



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۱۹۳-۲۰۴

تأثیر روش‌های نوین آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (رقم شیروودی)

عباس رضایی استخرویه^{۱*}، مرضیه صداقت^۲، بهروز عرب‌زاده^۳ و نسرین سیاری^۱

۱. استادیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲. کارشناسی‌ارشد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳. استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، آمل، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱

چکیده

جهت ارزیابی کشت نشانی در فارو و مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم شیروودی، تحقیقی در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در آمل اجرا شد. تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۲، به صورت بلوک‌های کامل تصادفی، شامل پنج تیمار آبیاری و سه تکرار انجام شد. تیمارها آبیاری شامل T₁ (آبیاری دائم در کل دوره رشد)، T₂ (آبیاری یک روز پس از ناپدید شدن آب از سطح خاک)، T₃ (آبیاری سه روز پس از ناپدید شدن آب)، T₄ (آبیاری چهار روز پس از ناپدید شدن آب) و T₅ (اشباع دائم خاک در کل دوره رشد) بود. نتایج نشان داد مدیریت‌های مختلف آبیاری، از نظر طول خوشه، تعداد دانه پوک و عملکرد شلتوک تفاوت معنادار داشت، اما از نظر تعداد دانه پر تفاوت معناداری نداشت. مدیریت آبیاری T₅ (با عملکردی برابر با ۵۸۵۰ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معناداری با مدیریت آبیاری T₁ (با عملکرد ۵۹۷۵ کیلوگرم در هکتار) نداشت. بیشترین عملکرد محصول (۵۹۷۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار T₁ و کمترین آن ۴۲۶۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار (۲۸ درصد کاهش) مربوط به مدیریت T₄ بود. بنابراین، آبیاری اشباع دائم بهترین نتیجه را در آبیاری برنج دارا بود و مدیریت‌های آبیاری T₂، T₃ و T₄ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرارداشت.

کلیدواژه‌ها: آبیاری سطحی، تلفات آب، دشت مغان، شاخص‌های ارزیابی، مدیریت آبیاری.

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک، آب مهم ترین عامل محدودکننده کشاورزی است. در سال های اخیر، به دلیل رقابت بخش های صنعتی، مصارف خانگی، کشاورزی و نیروگاه ها در کشور، کمبود آب به شکل فزاینده ای افزایش یافته است. نامناسب بودن سیستم های آبیاری، پایین بودن انواع راندمان ها در مزارع و وابستگی به منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، موجب افت سطح ایستابی، افزایش هزینه استحصال آب از اعماق زمین و افزایش مصرف انرژی در بسیاری از مناطق کشور شده است.

برنج یکی از مهم ترین مواد غذایی برای بیشتر مردم دنیاست. در آسیا نیز منبع اصلی تغذیه ۳/۵ میلیارد نفر برنج است. بیش از ۹۰ درصد تولید برنج دنیا، در آسیا تولید و مصرف می شود (۳۴). در قاره آسیا ۸۰ درصد منابع آب شیرین، برای آبیاری و نیمی از این مقدار برای گیاه برنج مصرف می شود (۲۰). آینده تولید برنج در سطح جهان، به گسترش راهبردهایی برای استفاده بهینه در برنامه ریزی آبیاری وابستگی زیادی دارد. توسعه روش های نوین تولید و منجر به افزایش یا حفظ میزان تولید، هم زمان با کاهش استفاده از آب، از چالش های فرآروی بشر در آینده است.

میزان آب مصرفی برای کشت برنج در روش های سنتی، به دلیل تلفات آب در اثر نشت از انهار، فرونشست عمقی، تبخیر از سطح آزاد آب و آب مصرف شده برای آماده سازی زمین بسیار زیاد است (۱۶، ۳۶). غرقاب ماندن طولانی زمین در این روش موجب بروز مشکلاتی در طول دوره رشد برنج از جمله ایجاد شرایط احیا در اثر عدم تهویه، تجمع مواد سمی در محیط ریشه، حساسیت گیاه به آفات و بیماری ها و آلودگی آب و خاک می شود (۲۶). بسیاری از روش های مدیریت کشت، مصرف آب در مزرعه را کاهش و بهره وری آب را افزایش می دهد، هر چند بعضی از این روش ها سبب کاهش محسوس عملکرد

نیز می شود (۱۹، ۲۴). برای بهینه سازی مصرف آب روش هایی نظیر آبیاری کم عمق، تر و خشک کردن متناوب، کاشت در خاک اشباع، سیستم های پوششی زمین، سیستم متراکم برنج، برنج هوازی، کشت مستقیم در جوی و پشته، کاشت بذر در بستر مرطوب، کاشت بذر در بستر خشک و کم آبیاری تنظیم شده در کشورهای برنج خیز دنیا بررسی شده است (۶، ۱۷، ۲۵، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳). یکی از راه های افزایش بهره وری آب در مزرعه، کاهش مصارف تبخیر، نفوذ و نشت است (۳۵). با احداث فارو در مزرعه از تلفات تبخیر کاسته می شود و با کاهش عمق آب آبیاری قدرت نشت و نفوذ کاهش می یابد (۱۳، ۱۸، ۲۳). در روش کشت نشایی، نیازی به مصرف آب برای آماده سازی مزرعه نیست (۱۳). از مزایای بالقوه جوی و پشته، بهبود ساختار خاک، کاهش ماندابی شدن زمین، کنترل مکانیکی علف های هرز، مصرف بهتر کود (۲۲، ۲۴، ۲۷)، کسب فرصت برای خشک کردن مزرعه، ایجاد شرایط هوازی و از بین بردن آثار منفی سموم آلی و معدنی است (۲۱).

