نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 12، شماره 1، بهار 1399، ص 54-37

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.1, Spring 2020, p. 37-54

اثر آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر رشد و شاخص‌های رشدی و آب مصرفی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آب‌وهوایی گیلان

کامیار سبک‌رو فومنی[1]، سعید سیف‌زاده[2*]، فرامرز علی‌نیا[3]، سید علیرضا ولدآبادی[2] و محمدرضا یزدانی[3]

تاریخ دریافت: 1397/05/30
تاریخ پذیرش: 1397/08/16

سبک‌رو فومنی، ک.، سیف‌زاده، س.، علی‌نیا، ف.، ولدآبادی، س.ع. و یزدانی، م. 1399. اثر آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر رشد و شاخص‌های رشدی و آب مصرفی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آب‌وهوایی گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی، 12 (1): 54-37.

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر آبیاری تناوبی و فواصل مختلف کاشت بر سرعت رشد و شاخص‌های رشدی و میزان آب مصرفی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)، در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج استان گیلان در دو سال زراعی 94- 1393 و 95- 1394 به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌اجرا در آمد. عامل اصلی آزمایش شامل آبیاری تناوبی دارای پنج سطح (آبیاری هر روزه به‌صورت غرقاب (به‌عنوان شاهد) و پنج، هشت، 10 و 15 روز یک‌بار) و عامل فرعی شامل چهار فاصله کاشت (20×20، 25×25، 15×30، 20×30 سانتی‌متر) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر صفات وزن خشک برگ و ساقه و CGR در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین اثرات ساده آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر صفات شاخص سطح برگ و NAR در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. به‌طوری‌که فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر بهترین شرایط را برای گیاه برنج در شدت‌های مختلف تنش ایجاد نمود. فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر نیز ضعیف‌ترین شرایط را برای گیاه ایجاد نمود. در تراکم پایین، رقابت بین ردیف‌ها (برون‌بوته‌ای) و حتی درون‌بوته‌ای تا زمان گل‌دهی و تشکیل دانه کمتر است و پس از این مرحله رقابت زیادی جهت مواد فتوسنتزی در بذر پانیکول ایجاد می‌گردد و باعث پوکی دانه می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در بین سطوح آبیاری، آبیاری هر روزه بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول را دارا بود. بر این اساس، به نظر می‌رسد انتخاب تراکم مناسب راهکاری مدیریتی برای دستیابی پایدار به عملکرد اقتصادی به‌ویژه در شرایط محدودیت آب می‌باشد که این امر می‌تواند به‌طور ویژه‌ای رشد و عملکرد برنج و میزان مصرف آب و به تبع آن کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب را تحت تأثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، رقابت، سرعت رشد، کارآیی مصرف آب، مدیریت آبیاری

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین مواد غذایی بیشتر مردم دنیا بوده و در آسیا منبع اصلی تغذیه 3/5 میلیارد نفر می‌باشد. با افزایش جمعیت در سال 2025 میلادی میزان 70 درصد برنج بیشتر در مقایسه با میزانی که امروزه مصرف می‌شود، مورد نیاز است (IRRI, 2005). از این‌رو، بایستی خط مشی‌ها با توجه به تولید و مصرف برنج به‌وسیله جایگزینی و تکمیل روش‌های کشاورزی سنتی با روش‌های نوین کاشت تغییر یابند (IRRI, 2005). در حدود 75 درصد از کل برنج جهان در زمین‌های پست تحت آبیاری، تولید می‌شود. در سطح مزرعه، برنج نسبت به دیگر گیاهان زراعی دو تا سه برابر آب بیشتری دریافت کرده و بر اساس برخی برآوردها حدود 43-34 درصد از مجموع آب آبیاری جهانی و یا 30-24 درصد از مجموع

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، ایران.
3- استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: saeedsayfzadeh@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i1.74890

آب شیرین استحصالی دنیا را مصرف می‌کند (Bouman et al., 2007). افزایش روزافزون تقاضای آب برای صنعت و جمعیت شهری، کاهش منطقی مصرف آب برای کشاورزی را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. در این شرایط مهم‌ترین چالش در رابطه با تولید برنج، ذخیره آب، افزایش بهره‌وری آب و تولید برنج بیشتر با آب کمتر است. کاهش و یا عدم وجود آب به‌مقدار کافی، به‌ویژه در قاره آسیا، باعث شده تلاش‌های زیادی برای استفاده از ابزار و فنون جدید کاشت برنج به‌منظور استفاده آب کمتر صورت گیرد. برای غلبه بر مشکلات ذکر شده در فوق، تعدادی راهکار جدید کاشت در کشورهای تولیدکننده برنج در دنیا معرفی شده‌اند (Belder et al., 2004). اخیراً سیستم‌های مختلف تولید برنج مانند آبیاری متناوب برنج که در آن می‌توان با آب کمتر، برنج بیشتری تولید نمود مورد توجه قرار گرفته است (Amiri et al., 2011a).

بهره‌وری آب (WP)[1] در برنج یک مفهوم نسبی است و در واقع، بیانگر مقدار یا ارزش تولید به‌ازای حجم یا مقدار آب مصرفی می‌باشد. اختلافات زیادی در مقادیر بهره‌وری آب در برنج گزارش شده است (Tuong, 1999)، اگر چه این تفاوت‌ها به‌میزان زیادی تحت تأثیر تنوع و اختلافات زیاد در عملکرد است، ولی متأثر از میزان آب استفاده شده می‌باشد (Tuong, 1999). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان‌دهنده آن است که بسته به شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت، غرقاب دائم برنج ضرورت ندارد، بلکه در برخی از مراحل رشد می‌توان گیاه را تحت تأثیر تنش آب به‌صورت کاهش ارتفاع آب ایستابی در کرت و خشکاندن خاک در حد اشباع قرار داد، بدون اینکه عملکرد محصول کاهش معنی‌داری یابد (Yang et al., 2005). به عبارتی دیگر، ایجاد غرقاب دائم در برنج نه تنها یک ضرورت نیست، بلکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که حصول کارآیی مصرف آب بیشتر حائز اهمیت فراوان است، با کاهش زمان یا مقدار آبیاری می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Asadi et al., 2003).

یکی از راهکارهای موجود برای کاهش مصرف آب در کشت برنج، تغییر روش مرسوم آبیاری غرقاب دائم به‌روش آبیاری تناوبی با فاصله مناسب برای هر رقم می‌باشد (Abdi, 2003; Asadi et al., 2003). نتایج نشان می‌دهد ضرورت ندارد که برنج در تمام مراحل رشد، غرقاب دائم باشد، بلکه می‌توان کشت برنج را با کاهش ارتفاع آب ایستایی در کرت با تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیرغرقاب انجام داد (Belder et al., 2004). اگرچه گاهی این قطع آب و تنش خشکی متعاقب آب، باعث کاهش عملکرد برنج می‌شود، ولی در برخی مواقع اعمال مدیریت صحیح آبیاری و خشک کردن محیط ریشه تأثیری در کاهش عملکرد آن ندارد و حتی کاهش قطع آب با فاصله مناسب باعث افزایش عملکرد دانه نیز می‌شود (Saadati, 1996). رضایی و نحوی (Rezaei & Nahvi, 2005) نشان دادند اگر چه آبیاری غرقاب دائم بیشترین عملکرد دانه برنج را تولید کرد، امّا راندمان مصرف آب در آبیاری تناوبی بالاتر بود. نتایج مشابهی توسط شاهین رخسار و همکاران (Shahin Rokhsar et al., 2011) و حسینی منفرد و همکاران (Hoseini Monfared et al., 2011) گزارش شده است. علاوه‌براین، مشاهده شده است که کیفیت دانه برنج تولیدی در شرایط آبیاری تناوبی می‌تواند بهتر از آبیاری غرقابی باشد (Shahin Rokhsar et al., 2011). تابال و همکاران (Tabbal et al., 2002) نشان دادند که می‌توان در مرحله‌ای از رشد و یا در تمام مراحل رشد، رطوبت خاک را در حد اشباع نگه داشت و از این طریق در مصرف آب برنج صرفه‌جویی کرد. باید توجه داشت که در این روش، دو عامل رقم و مدیریت علف‌های هرز می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه شود. ماکارا و همکاران (Makara et al., 2006) عنوان نمودند که تنش خشکی در طی مرحله زایشی برنج موجب کاهش عملکرد دانه به‌میزان 12 تا 46 درصد گردید. نحوی و همکاران (Nahvi et al., 2004) با مقایسه فواصل مختلف آبیاری یک، پنج، هشت و 11 روزه را برای رقم خزر در گیلان نشان دادند که فاصله آبیاری بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، راندمان مصرف آب، شاخص برداشت، درصد پوکی دانه‌ها، تعداد روزها از نشاءکاری تا 50 درصد گل‌دهی، تعداد روزها از نشاءکاری تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته و وزن خشک ریشه مؤثر می‌باشند. به‌طور کلی، تحقیقات جهانی در مورد آبیاری برنج در سه زمینه مدیریت آبیاری تناوبی، سیستم افزایش تولید برنج و برنج هوازی قابل دسته‌بندی است که از میان آن‌ها روش آبیاری تناوبی با فاصله مناسب، بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است (Asadi et al., 2004). علاوه‌براین، بهینه‌یابی عمق و فاصله آبیاری تناوبی در هر یک از مراحل رشدی گیاه برنج می‌تواند منجر به مدیریت کمّی و کیفی آبیاری و دستیابی به عملکرد مطلوب شود.

