴۳، خزر و طارم به ترتیب ۳/۳، ۳/۳۲ و ۲/۷۷ گرم بر مگاژول PAR جذبی در وضعیت بدون تنش تداخل علف هرز در کشت نشایی بود (شکل ۴). به دلیل فراوانی روزهای ابری در محل آزمایش و نیز استفاده از میزان PAR جذبی برگ، RUE اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق بیشتر از برخی مقالات به نظر می‌رسد. در مقالات متعدد، میزان RUE در برنج از ۲/۰۹ (Kiniry *et al*., 2001) تا ۵/۰۹ گرم بر مگاژول در مترمربع بر اساس PAR (Cambpell *et al*., 2001) گزارش شد.

بیشتربودن RUE لاین ۸۴۳ و رقم خزر از رقم طارم عمدتاً به ضریب استهلاک نوری (K) کمتر و توزیع مناسب نور در وضعیت عاری از علف هرز مربوط بود که با گزارش‌های Sinclair & Muchow (1999) مطابقت دارد. لاین ۸۴۳ در کشت عاری از علف هرز، سطح برگ بیشتری از رقم خزر داشت، اما در این وضعیت RUE بالاتری در مقایسه با رقم خزر نداشت. با توجه به نبود تفاوت معنادار K در بین این دو رقم، به دلیل سطح برگ بیشتر لاین ۸۴۳ و سایه‌اندازی آنها روی هم، RUE آن بیشتر نشد. بنابراین تا قبل از سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم، سطح برگ بیشتر به RUE بالاتر منجر خواهد شد و بعد از آن، این وابستگی کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان RUE در مزرعهٔ برنج فاریاب در LAI بین یک و دو گزارش شد (Campbell, 2001).

اگرچه K بالاتر به‌ویژه در اوایل رشد برای رقابت با علف هرز مفیدتر است، به دلیل سایه‌اندازی بیشتر، به RUE پایین‌تر خواهد انجامید. به همین دلیل طارم به دلیل K ب (بیشتر، RUE کمتری داشت. بیشینهٔ میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شده در وضعیت بدون علف هرز و با تداخل علف هرز به ترتیب ۴۵۰ و ۳۰۰ مگاژول بر مترمربع بود که در نهایت حداکثر موجب تولید ۱۵۰۰ و ۹۰۰ گرم زیست‌توده در مترمربع به ترتیب در کشت عاری از علف هرز و تداخل علف هرز گردید (شکل ۴). با کاهش زیست‌تودهٔ تولیدی به ازای هر واحد تشعشع فعال جذبی در اثر تداخل علف هرز، کارایی مصرف نور ارقام برنج کاهش یافت و این کاهش در وضعیت کشت مستقیم به دلیل فشار بیشتر علف هرز شدیدتر بود. پایین‌ترین RUE در رقم طارم به میزان ۲/۰۹ گرم بر مگاژول در وضعیت تداخل در سیستم کشت مستقیم محاسبه شد.

جدول ۶. تجزیهٔ رگرسیون کارایی مصرف نور ارقام برنج به تفکیک سیستم کشت مستقیم و نشایی در وضعیت‌های عاری از علف هرز و تداخل با علف هرز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		خزر	لاین ۸۴۳	طارم
کشت مستقیم (عاری از علف هرز)	۱	۱۱۷۹۰۳/۶**	۱۸۲۱۷۵/۸**	۱۸۵۱۳۸/۹**
کشت مستقیم (با تداخل علف هرز)	۱	۱۳۴۸۶/۴**	۱۵۹۷۱/۴**	۴۶۵۳۸/۲**
کشت نشایی (عاری از علف هرز)	۱	۱۵۰۸۹۵/۸**	۲۰۰۶۲۴/۵**	۱۷۶۳۳۱/۰**
کشت نشایی (با تداخل علف هرز)	۱	۳۶۷۲۱/۱**	۶۵۲۶۹/۷**	۷۲۳۳۲/۶**



شکل ۴. رابطهٔ خطی بین زیست‌تودهٔ تجمعی و تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شدهٔ تجمعی ارقام برنج در کشت مستقیم بدون تداخل علف هرز (الف)، کشت مستقیم با تداخل علف هرز (ب)، کشت نشایی بدون تداخل علف هرز (ج) و کشت نشایی با تداخل علف هرز (د). شیب خط (ضریب x) کارایی مصرف نور (RUE) را نشان می‌دهد.