استفاده از آبیاری جویچه ای در سه تحقیق مستقل، به ترتیب باعث ۳۴/۸، ۳۱/۶ و ۴۲ درصد صرفه جویی در مصرف آب برنج و افزایش عملکرد دانه به میزان ۳/۷، ۳/۴ و ۱۶ درصد نسبت به روش سنتی شد (۱۲، ۱۴، ۲۱). نشای برنج به صورت جوی و پشته ای در مقایسه با روش سنتی، باعث ۱۵ درصد صرفه جویی در مصرف آب، بدون کاهش در عملکرد است (۲۴، ۲۹). روش غرقاب دائم بیشترین و روش اشباع در کل دوره رشد گیاه برنج کمترین مقدار عملکرد را دارا بود. روش کشت نشایی تیمار اشباع علی رغم کاهش ۱۰ درصدی عملکرد نسبت به تیمار غرقاب دائم، بیشترین میزان بهره وری آب را نشان داد (۵). بررسی اثر چهار روش آبیاری برای دو رقم برنج طارم محلی و اصلاح شده (فجر) نشان داد که در روش کشت نیمه خشک (SDC) مصرف آب آبیاری برابر ۴۰۴۲/۵

مدیریت آب و آبیاری

تأثیر روش‌های نوین آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران در شهرستان آمل انجام شد. منطقه با ۲۹/۸ متر ارتفاع از سطح دریا و موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی دارای تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های ملایم است. متوسط بارندگی ده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۰) این منطقه ۶۴۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت روزانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. سردترین و گرم‌ترین ماه سال بهمن و مرداد به ترتیب با حداقل درجه حرارت روزانه ۸ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت روزانه ۲۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی در شش ماه اول سال ۷۷/۱۹ درصد، میانگین ساعات آفتابی در شش ماه اول سال ۱۷۹/۰۸ ساعت و میانگین تبخیر در شش ماه اول سال ۱۹۶/۳۵ میلی‌متر است. اطلاعات هواشناسی مزرعه تحقیقاتی در شش ماهه اول سال ۱۳۹۲ در جدول ۱ آمده است.

مترمکعب در هکتار (با ۵۵٪ صرفه‌جویی نسبت به روش سنتی) بوده است و بهره‌وری آب آبیاری ۱/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب (با ۶۵٪ افزایش)، بهره‌وری آب آبیاری + بارش ۱/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب (با ۵۲٪ افزایش) حاصل شد (۴). با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر، کمبود منابع آب در سطح کشور، ناکافی بودن آب در مراحل مختلف رشد برنج و در نهایت کاهش عملکرد، ضروری است با برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت صحیح آبیاری از منابع موجود حداکثر استفاده را کرد و ضمن حفظ عملکرد مطلوب، آب مصرفی اراضی شالیزاری را کاهش داد و باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد. با توجه به اینکه تاکنون روش آبیاری فارو در اراضی شالیزاری کشور اجرا نشده است. هدف این تحقیق معرفی کشت فارویی در شالیزار و بررسی آثار روش نوین کشت برنج (کشت نشایی در فارو) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج است.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی مزرعه تحقیقاتی در سال ۱۳۹۲ (اداره هواشناسی شهرستان آمل)

ماه/پارامتر	درجه حرارت (oC)		رطوبت نسبی (%)		بارندگی (m m)	تبخیر
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه		
فروردین	۱۰/۸	۱۹/۷	۶۲	۹۰	۷/۷	۷۴
اردیبهشت	۱۴/۹	۲۳/۹	۵۳	۹۰	۲۹/۱	۱۱۱/۷
خرداد	۲۰/۵	۲۷/۹	۶۰	۹۲	۳/۲	۱۴۹/۴
تیر	۲۱/۳	۳۰/۷	۵۷	۹۵	۳	۱۹۵/۱
مرداد	۲۱/۴	۲۹/۳	۶۳	۹۵	۵۴/۳	۱۱۲/۶
شهریور	۲۱/۸	۲۹/۵	۶۵	۹۴	۳۱	۱۰۶

آزمایش تجزیه خاک و طبق نظر کارشناسان تغذیه، به‌صورت یکسان برای تمامی تیمارها به شکل زیر اجرا شد: نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره (۱۰۰ کیلوگرم در

آماده‌سازی زمین شامل مراحل شخم اولیه، شخم ثانویه، روتاری خاک و احداث فارو قبل از کشت انجام گرفت. بعد از آماده‌سازی زمین، عملیات کودپاشی بر اساس

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

هکتار، در دو مرحله، زمان کاشت و مرحله پنجه‌زنی)، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت) و پتاس از منبع سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، چهارم در هکتار، چهل روز پس از نشاکاری). نتایج آزمون خاک مزرعه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. مشخصات فیزیکی- شیمیایی خاک در مزرعه (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

pH	EC (ds m ⁻¹)	کربن آلی (%)	فسفر (mg kg ⁻¹)	پتاسیم (mg kg ⁻¹)	بافت خاک	اجزای تشکیل دهنده (%)		
						رس	سیلت	شن
۷/۲۹	۱/۲۹	۲/۳۰	۱۶۰	۹/۵	لوم‌سیلتی	۲۷	۵۰	۲۳