یکی دیگر از مهم‌ترین عواملی که عملکرد این گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد علف‌های هرز می‌باشد. در شرایط تنش‌های محیطی این

1- Water productivity

تأثیرگذاری چند برابر خواهد شد. بنابراین، مدیریت علف‌های هرز به‌منظور حصول عملکرد مناسب امری بسیار مهم و ضروری است. فاصله بین بوته تأثیر زیادی بر رشد و عملکرد گیاه برنج داشته و باعث می‌شود هر گیاه به‌دلیل داشتن فضای بیشتر در اطراف خود نور بیشتری دریافت نموده و فعالیت فتوسنتزی خود را بهتر انجام دهد. در همین راستا، افزایش تراکم برای کاهش جمعیت علف‌های هرز و افزایش عملکرد نیز توصیه شده است (Chauhan & Johnson, 2011). اصولاً کشاورزان بر این باورند که با افزایش تراکم می‌توان عملکرد را افزایش داد، امّا بایستی توجه داشت که در تراکم‌های بیشتر از حد مطلوب، کاهش وزن بوته به حدی است که افزایش عملکرد ناشی از افزایش تعداد بوته را خنثی می‌نماید (Asghar et al., 2001). به‌طور کلی، اگرچه نتایج برخی دیگر از مطالعات نیز مؤید افزایش عملکرد در واحد سطح در نتیجه افزایش تراکم در واحد سطح است (Clerget et al., 2016)، ولی چمارا و همکاران (Chamara et al., 2017) گزارش نمودند که تراکم بالای برنج کاهش شدید عملکرد و اجزای آن را به دنبال دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که در واریته‌های اصلاح شده و غیرحساس به فتوپریود، فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر بیشترین عملکرد را داشت؛ در صورتی‌که در واریته-های پابلند و پرپنجه، فاصله 25×25 سانتی‌متر مناسب‌تر بود. نحوی و همکاران (Nahvi et al., 2004) طی بررسی روی اثر فاصله کاشت و مقدار کود نیتروژن بر برنج هیبرید بیان کردند که فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر بیشترین عملکرد را در برنج هیبرید داشت. سوراجیت و دی دتا (Surajit & Datta, 1981) دریافتند که با افزایش فاصله کاشت از 15×15 سانتی‌متر به 20×20 و 25×25 سانتی‌متر عملکرد دانه برنج به‌ترتیب 30 و 50 درصد کاهش یافت.

فاگاد و دی‌داتا (Fagad & De Datta, 1971) نشان دادند که با فاصله بیش از 20×20 سانتی‌متر در هیچ شرایطی نمی‌توان شاخص سطح برگ کافی را جهت حصول حداکثر عملکرد به‌دست آورد. هم‌چنین گزارش شده است که فاصله‌های نزدیک، امکان دستیابی به شاخص سطح برگ مورد نیاز را در زمان کوتاه‌تری امکان‌پذیر می‌سازد (Johnson et al., 1991). چنانچه کاهش فاصله در دو جهت، بین ردیف و بین بوته‌ها در یک ردیف، صورت پذیرد و به کشت مربعی نزدیک شود، موجب توزیع یکنواخت‌تر و بهره‌برداری بیشتر از امکانات محیطی می‌گردد. در چنین شرایطی اگرچه عملکرد تک‌بوته کاهش می‌یابد، ولی در مجموع باعث افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شود (Counce et al., 1989; Johnson et al., 1991). از طرف دیگر، فاصله خیلی نزدیک و کمتر از حد لزوم موجب افزایش هزینه نشاءکاری و احتمال خوابیدگی خواهد شد (Jones & Snyder, 1987). پروایز و همکاران (Pervaiz et al., 1984) نشان دادند که کاهش فاصله کاشت از 30×30 سانتی‌متر به 20×20 سانتی‌متر، اگرچه موجب دو برابر شدن هزینه تولید می‌شود، ولیکن افزایش عملکرد آن را جبران نموده و باعث افزایش بازده اقتصادی می‌گردد.

بر این اساس، از آن‌جایی‌که برنج یکی از محصولات زراعی عمده با نیاز آبی بالا محسوب می‌شود و با توجه به بروز خشکسالی‌های اخیر و کاهش منابع آب قابل دسترس و در نظر گرفتن اهمیت موارد ذکر شده در فوق، این مطالعه با هدف تعیین بهترین روش آبیاری برای رسیدن به حداکثر شاخص‌های رشدی و عملکرد برنج، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات با دو عامل آبیاری (به‌عنوان عامل اصلی) در پنج سطح (آبیاری غرقاب دائم و آبیاری تناوبی پنج، هشت، 10 و 15 روز) و فاصله کاشت (به‌عنوان عامل فرعی) با چهار سطح (20×20، 25×25، 15×30، 20×30 سانتی‌متر) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در محل ستاد مؤسسه تحقیقات برنج طی دو سال 94-1393 و 95- 1394 انجام شد. نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین بافت خاک و میزان ظرفیت نگهداری آب خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک از قبیل EC، pH، میزان Ca، Na و Mg انجام شد (جدول 1).

داده‌های هواشناسی از ایستگاه مجاور مؤسسه تحقیقات برنج جمع‌آوری و ثبت شد.

در 15 روز اول بعد از نشاءکاری آبیاری تناوبی اعمال نشد تا بوته به‌خوبی استقرار یابد. در زمان بارندگی سطح آب در مقدار قبل از شروع بارندگی تثبیت و از ازدیاد عمق آب در اثر باران جلوگیری شد. خزانه‌گیری به‌روش مرسوم منطقه انجام شد. شخم شالیزار در دو نوبت انجام گرفت. شخم اول در اواخر پاییز و اوایل زمستان و شخم دوم عمود بر شخم اول در فصل بهار انجام گرفت. کودپاشی زمین طبق عرف انجام شد. بر این اساس، 45 کیلوگرم در هکتار فسفر به‌صورت سوپر فسفات تریپل، 100 کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌صورت سولفات پتاسیم و 65 کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌صورت

اوره قبل از کاشت به خاک اضافه شد.

جدول 1- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

Table 1- Chemical and physical charactristics of soil

ویژگی Characteristic	واحد Unit	مقدار Value
رس Clay	Percent	46
سیلت Silt	Percent	42
شن Sand	Percent	12
اشباع Saturation	Percent	82.1
هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	1.48
واکنش pH	-	7.46
کربن آلی Organic carbon	Percent	2.05
نیتروژن کل Total N	Percent	0.16
فسفر P	$mg.kg^{-1}$	6.7
پتاسیم K	$mg.kg^{-1}$	142

عملیات نشاءکاری در 25 اردیبهشت ماه انجام گرفت. در این زمان، نشاءها به اندازه طبیعی خود یعنی 20 تا 25 سانتی‌متر رسیده و دارای چهار تا پنج برگ بودند. برای انجام نشاءکاری، نشاءها از خزانه به زمین اصلی منتقل شدند. قبل از انتقال نشاءها، خزانه کاملاً آبیاری شد تا عمل کندن نشاءها به‌آسانی صورت گیرد و به ریشه‌ها آسیبی وارد نگردد. سپس کاشت نشاءها در زمین اصلی صورت گرفت. صفاتی از قبیل وزن خشک ساقه و برگ، شاخص سطح برگ (LAI)[1]، سرعت رشد محصول (CGR)[2]، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)[3]، نسبت سطح برگ (LAR)[4]، سرعت رشد نسبی (RGR)[5] و سطح ویژه برگ (SLA)[6] اندازه‌گیری و محاسبه شد.

شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله 1 محاسبه گردید.

1- Leaf area index
2- Crop growth rate
3- Net assimilation rate
4- Leaf area ratio
5- Relative growth rate
6- Specific leaf area

معادله (1) $LAI = LA / GA$

در این معادله، LA: سطح برگ به مترمربع و GA: سطح زمین اشغال شده توسط برگ می‌باشد.

سرعت رشد گیاه (CGR) با استفاده از معادله 2 محاسبه شد.

معادله (2) $CGR = W_2 - W_1 / T_2 - T_1$

که در آن، $W_2 - W_1$: تغییرات وزن خشک و $T_2 - T_1$: فاصله زمانی نمونه‌برداری می‌باشد.

سرعت جذب خالص (NAR) با استفاده از معادله 3 محاسبه شد.

معادله (3) $NAR = CGR / LAI$

سرعت رشد نسبی (RGR) طبق معادله 4 محاسبه شد که در آن، TDW: وزن خشک کل گیاه است.

معادله (4) $RGR = CGR / TDW$

سطح ویژه برگ (SLA) طبق معادله 5 محاسبه شد که در آن، LA: سطح برگ و LDW: وزن خشک برگ می‌باشد.

معادله (5) $SLA = LA / LDW$

نسبت سطح برگ (LAR) با استفاده از معادله 6 محاسبه شد.

معادله (6) $LAR = LA / TDW$

به‌منظور انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزارهای SAS و SPSS، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای مقایسه میانگین از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات وزن خشک برگ و ساقه، LDW، TDW و CGR در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. هم‌چنین شاخص سطح برگ و NAR در فاکتور آبیاری تناوبی و فاصله کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. صفات LAR، LWR، RGR و SLA معنی‌دار نبودند (جدول 2).

شاخص سطح برگ (LAI) یکی از معیارهای اساسی و مهم در تعیین قدرت فتوسنتزی گیاه محسوب می‌گردد که بیان‌کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است. تراکم از جمله عوامل تأثیرگذار بر شاخص سطح برگ است. هرچه فاصله بین بوته‌ها کمتر باشد سبب افزایش تعداد پنجه و در نهایت تعداد برگ سبز در واحد سطح می گردد. اگرچه ممکن است، با افزایش تراکم تعداد پنجه کاهش یابد، ولی به‌علت این‌که در کل تعداد پنجه در واحد سطح

افزایش می‌یابد، LAI با افزایش تراکم کاشت افزایش می‌یابد. شاخص سطح برگ ابتدا افزایش یافته و این روند کمی قبل از خوشه‌دهی به بالاترین مقدار رسید و بعد از آن به‌علت پژمردگی برگ های پایینی و ریزش برگ‌ها کاهش یافت (جدول‌های 3 و 4). با توجه به این‌که عامل مهم مؤثر بر رشد و تولیدات گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی است، افزایش تعداد و سطح برگ در گیاهان باعث افزایش جذب نور شده که در نهایت، به شرط محدودکننده نبودن سایر فاکتورهای محیطی و بروز هر نوع تنش زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه عملکرد گردد. سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است دلیل عمده کاهش شاخص سطح برگ در مراحل پایانی رشد ریزش بعضی از برگ‌های پایینی می‌باشد (Saberali et al., 2007). به‌طوری‌که فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 1/95 بیشترین و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 1/46 کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول‌های 3 و 4). لباسچی و همکاران (Lebaschy & Sharifi, 2004) نیز گزارش کردند که پتانسیل فتوسنتزی و توان رشدی، همبستگی بالایی با سطح برگ داشته و میزان ماده خشک کل نتیجه کارآیی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تابش نور خورشید در طول فصل رشد است که در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که با پوشش یکنواخت و کامل، جذب حداکثری نوری را فراهم آورد. یافته-های دیگر محققان بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاهان تأکید دارد (Ghobadi et al., 2011; Mostafavi, 2014). از جمله دلایلی که آبیاری سطح برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد این است که آبیاری جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش مواد فتوسنتزی می‌گردد که سطح برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آبیاری هم‌چنین از طریق افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش پتانسیل اسمزی و فشار تورژسانس سطح برگ سبب افزایش سطح برگ می‌شود. آبیاری می‌تواند سطح برگ را از طریق تغییر در میزان توسعه برگ و تغییر در میزان پیری برگ تحت تأثیر قرار دهد. آبیاری هر روز بیشترین شاخص سطح برگ را با 2/19 ایجاد نمود و آبیاری 15 روز با 1/25 کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری هر روز و و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین شاخص سطح برگ با 2/57 بودند. هم‌چنین آبیاری 15 روز و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 0/96 کمترین میزان را به خود اختصاص داد (جدول‌های 3 و 4). به‌طور کلی، با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ تک‌گیاه اگرچه ممکن است با کاهش مواجه شود و این کاهش در گیاهان مغلوب در رقابت محسوس باشد، ولی در کل، مجموع سطح برگ گیاهان در واحد سطح افزایش می‌یابد (Dhingra et al., 1991). از آن‌جایی‌که در برنج برخلاف سایر گیاهان زراعی که رقابت اصلی بین بوته‌ها برای دریافت نور می‌باشد، رقابت بیشتر بین نشاءها برای جذب مواد غذایی است، بنابراین، با افزایش تراکم کاشت، رشد رویشی و شاخص سطح برگ کاهش یافته است و به‌تدریج با کاهش تراکم، به‌دلیل در اختیار داشتن فضای بیشتر، رشد رویشی و شاخص سطح برگ افزایش یافت. بر این اساس، به نظر می‌رسد در فاصله ردیف‌های کمتر و تراکم‌های بیشتر، رشد رویشی در هر کپه تحت تأثیر کنترل رقابت بین بوته‌ها و امکانات محیطی بوده و به همین دلیل تقریباً در حد معینی متوقف شده است؛ در حالی‌که در فاصله ردیف‌های بیشتر، به‌علت رقابت ناچیز بین بوته‌ها، رشد رویشی همچنان ادامه داشت و موجب تأخیر در خوشه‌دهی و تا حدودی کاهش شاخص سطح برگ شده است. چنین حالتی در تراکم‌های کمتر موجب افزایش پنجه‌های ثانویه شده که این امر از طریق غیریکنواختی رسیدگی و طولانی‌تر شدن مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه می‌تواند به‌طور معنی‌داری عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد. در کشاورزی پایدار برای بهبود شرایط زراعی و افزایش کارآیی مصرف آب و بهره‌وری مصرف آن، راهکارهای زراعی همچون تراکم کاشت و مدیریت آبیاری توصیه می‌شود که با طبیعت بیشترین سازگاری را داشته و با اصول بوم‌شناختی هماهنگ باشند.

وزن خشک برگ یکی از عوامل تأثیرگذار در رشد گیاه می‌باشد. تراکم کاشت و آبیاری، وزن خشک برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هرچه تراکم بوته بیشتر باشد به‌دلیل این‌که شاخص سطح برگ نیز افزایش می‌یابد، در نتیجه جذب اشعه خورشید افزایش می‌یابد. این افزایش سبب بیشتر شدن تولید مواد فتوسنتزی گیاه می‌گردد که افزایش وزن اندام‌های هوایی را سبب می‌شود. فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 13/84 گرم در مترمربع بیشترین و فاصله کاشت 25×25 با 13/28 گرم در مترمربع کمترین وزن خشک برگ را داشتند (جدول 4). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و هم‌چنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرایندهای بیولوژیک گیاه سبب افزایش وزن خشک می‌گردد. با کاهش محتوی آب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن می‌توان به تغییر در انتقال آنزیم‌ها

در فتوسنتز و آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. آبیاری روزانه با 14/12 گرم در مترمربع دارای بیشترین وزن خشک برگ و فاصله آبیاری 15 روز با 12/97 گرم در مترمربع کمترین میزان را به خود اختصاص داد (جدول 3).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشدی برنج طی دو سال زراعی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of alternating irrigation and plant spacing on physiological growth indices of rice during two growing seasons