لاین ۸۴۳ در تمام تیمارها عملکرد بیشتری در مقایسه با رقم خزر داشت، اما RUE آنها تقریباً یکسان بود. از طرف دیگر رقم خزر در مقایسه با رقم طارم عملکرد کمتری در وضعیت تداخل علف هرز داشت، اما RUEآن در تمام تیمارها بیشتر از طارم بود. بنابراین در آزمایش حاضر RUE دلیل برتری عملکرد بین ارقام نبود. به‌طور مشابه در مطالعات دیگر از جمله Kiniry *et al*. (2001) و Katsura *et al*. (2008) نیز برتری عملکرد ارقام به RUE بالاتر نسبت داده نشده است. تفاوت عملکرد ارقام بیشتر به اختلاف در زیست‌توده و شاخص برداشت مربوط بود. زیست‌توده و در نهایت عملکرد، به مقدار تابش جذب‌شده بستگی زیادی دارد که آن هم وابسته به سطح برگ است. شاخص برداشت نیز به غیر از ژنتیک رقم به ارتفاع و زیست‌توده وابسته است که هر دو در اثر تداخل علف هرز کاهش می‌یابند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاکی از آن بود که در ارقام تحت آزمایش، تداخل علف‌های هرز موجب کاهش ارتفاع، سطح برگ، زیست‌تودهٔ محصول، کارایی مصرف نور و در نهایت عملکرد دانه گردید و این کاهش در کشت مستقیم به دلیل تداخل بیشتر علف‌های هرز محسوس‌تر بود، اما علف‌های هرز تأثیر معناداری بر شاخص برداشت برنج نداشتند. اختلاف عملکرد ارقام بیشتر به اختلاف در زیست‌توده و شاخص برداشت مربوط بوده و کارایی مصرف نور به‌تنهایی نشان‌دهندهٔ برتری عملکرد ارقام نبود. در مجموع نتایج آزمایش حاضر نشان داد که برای جلوگیری از اُفت شدید عملکرد برنج در وضعیت تداخل شدید علف‌های هرز، بهتر است ارقامی مدنظر قرار گیرند که دارای ارتفاع بیشتر و ضریب استهلاک نور بزرگ‌تر (برگ‌های افقی‌تر) باشند تا با پوشش سریع سطح زمین،

دریافت نور توسط علف هرز را کاهش دهند و بدین‌سان موجبات سرکوبی و فرونشانی علف هرز را فراهم آورند. در وضعیت عدم تداخل یا تداخل خفیف علف هرز، به‌منظور حصول عملکرد بیشتر، بهتر است از ارقامی استفاده شود که ضریب استهلاک نور کوچک‌تر، سطح برگ بیشتر و شاخص برداشت بالاتر داشته باشند.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری پرسنل مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز و معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس برای حمایت مالی از این تحقیق قدردانی می‌کنند.

REFERENCES

1. Almorox, J., Benito, M., Hontoria, C. (2005). Estimation of monthly Angstrom–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. *Renewable Energy,* 30, 931–936.
2. Aminpanah, H. (2009). *Investigation of competitive cbility of rice cultivars against Barnyardgrass* (*Echinochloa crus-galli*) *in order to optimize the rate of herbicide application in lowland rice*. Ph.D. thesis , Tarbiat Modares University, Iran. (In Farsi).
3. Bastiaans, L., Kropff, M. J., Kempuchetty, N., Rajan, A. & Migo, T. R. (1997). Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive with weeds? *Field Crops Research*, 51, 101-111.
4. Boschetti, M., Bocchi, S., Stroppiana, D. & Brivio, P.A. (2006). Estimation of parameters describing morpho-physiological features of Mediterranean rice varieties for modelling purposes. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3, 40-49.
5. Boschetti, M., Stroppiana, D., Confalonieri, R., Brivio, P.A., Crema, A. & Bocchi, S. (2011). Estimation of rice production at regional scale with a light use efficiency model and MODIS time series. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (3), 63-81.
6. Cambpell, C. S., Heilman, j. L., McInnes, K. J., Wilson, L. T., Medley, J. C., Wu, G., Cobos, D. R. (2001). Seasonal variation in radiation use effi-ciency of irrigated rice. *Agriculture and Forest Meteorology*, 110, 45-54.
7. Chauhan, B. S. & Johnson, D. E. (2010). 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 Research,* 117, 177-182.
8. Crotser, P. M. & Witt, W. W. (2000). Effect of Glycine max canopy characteristics, *Glysine max* interference, and weed-free periods in Solanum ptycanthum growth. *Weed Science,* 48, 20- 26.
9. Dingkuhn, M., Audebert, A., Jones, M. P., Etienne, K., Sow, A. (1999). Control of stomatal conductance and leaf rolling in Oryza sativa and O. glaberrima upland rice. *Field Crops Reserch*, 60, 223–236.
10. Doll, H. (1997). The ability of barley to compete with weeds. *Biological Agriculture and Horticulture,* 14, 43–51.
11. Fofana, B. & Rouber, R. (1999). Weed suppression ability of upland rice under low–input conditions in West Africa. *Weed Research*, 40: 271-280.
12. Ekeleme, F., Kamara, A. Y., Oikeh, S. O., Omoigui, L. O., Amaza, P., Abdoulaye, T. & Chikoye, D. (2009). Response of upland rice cultivars to weed competition in the savannas of West Africa. *Crop Protection*, 28, 90–96.
13. Francescangeli, N., Sangiacomo, M. A. & Marti, H. (2006). Effects of plant density in broccoli on yield and radiation use efficiency. *Scientia Horticulturae*, 110, 135-143.
14. Gallagher, J. L. & Biscoe, P. V. (1978). Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science,* 91, 47- 60.
15. Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L. (1985). *Physiology of Crop Plants*. The Iowa State University Press, Ames, IA, pp.1–327.
16. Guowei, W. U., Hioyd, T. & Anna, M. (1998). Contribution of rice tillers to dry matter accumulation and yield. *Agronomy Journal,* 90, 317-323.