تصادفی انتخاب شد. برای اندازه‌گیری طول خوشه، از محل گره زیر خوشه تا نوک آن با خط‌کش اندازه‌گیری و از اعداد میانگین گرفته شد. خوشه‌ها خرمن و تعداد دانه پر و دانه پوک شمارش شد. تعداد هزار دانه بذری انتخاب و پس از توزین با ترازوی دیجیتالی وزن هزار دانه منظور شد. برای تعیین شاخص برداشت دو کپه از هر کرت آزمایش برداشت و در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرارگرفت. سپس، دانه و ساقه از هم جدا و وزن خشک آن توزین و از تقسیم وزن دانه (عملکرد اقتصادی) به وزن دانه با کاه (عملکرد بیولوژیک) طبق معادله (۱) شاخص برداشت محاسبه شد.

$$H_I = \frac{E_Y}{B_Y} \quad (1)$$

در این رابطه، H_I شاخص برداشت، E_Y عملکرد اقتصادی (دانه) و B_Y عملکرد بیولوژیک است. بهره‌وری آب مقدار عملکرد (دانه) به‌ازای واحد مصرف آب است. در این پژوهش بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری + بارش به‌ترتیب با استفاده از معادلات (۲) و (۳) تعیین شد.

$$WP_I = \frac{E_Y}{I} \quad (2)$$

کرت‌های آبیاری به ابعاد ۳×۷ مترمربع با ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع مرزها و فاصله ۱ متر از یکدیگر احداث شد. نشاهای ۲۱ روزه برنج رقم پرمحصول شیروودی در مرحله سه چهار برگی و به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری در تاریخ ۲۰ خرداد ماه دو طرف پشته‌ها با فاصله ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. برای استقرار بهتر گیاه و توسعه ریشه‌ها، همه تیمارها در دو هفته نخست به صورت غرقابی آبیاری و پس از آن مدیریت آبیاری اعمال شد. در این تحقیق، کشت نشایی برنج در فارو همراه با مدیریت‌های مختلف آبیاری بررسی شد. پژوهش به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار مدیریت‌های آبیاری: T₁ (آبیاری دائم در کل دوره رشد)، T₂ (آبیاری یک روز پس از ناپدیدشدن آب از سطح خاک)، T₃ (آبیاری سه روز پس از ناپدیدشدن آب از سطح خاک)، T₄ (آبیاری چهار روز پس از ناپدیدشدن آب از سطح خاک) و T₅ (اشباع دائم خاک در کل دوره رشد) با سه تکرار انجام شد.

عملیات داشت مبتنی بر دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، مازندران، آمل انجام شد. پس از رسیدن محصول برداشت در تاریخ ۲۵ شهریور با حذف حاشیه‌ها در هر کرت به اندازه ۱۰ مترمربع انجام شد. برای اندازه‌گیری‌های مورد نظر، ده خوشه از هر کرت به‌طور

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

$$WP_{I+P} = \frac{E_y}{I + P} \quad (3)$$

در این روابط، WP_I بهره‌وری آب آبیاری، E_y عملکرد دانه، I آب آبیاری، WP_{I+P} بهره‌وری آب آبیاری + باران، و P بارش است.

داده‌های آزمایش شامل طول خوشه، تعداد دانه پر و پوک، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد شلتوک با استفاده از نرم‌افزار SAS(v.9.1) تجزیه و تحلیل شد. میانگین تیمارها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) در سطح ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۳ و مقایسه میانگین آن در جدول ۴ آمده است. بر اساس نتایج این دو جدول در مورد عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌توان به صورت زیر بحث کرد:

۱. طول خوشه. تجزیه واریانس صفات (جدول ۳) نشان می‌دهد که طول خوشه گیاه برنج در تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری از نظر آماری تفاوت معناداری در سطح ۱ درصد با یکدیگر دارد. بیشترین طول خوشه (۲۷/۹۳ سانتی متر) متعلق به تیمار T1 و کمترین آن (۲۳/۲۵ سانتی متر) متعلق به T3 است. نتایج این تحقیق با نتایج ساندهو و همکاران (۲۹) مطابقت دارد. در گیاه برنج رقم شیروودی طول خوشه برابر با ۲۸/۷ سانتی متر نیز گزارش شده است (۸). جدول ۵ نشان می‌دهد که همبستگی بین طول خوشه و عملکرد دانه در سطح ۵ درصد با $r=0/64$ ، بین طول خوشه و تعداد دانه پر در سطح ۱ درصد با $r=0/78$ و بین طول خوشه و تعداد دانه پوک در سطح ۵ درصد با $r=-0/61$ و منفی وجود دارد. بین طول خوشه با صفات، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت همبستگی معناداری وجود ندارد.

۲. تعداد دانه پر. از نظر آماری، مدیریت آبیاری تأثیر معناداری در سطح ۵ درصد بر صفت دانه پر دارد. جدول ۴ نشان می‌دهد که مدیریت‌های آبیاری T1 و T4 با مقادیر ۸۶/۶۷ و ۶۶/۴۷ به ترتیب بیشترین و کمترین درصد دانه پر را دارا بود. بنابراین، می‌توان گفت که تنش آبی تأثیر معناداری بر درصد دانه پر می‌گذارد و آن را کاهش می‌دهد. تیمارهای T2، T3 و T5 در صفت دانه پر در یک گروه آماری قرار داشت و اختلاف معناداری با هم ندارد. برای برنج رقم شیروودی بیشترین تعداد دانه پر ۱۲۶/۳۰ گزارش شده است (۱۱). همبستگی بین صفت دانه پر و عملکرد شلتوک ($r=0/74$)، دانه پر و طول خوشه ($r=0/78$) در سطح ۱ درصد وجود دارد. ضریب همبستگی بین درصد دانه پر با درصد دانه پوک در سطح ۱ درصد، اما به صورت منفی است. ضریب همبستگی بین درصد دانه پر و صفات وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت معنادار نیست.