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	سرعت رشد نسبی RGR	حداکثر وزن خشک ساقه Stem dry weight$_{max}$	حداکثر وزن خشک برگ Leaf dry weight$_{max}$	حداکثر شاخص سطح برگ LAI$_{max}$	سرعت اسیمیلاسیون خالص NAR	حداکثر وزن خشک کل TDW$_{max}$	سطح ویژه برگ SLA	نسبت سطح برگ LAR	حداکثر سرعت رشد نسبی CGR$_{max}$	نسبت وزن خشک برگ LWR
سال Year (Y)	1	0.000 ns	0.108 ns	0.768 ns	0.001 ns	0.001 ns	577.900 ns	0.000 ns	0.000 ns	115.248 ns	0.000 ns
خطای اصلی Main error	4	0.000	0.715	0.758	0.671	0.671	1237.687	0.000	0.000	0.137	0.000
آبیاری تناوبی Alternating irrigation (I)	4	0.000 ns	5.811 **	5.101 **	2.983 **	2.983 **	8818.369 **	0.000 ns	0.000 ns	36.209 **	0.000 ns
I × Y	4	0.000 ns	0.006 ns	0.000 ns	0.066 ns	0.066 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns
خطای فرعی Sub error	16	0.000	0.039	0.021	0.030	0.030	42.907	0.000	0.000	0.033	0.000
فاصله کاشت Plant spacing (S)	3	0.000 ns	2.396 **	2.440 ns	2.402 **	2.402 **	517873.945 **	0.000 ns	0.000 ns	19.045 **	0.000 ns
S × Y	3	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.025 ns	0.025 ns	6.940 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns
I × S	12	0.000 ns	0.022 **	0.026 **	0.142 ns	0.142 ns	183.539 **	0.000 ns	0.000 ns	0.035 **	0.000 ns
I× S ×Y	12	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.079 ns	0.079 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns
خطای فرعی فرعی Sub sub error	60	0.000	0.006	0.007	0.008	0.008	16.533	0.000	0.000	0.179	0.000
ضریب تغییرات C.V (%)		1.49	0.54	1.12	15.87	15.87	0.74	14.36	14.35	1.58	0.15

ns، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

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

جدول 3- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر شاخص سطح برگ گیاه برنج در دو سال زراعی

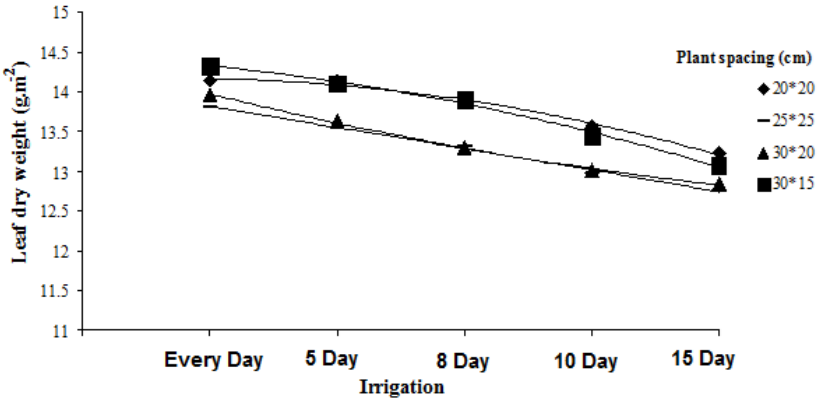
Table 3- Mean comparisons for the effects of alternating irrigation and plant spacing on leaf area index of rice during two growing seasons

فاصله کاشت Plant spacing (cm)	غرقاب Submergence	فاصله آبیاری Irrigation interval (days)			
		5	8	10	15
20×20	2.578^{a*}	2.287^{ab}	2.005^{bcd}	1.587^{defg}	1.297^{ghi}
25×25	1.925^{bcde}	1.642^{defg}	1.348^{fghi}	1.447^{fgh}	0.96^{i}
30×20	1.932^{bcde}	1.758^{cdef}	1.502^{efgh}	1.662^{defg}	1.097^{hi}
30×15	2.353^{ab}	2.128^{abc}	2.200^{abc}	1.947^{bcde}	1.652^{defg}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

گرنت و همکاران (Grant et al., 1989) بیان کردند که تنش خشکی باعث کاهش آسیمیلاسیون و در نهایت کاهش ماده خشک گیاه می‌شود. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری روزانه و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 14/41 گرم در مترمربع دارای بیشترین وزن خشک برگ و فاصله آبیاری 15 روز و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 12/76 گرم در مترمربع دارای کمترین وزن خشک برگ بودند (جدول 3).



فاصله کاشت Plant spacing (cm)		فاصله کاشت Plant spacing (cm)	
20×20	y = -0.053x2 + 0.080x + 14.13 R² = 0.991	30×20	y = 0.027x^2 - 0.448x + 14.39 R² = 0.998
25×25	y = -0.001x^2 - 0.259x + 14.07 R² = 0.995	30×15	y = -0.040x^2 - 0.072x + 14.43 R² = 0.994

شکل 1- اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر وزن خشک برگ برنج

Fig. 1- Interaction of alternating irrigation and plant spacing on leaf dry weight of rice

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، پنج روز، هشت روز، 10 روز و 15 روز یک‌بار

I_1, I_2, I_3, I_4 and I_5: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر شاخص‌های رشدی گیاه برنج طی دو سال زراعی

Table 4- Mean comparisons for the interaction effects of alternating irrigation and plant spacing on growth indices of rice during two growing seasons

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	وزن خشک برگی LDW ($g.m^{-2}$)	وزن خشک کل TDW ($g.m^{-2}$)	سرعت رشد نسبی RGR ($g.m^{-2}$)	سرعت آسیمیلاسیون خالص NAR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	نسبت سطح برگی LAR ($m^2.g^{-1}$)	سطح ویژه برگی SLA ($m^2.g^{-1}$)	نسبت وزن برگی LWR ($g.g^{-1}$)	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($g.m^{-2}$)
$I_1\times D_1$	2.578^{a*}	13.92^{a}	360.2^{a}	728.8^{a}	0.019^{a}	5.42^{f}	0.003536^{a}	0.0071^{a}	0.4942^{a}	14.41^{a}	14.74^{a}
$I_1\times D_2$	1.925^{bcde}	12.54^{e}	221^{m}	447.6^{m}	0.028^{a}	6.53^{def}	0.004297^{a}	0.0087^{a}	0.4936^{a}	13.81^{d}	14.17^{d}
$I_1\times D_3$	1.932^{bcde}	13.18^{cd}	231.8^{k}	469.3^{k}	0.028^{a}	6.83^{def}	0.004118^{a}	0.0083^{a}	0.4939^{a}	13.96^{c}	14.31^{c}
$I_1\times D_4$	2.353^{ab}	13.62^{b}	317.8^{f}	644^{f}	0.021^{a}	5.88^{ef}	0.003653^{a}	0.0074^{a}	0.4935^{a}	14.32^{a}	14.69^{a}
$I_2\times D_1$	2.287^{ab}	13.32^{bc}	353.4^{h}	715.3^{b}	0.018^{a}	5.89^{ef}	0.003198^{a}	0.0064^{a}	0.4941^{a}	14.14^{b}	14.47^{b}
$I_2\times D_2$	1.642^{defg}	11.71^{g}	216.9^{n}	439.4^{n}	0.026^{a}	7.17^{def}	0.003739^{a}	0.0075^{a}	0.4935^{a}	13.55^{ef}	13.91^{e}
$I_2\times D_3$	1.758^{cdef}	12.65^{e}	226.2^{l}	457.4^{l}	0.027^{a}	7.20^{def}	0.003846^{a}	0.0077^{a}	0.4945^{a}	13.63^{e}	13.93^{e}
$I_2\times D_4$	2.128^{abc}	10.95^{d}	313.2^{g}	633.8^{g}	0.020^{a}	6.27^{def}	0.003358^{a}	0.0067^{a}	0.4941^{a}	14.11^{b}	14.44^{b}
$I_3\times D_1$	2.005^{bcd}	12.63^{e}	346.9^{e}	701.7^{c}	0.018^{a}	6.38^{def}	0.002860^{a}	0.0057^{a}	0.4944^{a}	13.88^{cd}	14.19^{cd}
$I_3\times D_2$	1.348^{fghi}	10.61^{j}	213.1^{o}	430.2^{o}	0.024^{a}	7.91^{abcd}	0.003139^{a}	0.0063^{a}	0.4954^{a}	13.32^{gh}	13.57^{hi}
$I_3\times D_3$	1.502^{efgh}	11.63^{g}	220.7^{m}	447.2^{m}	0.026^{a}	7.82^{abcd}	0.003360^{a}	0.0068^{a}	0.4934^{a}	13.29^{h}	13.65^{gh}
$I_3\times D_4$	2.200^{abc}	12.12^{f}	308.7^{h}	622.9^{h}	0.019^{a}	5.61^{f}	0.003535^{a}	0.0071^{a}	0.4955^{a}	13.90^{cd}	14.15^{d}
$I_4\times D_1$	1.587^{defg}	12.03^{f}	339.2^{d}	685.2^{d}	0.017^{a}	7.72^{bcd}	0.002321^{a}	0.0046^{a}	0.4950^{a}	13.57^{ef}	13.84^{ef}
$I_4\times D_2$	1.447^{fgh}	9.733^{l}	207.5^{p}	$419.8p$	0.023^{a}	6.73^{def}	0.003453^{a}	0.0069^{a}	0.4943^{a}	12.97^{ij}	13.27^{j}
$I_4\times D_3$	1.662^{defg}	10.98^{hi}	216^{no}	436.8^{no}	0.025^{a}	6.62^{def}	0.003807^{a}	0.0077^{a}	0.4944^{a}	13.01^{i}	13.30^{j}
$I_4\times D_4$	1.947^{bcde}	11.18^{h}	298.3^{j}	602.9^{j}	0.018^{a}	6.12^{def}	0.003239^{a}	0.0065^{a}	0.4948^{a}	13.44^{fg}	13.72^{fg}
$I_5\times D_1$	1.297^{ghi}	11.08^{h}	330.5^{g}	668.1^{e}	0.016^{a}	9.13^{abc}	0.001937^{a}	0.0039^{a}	0.4947^{a}	13.22^{h}	13.50^{ij}
$I_5\times D_2$	0.96^{j}	9.003^{m}	204.2^{p}	412.6^{q}	0.021^{a}	9.59^{a}	0.002324^{a}	0.0046^{a}	0.4948^{a}	12.76^{k}	13.03^{k}
$I_5\times D_3$	1.097^{hi}	10.29^{k}	213.2^{o}	431.3^{o}	0.023^{a}	9.41^{ab}	0.002539^{a}	0.0051^{a}	0.4943^{a}	12.84^{ijk}	13.14^{k}
$I_5\times D_4$	1.652^{defg}	10.72^{ij}	290.2^{j}	586.2^{j}	0.018^{a}	7.46^{cde}	0.002830^{a}	0.0057^{a}	0.4950^{a}	13.07^{i}	13.33^{j}