17. Haefele, S. M., Johnson, D. E., M'Bodj, D., Wopereis, M. C. S. & Miezan, K. M. (2004). Field screening of diverse rice genotypes for weed competitiveness in irrigated lowland ecosystems. *Field Crops Research,* 88, 39–56.
18. Johnson D. E., Dingkuhn M., Jones M. P. & Mahamane M. C. (1998). The influence of rice plant type on the effect of weed competition on Oryza sativa and Oryza glaberrima. *Weed Research*, 38, 207-216.
19. Katsura, K., Maeda, S., Lubis, I., Horie, T., Cao, W., Shiraiwa, T. (2008). The high yield of irrigated rice in Yunnan China: a cross-location analysis. *Field Crops Research*, 101, 1–11.
20. Kiniry, J. R., Mc Cauley, G., Xie, Y., Arnorl, J.G. (2001). Rice parameters describing crop performance of four U.S. cultivars. *Agronomy Journal*, 93, 1354-1361.
21. Loomis, R. S., Williams, W. A., Duncan,W. G., Dovrat, A. & Nunez, F. (1986). Quantitive description of foliage display and light absorption in field communoties of corn plants. *Crop Science*, 8, 352 - 356.
22. Long, S. P, Zhu, X. G, Naidu, S. L, Ort, D. R. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields. *Plant, Cell and Environment,* 29, 315-330.
23. Moody, K. (1983). *The status of weed control in rice in Asia*. FAO Plant Protect. Bull, 30, 119–123.
24. Monteith, J. L. (1977). *Climate and the efficiency of crop production in Britain*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 281, 277–294.
25. O'Connell, M. G., G. J., O'Leary, D. M. Whitfield, & Connor, D. J. (2004). Interception of photosynthetically active radiation and radiation- use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field Crops Research*, 85, 120-123.
26. Rao, A. N., Johnson, D. E., Sivaprasad, B., Ladha, J. K. & Mortimer, A. M. (2007). *W*eed management in direct-seeded rice. *Advance Agronomy*, 93, 153–255.
27. Sakamoto, T., Morinaka, Y., Ohnishi, T., Sunohara, H., Fujioka, S., Ueguchi, T. M., Mizutani, M., Sakata, K., Takatsuto, S., Yoshida, S., Tanaka, H., Kitano, H., Matsuoka, M. (2006). Erect leaves caused by brassinosteroid deficiency increase biomass production and grain yield in rice. *Nature Biotechnology*, 24, 105-109.
28. San-oh, Y., Mano, Y., Ookawa, T. & Hirasawa, T. (2004). Comparison of dry matter production and associated characteristics between direct-sown and transplanted rice plants in a submerged paddy field and relationships to planting patterns. *Field Crops Research*, 87, 43–58.
29. Sinclair, T. R. & Muchow, R. C. (1999). *Radiation Use Efficiency*. Advances in Agronomy, 65, 215–265.
30. Tang, L., Zhu, Y., Hannaway, D., Meng, Y., Liu, L., Chen L. & Cao, W. (2009). RiceGrow: A rice growth and productivity model. NJAS - *Wageningen Journal of Life Sciences,* 57, 83–92.
31. Tollenaar, M., Dibo, A. A., Weise, S. F. & Swanton, C. J. (1994). Effect of crop density on weed interference in maize. *Agronomy Journal*, 86, 591-595.
32. Waker, G. K., Blackshaw, R. E., & Dekker, J. (1988). Leaf area and competition for light between plant species using direct sunlight transmission. *Weed technology*, 2, 171-183.
33. Yin-Fa, X., Ookawa, T., Ishihara, K. (1997). Analysis of the dry matter production process and yield formation of the high-yielding rice cultivar Takanari. From 1991 to 1994. *Jpn. Journal Crop Science*, 66, 42 - 50.
34. Zhao, D. L., Atlin, G. N., Bastiaans, L. & Spiertz, J. H. J. (2006a). Cultivar weed competitiveness in aerobic rice: Heritability, correlated traits, and the potential for indirect selection in weed-free environments. *Crop Science*, 46, 372-380.
35. Zhao, D. L., Atlin, G. N., Bastiaans, L. & Spiertz, J. H. J. (2006b). Developing selection protocols for weed competitiveness in aerobic rice. *Field Crops Research*, 97, 272–285.
36. Zhao, D.L., Bastiaans, L., Atlin, G. N. & Spiertz J. H. J. (2007). Interaction of genotype × management on vegetative growth and weed suppression of aerobic rice. *Field Crops Research* ,100, 327–340.