۳. تعداد دانه پوک. جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که مدیریت‌های مختلف آبیاری بر درصد دانه پوک در سطح ۱ درصد تأثیر آماری دارد. تیمارهای T5 و T4 به ترتیب با مقادیر ۱۳/۹۳ و ۲۵/۰۳ درصد کمترین و بیشترین درصد دانه پوک را دارد. این امر بیانگر آن است که آبیاری نقش زیادی در مرحله دانه بندی دارد و هر گونه تنش آبی در این مرحله، منجر به کاهش درصد پرشدن دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه خواهد شد. برای برنج رقم شیروودی بیشترین تعداد دانه پوک ۱۹ گزارش شده است (۱۱). جدول ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که همبستگی منفی بین درصد دانه پوک و عملکرد شلتوک با $r=-0/94$ ، طول خوشه با $r=-0/61$ و درصد دانه پر با $r=-0/76$ به ترتیب در سطح ۱، ۵ و ۱ درصد وجود دارد.

مدیریت آب و آبیاری

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد در مدیریت‌های مختلف آبیاری

منبع تغییرات	درجه آزادی	طول خوشه	دانه پر	دانه پوک	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	مصرف آب	بهره‌وری آب آبیاری	بهره‌وری آب آبیاری + بارش
بلوک	۲	۲/۲۴	۱۳۴/۵	۴/۸۶	۲/۶۹	۱۱۷۱۲۱۰/۳۴	۲۴۰۴۲/۶۰	۴/۴۵	۹۸۳۲۶/۶۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
آبیاری	۴	۹/۰۳**	۲۱۱/۱۳*	۸۶/۸۱**	۱/۴۷**	۳۴۶۶۶۶/۱۰**	۱۵۹۶۷۴۶/۱۰**	۲/۴۵**	۳۳۴۱۰۱۰**	۰/۰۰۷**	۰/۰۵**
خطای آزمایش	۸	۱/۱۰	۴۶/۶۱	۱/۹۳	۲/۴۰	۶۴۱۹۴۲/۸۰	۱۱۷۱۲/۶۰	۱/۸۰	۱۶۲۸۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۶
cv		۴/۲۴	۸/۹۱	۷/۸۲	۵/۶۰	۸/۲۲	۲/۰۴	۳/۱۶	۱/۹	۳/۲۴	۳/۳۳

* و ** به ترتیب معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns عدم تفاوت معنادار در سطح ۵ درصد

جدول ۴. مقایسه بینگین اثر سادۀ تیمار در صفات مورد مطالعه

پارامتر	طول خوشه (cm)	دانه پر (%)	دانه پوک (%)	وزن هزار دانه (g)	عملکرد بیولوژیکی (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%)	مصرف آب (m ³ ha ⁻¹)	بهره‌وری آب آبیاری (kg m ⁻³)	بهره‌وری آب آبیاری + بارش (kg m ⁻³)
I ₁	۲۷/۹۳A	۸۶/۶۷A	۱۳/۳۷B	۲۸/۸۲A	۱۰۱۱۰/۶۰A	۵۹۷۵A	۲۲/۸۰A	۸۱۳۲/۳A	۰/۸۲Bc	۰/۶۸B
I ₂	۲۵/۴۷B	۷۹/۳۰Abc	۱۵/۰۳B	۲۷/۵۰A	۹۲۵۲/۲۰A	۵۵۸۸/۳۳B	۲۲/۳۰A	۷۴۶۶/۸B	۰/۸۵B	۰/۶۹B
I ₃	۲۳/۲۵C	۶۹/۵۳Bc	۲۲/۵۰A	۲۷/۷۰A	۹۹۵۹/۱۰A	۴۸۱۷/۳۳C	۲۱/۴۵A	۶۴۸۳/۳C	۰/۸۴Bc	۰/۶۷B
I ₄	۲۴/۵۲Bc	۶۶/۴۷C	۲۵/۰۳A	۲۶/۹۰A	۹۵۷۸/۸A	۲۲۶۸/۳۳D	۲۳A	۶۱۵۶/۷D	۰/۶۹C	۰/۶۲C
I ₅	۲۵/۸۷B	۸۱/۱۰Ab	۱۳/۹۳B	۲۷/۷۷A	۹۸۶۱/۵A	۵۸۵۰A	۲۲/۱۰A	۵۴۸۲/۳H	۱/۰۷A	۰/۹۶A

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنادار ($P < 0.05$) نیست.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

نسبت به سایر مدیریت‌ها دارد. وجود همبستگی میان طول خوشه، تعداد دانه پر و عملکرد شلتوک در گیاه برنج را محققان دیگر نیز گزارش کرده‌اند (۹، ۱۰). تعداد دانه پر و پوک در هر خوشه در برنج بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داراست (۱۲). کشت برنج روی پشته با اعمال تیمار کم آبیاری هر شش روز (از زمان نشا تا دو هفته قبل از برداشت محصول) منجر به بهبود خواص فیزیکی خاک و افزایش عملکرد شلتوک می‌شود (۲۳). کاشت برنج در فارو و بستر به ترتیب ۳۱/۶ و ۳۷/۹ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی داشت و عملکرد را ۳/۷ و ۱/۶ درصد نسبت به روش سنتی افزایش می‌دهد (۲۱). آبیاری فارو، در مقایسه با آبیاری سنتی، تولید دانه برنج برای رقم محلی را ۱۳/۹ درصد و برای رقم به‌نژادی ۱۲/۱ درصد افزایش می‌دهد (۲۳). سیستم آبیاری فارو برای کشاورزی در مناطق مواجه با بحران کم‌آبی بسیار امیدوارکننده است (۲۳).