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، پنج روز، هشت روز، ۱۰ روز و ۱۵ روز یکبار و D_1، D_2، D_3 و D_4: به‌ترتیب ۲۰×۲۰، ۲۵×۲۰، ۳۰×۲۰ و ۳۰×۱۵ سانتی‌متر

I_1, I_2, I_3, I_4 and I_5: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days and D_1, D_2, D_3 and D_4: 20×20, 25×25, 20×30 and 30×15, respectively.

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) for each column have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

وزن خشک ساقه تحت تأثیر آبیاری تناوبی و فاصله کاشت قرار می‌گیرد. آبیاری هر روزه با 14/48 گرم در مترمربع دارای بیشترین وزن خشک ساقه و آبیاری 15 روزه با 13/25 گرم در مترمربع کمترین میزان را به خود اختصاص داد. در بین فاصله‌های مختلف کاشت، فاصله 20×20 سانتی‌متر با 14/15 گرم در مترمربع بیشترین و فاصله 25×25 سانتی‌متر با 13/59 گرم در مترمربع کمترین وزن

خشک ساقه را داشتند. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هر روزه و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 14/74 گرم دارای بیشترین وزن خشک ساقه و آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 13/03 گرم دارای کمترین وزن خشک ساقه بودند (جدول 4). وزن خشک ساقه اگرچه متأثر از عوامل ژنتیکی می‌باشد، ولی به‌شدت وابسته به عوامل محیطی همچون میزان و عمق آب، عناصر غذایی، شدت نور و تاریخ کاشت است. در مرحله طویل شدن ساقه نیاز گیاه به آب افزایش می‌یابد. کمبود آب در این مرحله نه تنها روی طویل شدن ساقه بلکه بر اندام‌های تولیدی گل نیز تأثیر منفی دارد (Saadati, 1996). بر اساس نتایج تحقیقات یوشیدا (Yoshida, 1975) مشخص گردید که وجود آب کافی در طی مراحل رشد برنج، در رشد طولی ساقه و ریشه‌دهی مناسب تأثیر داشته و از این طریق، رشد اندام‌های هوایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. علاوه‌براین، مشاهده شده که تولید هورمون جیبرلین در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط هوازی است. افزایش غلظت جیبرلین در این شرایط باعث افزایش رشد طولی اندام‌های هوایی می‌گردد.

سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیاهی در واحد سطح در واحد زمان می‌باشد و به‌طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد گیاهان به‌کار گرفته شده است. از آن‌جایی‌که CGR حاصلضرب شاخص سطح برگ در سرعت آسیمیلاسیون خالص می‌باشد، لذا گیاهانی که شاخص سطح برگ بالاتری دارند سرعت رشد محصول آن‌ها نیز بالاتر می‌باشد، زیرا هرچه شاخص سطح برگ بالاتر باشد میزان تولید مواد فتوسنتزی نیز بالاتر می‌باشد. سرعت رشد گیاه یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان همبستگی بالایی دارد (Mohammadian et al., 2013) و از مهم‌ترین شاخص‌های تجزیه و تحلیل رشد در جامعه‌های گیاهی می‌باشد که به‌صورت افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح زمین در واحد زمان تعریف می‌شود و به‌طور معمول، بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در مترمربع (سطح زمین) در روز بیان می‌شود. از این شاخص به‌طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل رشد گیاهان استفاده می‌شود. معمولاً در آغاز فصل رشد به‌دلایلی همچون کافی نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب تابش، کوتاه بودن روزها و دمای پایین هوا، سرعت رشد گیاه پایین بوده و پس از مدتی به‌دلیل توسعه سطح برگ و افزایش رشد ریشه و در نتیجه امکان فتوسنتز بالاتر، سرعت رشد گیاه شدت می‌یابد و در اواسط دوره رشد به حداکثر میزان خود می‌رسد. پس از این مرحله سرعت رشد گیاه دچار کاهش شدیدی می‌شود و این روند تا پایان دوره رشد گیاه ادامه می‌یابد. فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 12/60 گرم بر مترمربع در روز بیشترین و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 10/72 گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را CGR دارا بودند (جدول 4). آبیاری باعث افزایش CGR در گیاه برنج می‌گردد. آبیاری توان تولید مواد فتوسنتزی را در گیاه برنج افزایش می‌دهد که باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه و سبب افزایش شاخص TDW می‌گردد. از آنجا که CGR همبستگی زیادی با TDW دارد، افزایش TDW باعث افزایش CGR می‌گردد. با کاهش آبیاری و وزن خشک گیاه، CGR کاهش می‌یابد. آبیاری هر روز بیشترین CGR را با 13/32 گرم بر مترمربع در روز و آبیاری 15 روزه با 10/27 گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود (جدول 4). آبیاری هر روز و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین CGR با 13/92 گرم بر مترمربع در روز بودند، هم‌چنین آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 9/003 گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند (جدول 4). به نظر می‌رسد بالاتر بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری به‌ویژه در مراحل انتهایی رشد (Van Irsel, 2000; Van Irsel & Seymour, 2000) موجب کاهش شدیدتر سرعت رشد گیاه شده است. نتایج نشان داده است که سرعت رشد گیاه رابطه مستقیمی با سطح فتوسنتزکننده داشته و به‌ویژه در تراکم‌های مطلوب، توزیع بوته‌ها و سطح برگ در واحد سطح یکنواخت‌تر شده و برگ‌ها موقعیت مناسب‌تری برای جذب تابش و فتوسنتز پیدا می‌کنند و در نتیجه سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد (Oozooni Doji et al., 2008). بین سرعت رشد گیاه و میزان تابش جذب شده توسط برگ‌های گیاه رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که در آغاز و پایان فصل رشد به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کم بودن سطح دریافت‌کننده تابش، تولید ماده خشک کمتر شده و میزان سرعت رشد گیاه هم کم می‌باشد، امّا با رشد سریع گیاه و افزایش سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد (Habibzadeh et al., 2006). راعی و همکاران (Raee et al., 2008) نتیجه گرفتند کاهش سرعت رشد محصول در تراکم‌های بالاتر به‌دلیل تشدید رقابت درون‌گونه‌ای بیشتر بود.

سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) عبارت است از مقدار مواد ساخته شده خالص (غالباً فتوسنتزی) در واحد سطح برگ در واحد

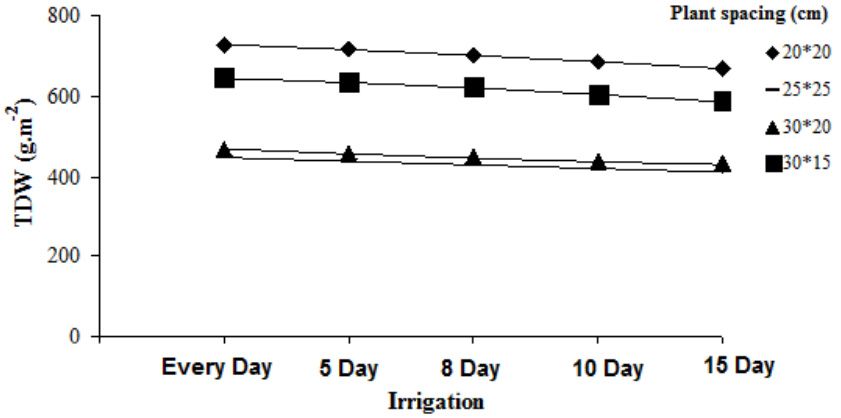
زمان، افزایش تراکم کاشت باعث کاهش NAR می‌گردد؛ میزان جذب و ساخت خالص گیاه در اوایل فصل رشد به‌دلیل پایین بودن سطح برگ و فتوسنتز پایین بوده و به‌تدریج همراه با رشد و افزایش شاخص سطح برگ، در اواسط دوره رشد افزایش چشمگیری یافته و پس از آن به‌دلایلی همچون سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر، انتقال دوباره عناصر، پیری برگ‌ها و کاهش کارآیی فتوسنتزی آن‌ها کاهش شدیدی می‌یابد. به‌طوری‌که فاصله کاشت 15×30 سانتی‌متر با 6/27 گرم بر مترمربع در روز کمترین NAR و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 7/59 گرم بر مترمربع در روز بیشترین مقدار را دارا بودند. آبیاری باعث کاهش NAR می‌گردد. آبیاری هر روزه با 6/17 گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR و آبیاری 15 روزه با 8/90 گرم بر مترمربع در روز بیشترین مقدار را دارا بود. آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین NAR با 9/59 گرم بر مترمربع در روز بودند. هم‌چنین آبیاری هر روزه و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 5/42 گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند (جدول 4). در پایان فصل رشد، همچون شاخص سطح برگ و سرعت افزایش تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه، سرعت جذب و ساخت خالص نیز به صفر می‌رسد که این موضوع ناشی از مسن شدن برگ‌ها و کاهش ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی، تخریب تدریجی کلروفیل و کاهش غلظت آن در سطح برگ و هم‌چنین افزایش تنفس در مقایسه با فتوسنتز در اثر نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد (Oozooni Doji et al., 2008). به‌طور کلی، به نظر می‌رسد شاخص سطح برگ و سرعت جذب و ساخت خالص بالا، به شرط ثابت بودن دیگر شرایط برای تیمارهای مختلف می‌تواند منجر به دستیابی به تجمع بیشتر ماده خشک شود (Mostafavi, 2014).

بالاترین LDW در آبیاری هر روز با 282/7 گرم بر مترمربع و کمترین مقدار در آبیاری 15 روزه با 259/5 گرم بر مترمربع مشاهده شد (جدول 4). شاخص LDW همبستگی زیادی با وزن خشک برگ دارد و از حاصل‌ضرب وزن خشک برگ در ضریب به‌دست می‌یابد. در نتیجه آبیاری، تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد که باعث افزایش وزن خشک برگ شده و افزایش این عامل باعث افزایش شاخص LDW می‌گردد. کاهش آبیاری باعث کاهش سطح برگ و جذب نور خورشید می‌گردد که این عامل منجر به کاهش فتوسنتز و تولید مواد در گیاه می‌گردد و در نتیجه وزن خشک برگ کاهش می‌یابد. در بین فواصل مختلف کاشت، 20×20 سانتی‌متر با 346 گرم بر مترمربع بیشترین و 25×25 سانتی‌متر با 212/5 گرم بر مترمربع کمترین مقدار LDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هر روز و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 360/2 گرم بر مترمربع بیشترین LDW و آبیاری 15 روزه فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 204/2 گرم بر مترمربع کمترین LDW را داشتند (جدول 4). آشوری و امیری (Ashoouri & Amiri, 2011) گزارش کردند که فاصله آبیاری پنج، هشت و 11 روزه باعث کاهش تولید زیست‌توده تولیدی در مقایسه با آبیاری غرقابی در برنج شد. کاتوزی و همکاران (Katozi et al., 2007) نیز گزارش کردند که با تغییر روش آبیاری از حالت غرقابی به تناوبی، عملکرد بیولوژیکی برنج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که برای فاصله‌های آبیاری پنج، هشت و 11 روز به‌ترتیب 21، 28 و 32 درصد در مقایسه با آبیاری غرقابی کاهش عملکرد بیولوژیک مشاهده شد. بلدر و همکاران (Belder et al., 2004) نیز نشان دادند که آبیاری اثر مثبتی بر تولید ماده خشک برنج دارد. در شرایط کمبود آب، رشد سلول‌ها به‌عنوان اولین فرآیند تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Miri, 2009). بنابراین، با کاهش میزان آب موجود، سطح برگ و میزان فتوسنتز گیاه کاهش یافته که از این طریق تولید ماده خشک کاهش می‌یابد (Grigg et al., 2000).

علاوه‌براین، افزایش رقابت بین بوته‌ای در نتیجه سایه‌اندازی بوته‌ها بر روی یکدیگر تحت تأثیر افزایش تراکم موجب بالا رفتن تنفس، نگهداری و انتقال کمتر مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی شده و از سوی دیگر، به‌دلیل تولید پنجه کمتر در بوته کاهش تولید ماده خشک را به دنبال دارد. از طرف دیگر، افزایش تراکم در واحد سطح می‌تواند به مدیریت علف‌های هرز کمک نماید، زیرا سایه‌انداز گیاهی زودتر تشکیل شده و با ایجاد سایه از رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌گردد.

TDW یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی وضعیت رشد گیاه می‌باشد که نشان‌دهنده میزان تجمع ماده خشک در کل گیاه است. در واقع، مجموع بافت‌های فتوسنتزکننده و تنفس‌کننده را نشان می‌دهد. این شاخص، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است (Mostafavi, 2014) و ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. چنان‌که انتظار می‌رفت، بیشترین تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در تیمارهایی رخ داد که دارای شاخص سطح برگ

بالاتر و در نتیجه ظرفیت بالاتری برای تولید و تجمع ماده خشک بودند. افزایش شاخص سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه خود می‌تواند بهبود عملکرد را موجب گردد. افزایش تراکم باعث افزایش TDW می‌گردد؛ به‌طوری‌که فاصله 20×20 سانتی‌متر با 699/8 گرم بر مترمربع بیشترین و 25×25 سانتی‌متر با 429/9 گرم بر مترمربع کمترین میزان TDW را دارا بودند (جدول 4). اعمال آبیاری از طریق افزایش رشد باعث افزایش TDW می‌گردد. شاخص TDW همبستگی زیادی با وزن خشک برگ دارد و از حاصل‌ضرب وزن خشک برگ در ضریب به‌دست می‌یابد. در آبیاری هر روز با 572/4 گرم بر مترمربع بیشترین و در آبیاری 15 روزه با 524/5 گرم بر مترمربع کمترین TDW مشاهده شد. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هر روز و فاصله کاشت 20×20 با 728/8 گرم بر مترمربع بیشترین TDW و آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 412/6 گرم بر مترمربع کمترین TDW را داشتند (جدول 4).