۶. مصرف آب. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد مدیریت‌های آبیاری از نظر آب مصرفی تفاوت معناداری با یکدیگر دارد. مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) بیانگر این است که از نظر این صفت، مدیریت‌های آبیاری در گروه‌های متفاوت آماری قرار دارد. مدیریت آبیاری T1 با میانگین ۸۱۳۳/۳ مترمکعب بیشترین مصرف آب و مدیریت آبیاری T5 با میانگین ۵۴۸۳/۳ مترمکعب کمترین مقدار آب مصرفی را به‌خود اختصاص داده است. کشت برنج در خاک اشباع سبب ۳۳ درصد صرفه‌جویی در آب نسبت به تیمار آبیاری دائم در فارو می‌شود، درحالی که از نظر آماری تفاوت معناداری در مقدار عملکرد دو تیمار مشاهده نشد (۲ درصد افزایش عملکرد در آبیاری دائم نسبت به اشباع). تیمارهای T2، T3، T4 و T5 نسبت

۴. وزن هزار دانه. بر اساس جدول ۳، بین مدیریت‌های مختلف آبیاری از نظر وزن هزار دانه تفاوت معناداری مشاهده نشد که با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد (۲۳). در این طرح بیشترین وزن هزار دانه در گیاه برنج رقم شیروودی برابر با ۲۸/۸۳ گرم و کمترین آن برابر با ۲۶/۹۰ گرم حاصل شد. در گیاه برنج رقم شیروودی وزن هزار دانه برابر با ۲۷ گرم نیز گزارش شده است (۸). وزن بالای دانه به توانایی گیاه در انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و توزیع کلی مواد فتوسنتزی در گیاه بستگی دارد. وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم عملکرد برنج و ویژگی ای ژنتیکی در ارقام است و مقدار آن تا اندازه ای متأثر از شرایط دوره رسیدگی است (۲). اعمال تنش خشکی بر عملکرد و تعداد دانه بارور و پوک تأثیر معناداری دارد، اما بر وزن هزار دانه تأثیری نداشت (۳). تفاوت معناداری در وزن هزار دانه و عملکرد بین دو روش فارو و کشت سنتی وجود ندارد (۲۱).

۵. عملکرد دانه. بیشترین عملکرد دانه یا شلتوک (۵۹۷۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار T1 است که با نتیجه تیمار T5 در یک گروه آماری قرار دارد. این نتیجه با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد (۱۶). تیمار T4 با میانگین ۴۲۶۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داراست. تیمارهای T2، T3، T4 و T5 نسبت به تیمار T1 به ترتیب کاهش عملکردی برابر با ۶، ۱۹، ۲۸ و ۲ درصد داشت. بیشترین عملکرد دانه در برنج رقم شیروودی ۷۶۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۱۱). جدول ۵ نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی بین عملکرد با طول خوشه ($r=0.64$)، با تعداد دانه پر ($r=0.74$) و با تعداد دانه پوک ($r=0.94$) در سطح احتمال ۵، ۱ و ۱ درصد مثبت و معنادار بود. بنابراین، مدیریت آبیاری اشباع دائم بهترین نتیجه را

نفوذپذیری است، درحالی که آب مورد نیاز در حالت اشباع بهنگام و در دسترس گیاه است و گیاه در این حالت با تنش آبی مواجه نمی شود.

به تیمار T1 به ترتیب ۸، ۲۰، ۲۳ و ۳۳ درصد آب کمتری مصرف کرد. تیمار اول با وجود بیشترین میزان آب مصرفی، عملکردی نزدیک به تیمار اشباع داشت. در تیمار آبیاری دائم عمده آب مصرفی ناشی از تلفات

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

عملکرد	طول	دانه پر	دانه پوک	وزن	عملکرد	شاخص
شلتوک	خوشه	(%)	(%)	هزاردانه	بیولوژیکی	برداشت
عملکرد شلتوک	۱					
طول خوشه	۰/۶۴*	۱				
تعداد دانه پر	۰/۷۴**	۰/۷۸**	۱			
تعداد دانه پوک	-۰/۹۴**	-۰/۶۱*	-۰/۷۶**	۱		
وزن هزاردانه	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	-۰/۲۳ ^{ns}	۱	
عملکرد بیولوژیکی	۱/۱ ^{ns}	-۰/۱۲ ^{ns}	-۰/۳۰ ^{ns}	-۰/۱۰ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۱
شاخص برداشت	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	-۰/۲۱ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}

***، * و ns به ترتیب دارای نشانگر ضریب همبستگی در سطح ۱ و ۵ درصد و بدون همبستگی

آب صرفه جویی می کند (۱۴). آب مورد نیاز واریته برنج پرمحصول در کشت سستی بدون احتساب راندمان آبیاری ۹۸۷۸ مترمکعب در هکتار است. با روش کشت فارو با تیمار آبیاری دائم به میزان ۱۷۴۵ مترمکعب در هکتار در مصرف آب صرفه جویی می شود (۷).

۷. بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب آبیاری + بارش. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می دهد که مدیریت های مختلف آبیاری از نظر بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب آبیاری + بارش تفاوت معناداری در سطح ۱ درصد دارد. تیمار T5 و T4 با بهره وری آب آبیاری برابر با ۱/۰۷ و ۰/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره وری آب آبیاری + بارش برابر با ۰/۹۶ و ۰/۶۲ به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر

حفظ لایه یا سطح نازک و باریکی از آب در شرایط اشباع خاک یا مرطوب و خشک کردن متناوب خاک میزان آب مصرفی را در مقایسه با عملیات رایج غرقاب سطحی و مستمر، به میزان ۳۵ درصد کاهش می دهد (۳۳). وضعیت اشباع خاک در سرتاسر دوره رشد برنج، سبب ۴۲ درصد صرفه جویی در مصرف آب با کاهش ۱۰ درصدی در عملکرد نسبت به غرقاب دائم می شود (۶). نتایج این پژوهش با نتایج بورل و همکاران (۱۵) مطابقت دارد مبنی بر اینکه کشت برنج در شرایط اشباع در فارو ۳۲ درصد آب کمتری نسبت به روش غرقاب دائم مصرف می کند. دلیل کاهش آب مصرفی برنج در روش کشت فارو نسبت به روش سستی، کاهش تلفات نفوذ و تبخیر تعرق است (۱۸، ۲۳). کشت برنج در فارو در مقایسه با روش سستی به میزان ۴۲ درصد در مصرف

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

تأثیر روش های نوین آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج

طارم ۰/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب) بوده است (۶). گزارش شده است، بین هشت تیمار آبیاری اعمال شده در آزمایشی در مرکز تحقیقات برنج کشور، تیماری که در تمام فصل رشد در حالت اشباع نگه داشته شد، اگرچه نسبت به تیمار آبیاری دائم (با بیشترین عملکرد و کمترین بهره وری) حدود ۱۰ درصد کاهش عملکرد نشان داد (۳۹۴۳ کیلوگرم در هکتار)، اما با بهره وری ۷ کیلوگرم در میلی متر آب مصرفی حدود ۴۰ درصد افزایش بهره وری نسبت به تیمار آبیاری دائم از خود نشان داد (۵).

نتیجه گیری

اعمال مدیریت صحیح آب در کشاورزی، به خصوص در کشت برنج، محدودیت ها و مشکلات ناشی از کمبود منابع آب را تعدیل می بخشد. بر اساس نتایج این تحقیق، عملکرد در تیمارهای T2، T3، T4 و T5 به ترتیب کاهش ۶، ۱۹، ۲۸ و ۲ درصدی نسبت به تیمار T1 داشت. مدیریت آبیاری T5 تفاوت معناداری در عملکرد با مدیریت آبیاری T1 نداشت. از نظر میزان آب مصرفی، در تیمارهای T2، T3، T4 و T5 به ترتیب ۸، ۲۰، ۲۳ و ۳۳ درصد در مصرف آب صرفه جویی شد. تیمار اشباع دائم خاک (T1) با بیشترین بهره وری آب (۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب) سبب افزایش ۳۲٪ بهره وری آب نسبت به تیمار آبیای دائم (۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب) شد. دلیل کاهش آب مصرفی در این تیمار را می توان به کاهش مصارف غیرمفید مانند نشت، نفوذ و تبخیر نسبت داد. در این روش آب به مقدار مورد نیاز در دسترس گیاه قرار می گیرد. تیمار T1 با وجود دریافت آب بیشتر، افزایش عملکرد قابل توجهی نشان نداد. روش کشت در حالت اشباع راهی برای کنترل این مصارف غیرمفید با کاهش فشار هیدروستاتیکی ناشی از کاهش هد سطح آب است. اما کاهش عملکرد ۲ درصدی تیمار اشباع را می توان به جمعیت علف هرز بیشتر نسبت به آبیاری

بهره وری را به خود اختصاص داد. بنابراین، تیمار T5 سبب افزایش ۴۷ درصدی و ۴۱ درصدی به ترتیب در بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب آبیاری + بارش نسبت به تیمار T1 شده است. گزارش محققان حاکی است که استفاده از آبیاری فارو، ۳۴/۸، ۳۱/۶ و ۴۲ درصد صرفه جویی در آب را سبب می شود. همچنین، عملکرد دانه را ۳/۴، ۳/۷ و ۱۶ درصد نسبت به روش سنتی افزایش می دهد (۱۲، ۱۴، ۲۱). در واقع، می توان با سیستم کشت برنج در فارو آب مصرفی در اراضی شالیزاری را بدون به خطر انداختن عملکرد برنج یا بدون افزایش هزینه تولید کاهش داد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. کشت برنج در جوی پشته سبب ۱۵ درصد ذخیره آب و ۵/۱۳ درصد افزایش بهره وری آب آبیاری نسبت به حالت غرقاب می شود (۲۴، ۲۹). با کاشت برنج در خاک اشباع می توان به میزان ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی کرد، در حالی که عملکرد حداقل ۵-۱۰ درصد کاهش می یابد (۱۶). با کم کردن آب مصرفی برنج به میزان ۳۲ درصد، عملکرد آن ۱۳ درصد کاهش خواهد یافت. با افزایش میزان آب آبیاری به بیش از ۸۰۰ میلی متر، هیچ گونه افزایش عملکردی ملاحظه نمی شود (۱). بهترین گزینه برای صرفه جویی در مصرف آب آبیاری و بالابردن بهره وری در مزرعه، کاهش عمق ایستادگی ۵-۱۰ سانتی متر به سطح اشباع خاک است (۱۷). مزارعی که تحت شرایط هوازی کشت می شود ۱۹۰ میلی متر آب در مرحله آماده سازی، ۳۰۰-۲۵۰ میلی متر نشت و نفوذ، ۸۰ میلی متر تبخیر و ۲۵ میلی متر تعرق کمتری نسبت به شرایط سنتی مصرف می کند (۱۷). بهره وری مصرف آب در کشت نشایی برنج روی دو رقم طارم و شیروودی، تیمار اشباع دائم در طول دوره رشد دارای بیشترین مقدار بهره وری (در شیروودی ۰/۹۳ و در