فاصله کاشت Plant spacing (cm)		فاصله کاشت Plant spacing (cm)	
20×20	$y = -0.714x^2 - 10.71x + 739.4$ $R^2 = 1$	30×20	$y = 0.928x^2 - 15.27x + 483.6$ $R^2 = 0.996$
25×25	$y = -9x + 456.4$ $R^2 = 0.996$	30×15	$y = -1.357x^2 - 6.557x + 652$ $R^2 = 0.996$

شکل 2- اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت بر میزان تجمع ماده خشک برنج

Fig. 2- Interaction of alternating irrigation and plant spacing on total dry weight of rice

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، پنج روز، هشت روز، 10 روز و 15 روز یک‌بار

I_1, I_2, I_3, I_4 and I_5: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

اگرچه تأثیر خشکی بر عملکرد و اجزای آن تأثیر زیادی دارد، ولی طول دوره خشکی مشخص‌کننده شدت و ضعف آن می‌باشد. کاهش رطوبت طی مرحله تشکیل خوشه و گل‌دهی باعث می‌شود تا تلقیح به‌خوبی انجام نشده و عملکرد برنج افت نماید، زیرا در رطوبت کم، دانه‌های گرده نمی‌توانند به تخمدان نفوذ کرده و در نتیجه تلقیح به‌خوبی انجام نگرفته و دانه‌های پوک تولید می‌شوند (Soleimani & Amiri Larijani, 2003). فاصله بیشتر بین بوته‌ها باعث می‌شود هر گیاه به‌دلیل فضای بیشتر در اطراف خود، نور بیشتری دریافت نموده و فعالیت فتوسنتزی خود را بهتر انجام دهد و از گیاهانی که به یکدیگر نزدیک‌تر هستند، بهتر رشد کند (Baloch et al., 2002). هم‌چنین به نظر می‌رسد که کاهش فواصل نشاءکاری باعث افزایش هزینه تولید شده و از لحاظ اقتصادی و بازده انرژی مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد.

در اوایل دوره رشد، میزان و سرعت تجمع ماده خشک کم بود و با گذشت زمان و همراه با افزایش شاخص سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش یافته و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری گرفت و پس از آن به‌دلایلی همچون پیری و زردی برگ‌ها،

سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی و ریزش بـرگ‌هـای پـایینی، انتقال دوباره کربوهیـدرات‌هـای ذخیـره شـده، افـزایش بافـت‌هـای ساختمانی غیرفتوسنتزی و افزایش تنفس گیـاه، شـیب تجمـع مـاده خشـک کـم شـده و سـپس ثابـت مـی‌شـود (Mostafavi, 2014). هم‌چنین به نظر می‌رسد کاهش چشمگیر سرعت و ثابت شدن رونـد تجمع ماده خشک کمی پس از گل‌دهی گیاه و هم‌زمان با پـر شـدن دانه رخ داده است. کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و بین بوته‌ای در فاصله کاشت بیشتر منجر به افزایش جذب نور و مواد غذایی و بهبود فتوسنتز و به دنبال آن افزایش تجمع نسبی ماده خشک شده است.

RGR یا سرعت رشد نسبی، نشان‌دهنده تولید ماده خشـک هـر گیاه نسبت به وزن اولیه گیاه می‌باشد که در مراحل اولیـه رشـد کـه برگ‌های گیاه اغلب در معرض نور خورشید قرار دارد، سرعت تجمـع ماده خشک بالاتر بوده ولی همزمان با رشد گیاه و افزایش سایه‌اندازی به‌جای اینکه تمامی برگ‌ها تولیدکننده مواد فتوسنتزی باشند، بخشی از آن‌ها بیشتر نقش مصرف‌کننده داشته و باعث کاهش سرعت رشـد نسبی می‌گردد. بیشترین و کمترین RGR به‌ترتیب در آبیاری هر روز با 0/024 گرم بر گرم در روز و آبیاری 15 روزه با 0/020 گرم بر گرم در روز مشاهده شد. در بین فواصل کاشت، 20×30 با 0/026 گرم بر گرم در روز بیشترین و 20×20 سانتی‌متر با 0/017 گرم بر گرم در روز کمترین مقدار RGR را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هر روز و فاصله کاشت 20×30 سانتی‌متـر بـا 0/028 گرم بر گرم در روز بیشترین RGR و آبیاری 15 روزه فاصله کاشـت 20×20 سانتی‌متر بـا 0/16 گـرم بـر گـرم در روز کمتـرین RGR را داشتند (جدول 4). یکی از دلایل این امر آن است که بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، اغلب بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و نقشی در فتوسنتز ندارند. هم‌چنین به‌دلیل قرار گرفتن برگ‌های اولیه در سایه و افزایش سن آن‌ها فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و سرعت رشد نسبی نیز کاهش می‌یابد. هر چند که وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند، ولی از سرعت رشـد نسبی به‌دلیل افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های در حال رشد کاسته می‌شود. نتایج برخی از دیگر مطالعات نیز مؤیـد کـاهش سرعت رشد نسبی بر اثر گذشت زمان به‌دلیل سایه‌اندازی گیاه مـی‌باشد (Eydizadeh et al., 2010; Tarigholeslami et al., 2012). افزایش سن برگ، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بـر روی بـرگ‌هـای پایینی و هم‌چنین تخصیص منابع از برگ‌ها به ریشه با افزایش اندازه گیاه از جمله مهم‌ترین دلایل کاهش سرعت رشد نسبی در طول زمان است (Zafarian et al., 2009).

نسبت سطح برگ در واقع شاخصی مورفولوژیک از میزان برگ در گیاه می‌باشد. از آنجا که این شاخص با اجـزای فتوسـنتزی و تـنفس گیاه در ارتباط بوده و معیاری از توازن هزینه‌ها میان ورودی و خروجی است. SLA نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ در واحد مترمربـع بر گرم می‌باشد. در واقع، SLA نسبت سطح بافت‌های فتوسنتزکننده را به وزن بافت‌های فتوسنتزکننده نشان می‌دهد. آبیاری باعث افزایش SLA می‌گردد، به‌طوری‌که بیشـترین SLA در آبیـاری هـر روزه بـا 0/007 مترمربع بر گرم و کمترین SLA در آبیاری 15 روزه با 0/004 مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین فواصل کاشـت، فاصـله کاشـت 20×30 سانتی‌متر با 0/007 مترمربع بر گرم بیشترین و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر در هکتار با 0/005 مترمربع بر گرم کمترین SLA را داشتند. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هر روزه و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 0/008 مترمربع بـر گـرم دارای بیشترین SLA و آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متـر با 0/003 مترمربع بر گرم دارای کمترین SLA بودند (جدول 4). بـه نظـر مـی‌رسـد کـه در فاصـله ردیـف بیشـتر، قسـمت عمـده‌ای از کربوهیدرات‌های تولیدی در هر کپه صرف تولید اجزای رویشی مـی‌گردد. درحالی‌که در فاصله ردیف نزدیک‌تر به‌علت رقابت بیشتر بـین بوته‌ها، رشد رویشی محدود شده که موجـب مـی‌شـود کربوهیـدرات بیشتری به‌سمت مخازن زایشی هدایت شود.

LAR نسبت سطح بافت‌های فتوسنتزکننده به وزن خشک کـل بافت‌های تنفس‌کننده را نشان می‌دهد. آبیاری باعث افـزایش LAR گردید؛ به‌طوری‌که بیشـترین LAR در آبیـاری هـر روزه بـا 0/003 مترمربـع بـر گـرم و کمتـرین LAR در آبیـاری 15 روزه بـا 0/002 مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین فواصل کاشـت، فاصـله کاشـت 20×30 سانتی‌متر با 0/003 مترمربع بر گرم بیشترین و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر در هکتار با 0/002 مترمربع بر گرم کمترین LAR را داشتند. اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هر روزه و فاصله کاشت 25×25 با 0/004 مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر با 0/001 مترمربع بر گرم دارای کمترین LAR بودند (جدول 4). به نظر مـی‌رسـد کـه کاهش آب در دوره پس از گل‌دهی باعث کاهش دوام سطح بـرگ و در نتیجه کاهش سـطح آن شـده اسـت. هـم‌چنـین کـاهش فاصـله

نشاءکاری و نزدیک شدن بوته‌ها به یکدیگر احتمالاً از طریق افزایش شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک موجب افزایش عملکرد می‌شود.