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

- دائم نسبت داد. وجود علف‌های هرز و گونه‌های آن بستگی زیادی به رطوبت خاک و عمق آب در مزرعه دارد. یکی از دلایل کاهش عملکرد در رژیم اشباع نسبت به غرقاب دائم را می‌توان به شرایط مناسب رشد و شیوع علف‌های هرز منتسب کرد. در شرایط کشور ما که آب مهم‌ترین عامل محدودکننده محسوب می‌شود اهمیت و مدیریت مصرف آن بیش از مسئله علف‌های هرز است و نمی‌توان به دلیل یک یا دو بار وجین و کنترل علف‌های هرز، از مزایای آن چشم پوشید و می‌توان با تغییر در روش کشت، آبیاری متناوب و اعمال تناوب زراعی مناسب، علف‌های هرز را نیز کنترل کرد. کاهش در مصرف آب از طریق کاهش ابتلا به بیماری‌ها، بهبود خواص محصول در زمینه مراقبت و ذخیره، به حداقل رساندن آب‌شستگی کودها از منطقه ریشه و بهبود تهویه خاک تأثیر مطلوبی بر عملکرد خواهد داشت. بنابراین، تیمار اشباع دائم خاک در طول دوره رشد برای صرفه جویی و حفظ منابع آبی و رسیدن به عملکرد بهینه مناسب است و فرصت‌هایی را برای حفاظت از منابع آب و بهبود امنیت غذایی ارائه می‌کند. در این راستا، اطلاعات اندکی در مورد پایداری طولانی این روش کشت وجود دارد و ضروری است ارزیابی طولانی مدت روش‌های مختلف کشت در دیگر مناطق شالیزاری با توجه به شرایط متفاوت آب و هوایی انجام گیرد. همچنین، اطلاعات در زمینه دینامیک عناصر غذایی و در دسترس بودن آن در شرایط غیرغرقابی اندک است و بررسی چنین مواردی نیز پیشنهاد می‌شود.
۲. تیموریان 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. پژوهش‌های تولید گیاهان زراعی، ۱۶(۳): ۴۹-۶۶.
۳. ثابت‌فر س. عاشوری م. امیری ا. و بابازاده ش. (۱۳۹۱) تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج. سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی فسا، ایران، ۱۶ آذر.
۴. صداقت ن. پیردشتی ه. اسدی ر. و موسوی طغانی س.ی. (۱۳۹۳) اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب در برنج. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۱): ۹-۱.
۵. عربزاده ب. (۱۳۸۳) بررسی کم‌آبیاری تنظیم‌شده در کشت نشایی برنج. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، ۱۵ص.
۶. عربزاده ب. (۱۳۸۸) روش‌های نوین کشت و مدیریت آب در کشت برنج به منظور مقابله با کمبود آب و خشک‌سالی. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیرمترقبه استانداری اصفهان، اصفهان، ایران، ۲۵-۲۶ اردیبهشت.
۷. عربزاده ب. (۱۳۹۳) آبیاری برنج. انتشارات یادداشت، ۹۸ ص.

منابع

۱. امیری ا. کاوه ف. کاوسی م. و موسوی جهرمی س.ح. (۱۳۸۵) مدیریت آبیاری در شالیزار. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران، ۱۲-۱۴ اردیبهشت.
۸. فتحعلی نژاد ک. ولدآبادی س.ع.ر. دانشیان ج. نحوی م. بخشی‌پور س. و محدثی ع. (۱۳۹۰) ارزیابی اثر سن گیاهچه بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.). دانش زراعت، ۴(۶): ۵۱-۶۳.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

- rice in a semi -arid tropical environment. Field Crops Research, 52: 231-248.
17. Bouman B.A.M. and Tuong T.P. (2001) Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agricultural Water Management, 49: 11-30.
18. Bouman B.A.M., Lampayan R.M. and Tuong T.P. (2007) Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 59 pp.
19. Choudhury B.U., Bouman B.A.M. and Singh A.K. (2007) Yield and water productivity of rice-wheat on raised beds at New Delhi, India. Field crops research, 100: 229-239.
20. Clemmens A.J. Allen R.G. and Burt C.M. (2008) Technical concepts related to conservation of irrigation and rainwater in agricultural systems. Water Resources Research, 44:1-16.
21. Dawe D. Seckler D. and Barker R. (1998) Water supply and research for food security in Asia. Proceedings of the Workshop on Increasing Water Productivity and Efficiency in Rice-Based Systems, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 5 July.
22. El-Bably A.Z. Meleha M.E. Allah A.A. and El-Khoby W.M. (2008) Increasing rice productivity, water use efficiency, water saving and rice productivity in North Delta, Egypt. The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments. King Fahd Cultural Centre in Riyadh, Saudi Arabia, 16-19 November.
23. El Baroudy A.A. Ibrahim M.M. and Mahmoud M.A. (2014) Effects of deficit irrigation and transplanting methods of irrigated rice on soil physical properties and rice yield. Soil Use and Management, 30: 88-98.
۹. کاظمی ل. (۱۳۸۸) بررسی تأثیر تراکم کاشت و مقادیر مختلف کود ازته بر روابط منبع و مخزن و سایر خصوصیات فیزیولوژیک لاین جدید برنج (IR75479-3-3). پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، ۱۴۴ ص.
۱۰. محدثی ع. (۱۳۸۰) بررسی اثرات تاریخ کاشت، کود ازته و تراکم بوته در عملکرد و اجزای عملکرد برنج. انتشارات معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران، ۳۵ ص.
۱۱. محمدی ص. نحوی م. و محدثی ع. (۱۳۹۴) تأثیر آبیاری تناوبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام و لاین برنج، زراعت، ۱۰۷: ۱۱۴-۱۰۸.
۱۲. نوربخشیان ج. و رضایی ع.م. (۱۳۷۸) مطالعه همبستگی صفات و تجزیه علیت عملکرد دانه در ارقام برنج. علوم زراعی ایران، ۱(۴): ۵۵-۶۶.
13. Atta Y.I.M. (2005) Strip planting of rice: a new method for increasing water use efficiency under splitting of nitrogen fertilizer. Egyptian Applied Sciences, 20: 501-511.
14. Atta Y.I. (2008) Innovative method for rice irrigation with high potential of water saving. Water Mngament Rerch Institute National Water Rsearch Center, Egyptian, 17 pp.
15. Bhuyan M.H.M., Ferdousi M.R. and Iqbal T. (2012) Yield and growth response to transplanted aman rice under raised bed over conventional cultivation method. International Scholary Research Network, 8 pp.
16. Borell A.K., Garside A. and Fukai S. (1997) Improving efficiency of water use for irrigated

24. He C. (2010) Effects of furrow irrigation on the growth, production, and water use efficiency of direct sowing rice. *The Scientific World Journal*, 10: 1483-1497.
25. Lal B. Priyanka G. and Ekta, J. (2013). Different rice establishment methods for producing more rice per drop of water: A review. *International Research in BioSciences*, 2(2): 1-12.
26. Lin S. Tao H. Dittert K. Xu Y. Fan X. Shen Q. and Sattelmacher B. (2003) Saving water with the ground cover rice production system in China. In *Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development. Conference on International Agricultural Research for Development*, Gootingen Germany, 8-10 October.
27. Mao Z. (2002) Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production in China. Wuhan University, Department of Irrigation and Drainage, 15 pp.
28. Naresh R.K. Singh B. Singh S.P. Singh P.K. Kumar A. and Kumar A. (2012) Furrow irrigated raised bed (FIRB) planting technique for diversification of rice-wheat system for Western IGP region. *International Life Science Biotechnology and Parma Researc*, 1(3): 134-141.
29. Nguyen H.T. Fischer K.S. and Fukai S. (2009) Physiological responses to various water saving systems in rice. *Field Crops Research*, 112(2): 189-198.
30. Sandhu S.S. Mahal S.S. Vashist K.K. Buttar G.S. Brar A.S. and Singh M. (2012) Crop and water productivity of bed transplanted rice as influenced by various levels of nitrogen and irrigation in northwest India. *Agricultural Water Management*, 104: 32-39.
31. Satyanarayana A. Thiyagarajan T.M. and Uphoff N. (2007) Opportunities for water saving with higher yield from the system of rice intensification. *Irrigation Science*, 25(2): 99-115.
32. Singh A.K. Choudhury B.U. and Bouman B.A.M. (2002) Effects of rice establishment methods on crop performance, water use, and mineral nitrogen. In B. A. M. Bouman et al. (ed.) *Water-wise rice production, part 3. Rice-wheat. Proceedings of the International Workshop on Water-Wise Rice Production*, Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute: 237-246.
33. Singh S. Shukla U.N. Khan I.M. Sharma A. Pawar K. Srivastawa D. Sisodia V.A.N.D.A.N.A. Singh L.B. Jerman L.B. and Singh S. (2013) Technologies for water-saving irrigation in rice. *International Agriculture and Food Science Technology*, 4(6): 531-536.
34. Tabbal D.F. Bouman B.A.M. Bhuiyan S.I. Sibayan E.B. and Sattar M.A. (2002) On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management*, 56(2): 93-112.
35. Tuong T.P. and Bhuiyan S.I. (1999). Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. *Agricultural Water Management*, 40(1): 117-122.
36. Tuong T.P. and Bouman B.A.M. (2003). Rice production in water-scarce environments. In J. W. Kijne et al. (ed.) *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*, Issue 1 of *Comprehensive assessment of water management in agriculture series*. CABI publishing. Cambridge, USA: 53-67.
37. Tuong T.P. Bouman B.A.M. and Mortimer M. (2004). More rice, less water- approaches for increasing water productivity in irrigated ricebased systems in Asia. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia, 26 September-1 October.