LWR نسبت وزن خشک بافت‌های فتوسنتزکننده به وزن خشک کل بافت‌های تنفس‌کننده را نشان می‌دهد. در واقع، LWR بالا نشان‌دهنده پربرگی گیاه می‌باشد. بیشترین و کمترین LWR به‌ترتیب در آبیاری 15 روزه با 0/4947 مترمربع بر گرم و آبیاری هر روزه با 0/4938 مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین فواصل کاشت، فاصله کاشت 15×30 سانتی‌متر با 0/4946 مترمربع بر گرم بیشترین و فاصله کاشت 20×30 سانتی‌متر با 0/4941 مترمربع بر گرم کمترین LWR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری تناوبی و فاصله کاشت، آبیاری هشت روزه و فاصله کاشت 15×30 سانتی‌متر با 0/4955 مترمربع بر گرم دارای بیشترین LWR و آبیاری هشت روزه و فاصله کاشت 20×30 سانتی‌متر با 0/4934 مترمربع بر گرم دارای کمترین LWR بودند (جدول 4). به نظر می‌رسد که کاهش آبیاری با کمبود رطوبت خاک و توقف افزایش اندازه سلول، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز در نهایت، علاوه‌بر کاهش تولید ماده خشک، کاهش LWR را موجب گردیده است.

میزان آب مصرفی یکی از شاخص‌های مهم کاشت برنج می‌باشد. آبیاری هر روزه با 6115 متر مکعب در هکتار بیشترین و آبیاری 15 روزه با 4785 متر مکعب در هکتار کمترین میزان آب مصرفی را داشتند. در بین فواصل کاشت، 25×25 سانتی‌متر بیشترین (5978 متر مکعب در هکتار) و 20×20 کمترین میزان آب مصرفی (5139 متر مکعب در هکتار) را ایجاد نمود. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری هر روزه و فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر با 6345 متر مکعب در هکتار بیشترین آب مصرفی و آبیاری 15 روزه و فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر (4128 متر مکعب در هکتار) کمترین مقدار را داشتند. به‌عقیده سعادتی و فلاح (Saadati & Fallah, 1995) یکی از روش‌های موجود برای کاهش مصرف آب در کشت برنج، قطع موقت آبیاری و تغییر روش آبیاری از حالت سنتی و روش غرقاب دائم به‌روش آبیاری متناوب با اعمال فاصله آبیاری مناسب می‌باشد، ولی همواره اعمال فاصله آبیاری مناسب که ضمن کاهش مصرف آب تغییری در عملکرد ایجاد نکند، مسئله مهمی بوده است. بنابراین، آبیاری تناوبی در زراعت برنج نه تنها باعث کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن می‌گردد، بلکه با گسترش سیستم ریشه‌ای باعث جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و در نتیجه افزایش میزان محصول در واحد سطح می‌گردد (Pirmoradian & Kamgar Haghighi, 2000). بومان (Bouman, 2007) نیز نتیجه گرفت که با اعمال مدیریت صحیح آب می‌توان اولاً مانع کاهش عملکرد شد و ثانیاً در مصرف آب صرفه‌جویی نموده و بهره‌وری آب را افزایش داد. علاوه‌براین، افزایش تراکم ضمن بالا بودن هزینه نشاءکاری، به‌دلیل تولید پنجه کمتر در بوته باعث کاهش تولید ماده خشک و عملکرد می‌شود، امّا در هر صورت با افزایش تراکم و بالا رفتن تعداد بوته در واحد سطح، تولید ماده خشک و به تبع آن عملکرد افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش فاصله کاشت و کاهش تراکم میزان بهره‌وری کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه امیری و همکاران (Amiri et al., 2011b) نیز مؤید تأثیر تراکم کاشت بر بهره‌وری آب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود برای دستیابی به کشت پایدار ضروری است. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که اعمال تیمارهای آبیاری تناوبی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد برنج داشت و میزان کاهش صفات مورد مطالعه بسته به زمان انجام آبیاری غرقابی در مرحله رشدی گیاه متفاوت بود. بررسی فواصل کاشت مختلف نشان داد که فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر بهترین شرایط را برای گیاه برنج در شدت تنش‌های مختلف ایجاد نمود. فاصله کاشت 25×25 سانتی‌متر نیز ضعیف‌ترین شرایط را برای گیاه ایجاد نمود. در تراکم پایین، رقابت بین ردیف‌ها (برون بوته‌ای) و حتی درون‌بوته‌ای تا زمان گل دهی و تشکیل دانه کمتر بوده و پس از این مرحله، رقابت زیادی جهت مواد فتوسنتزی در بذور پانیکول ایجاد می‌گردد و باعث پوکی دانه می‌شود. بنابراین، جهت دستیابی به سرعت رشد مناسب فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر مناسب می‌باشد. نتایج نشان داد که آبیاری هر روزه بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول را دارا بود. بر این اساس، به نظر می‌رسد اصلاح ارقامی از برنج که در شرایط آبیاری تناوبی عملکرد قابل قبولی تولید کنند، یکی از نیازهای اصلاحی در این زمینه بوده که باید مورد توجه قرار گیرد که این امر می‌تواند به‌طور ویژه‌ای عملکرد و میزان مصرف آب و به تبع آن کارآیی مصرف و بهره‌وری آب را تحت تأثیر قرار دهد. هم‌چنین انتخاب تراکم مناسب کاشت، راهکار مدیریتی مناسبی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی پایدار

به‌ویژه در شرایط محدودیت آب می‌باشد. علاوه‌براین، کاهش فواصل نشاءکاری از طریق افزایش هزینه تولید و کاهش درآمد اقتصادی و افت بازده انرژی مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود انتخاب تراکم مناسب کاشت و مدیریت آبیاری را به‌عنوان راهکاری زراعی در راستای تأمین امنیت غذایی و پایداری تولید مد نظر قرار داد.

References

Abdi, P., 2003. Evaluation of economic yield of smallwater supplying structure in agriculture. Journal of Soil and Water 19: 301-302. (In Persian with English Summary)

Amiri, E., Razavipour, T., and Bannayan, M., 2011a. Evaluation of yield and water productivity in rice under irrigation management and plant density with use ORYZA$_{2000}$ model. Electronic Journal of Crop Production 4(3): 1-19. (In Persian with English Summary)

Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., and Bannayan, M., 2011b. Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and modeling approach. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42(17): 2085-2099.

Asadi, R., Rezaei, M., and Moatamed, M.K., 2004. A simple procedure to mitigate drought condition in Mazandaran paddy field. Journal of Drought and Aridity 14: 87-91.

Asadi, R., Shahin, P., and Ahmadi, R., 2003. Introducing new methods of rice irrigation in China. Journal of the Dryness and Agricultural Drought 13: 13-21.

Asghar, A., Tanveer, A., Choudhry, M.A., Sohail, R., and Akram, M.M., 2001. Growth and yield response of rice bean (*Vigna umbellata*) to different seeding rates and planting patterns. Pakistan Journal of Biological Sciences 4(4): 460-461.

Ashoouri, M., and Amiri, E., 2011. Water use efficiency in rice hybrid under different water intervals and nitrogen levels. Journal of American Scientist 7: 238-343.

Baloch, A.W., Soomro, A.M., Javed, M.A., Ahmad, M., Bughio, H.R., and Bughio, M.S., 2002. Optimum plant density for high yield in rice (*Oriza sativa* L.). Asian Journal of Plant Science 1(2): 114-116.

Belder, P., Bouman, B.A.M., Spiertz, J.H.J., Cabangon, R., Guoan, L., Quilang, E.J.P., Yuanhua, L., and Tuong, T.P., 2004. Effect of water and nitrogen management on water use and yield of irrigated rice. Agricultural Water Management 65: 193-210.

Bouman, B.A.M., 2007. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. Agricultural Systems 93: 43-60.

Bouman, B.A.M., Feng, L., Tuong, T.P., Wang, G., and Feng, H., 2007. Exploring options to grow rice under watershort conditions in northern China using a modelling approach. II. Quantifying yield, water balance components, and water productivity. Agricultural Water Management 88: 23-33.

Chamara, B.S., Marambe, B., and Chauhan, B.S., 2017. Management of *Cleome rutidosperma* DC. using high crop density in dry-seeded rice. Crop Protection 95: 120-128.

Chauhan, B.S., and Johnson, D.E., 2011. Ecological studies on *Echinochloa crus-galli* and the implications for weed management in direct-seeded rice. Crop Protection 30: 1385-1391.

Clerget, B., Buenob, C., Domingob, A.J., Layaoenb, H.L., and Vialb, L., 2016. Leaf emergence, tillering, plant growth, and yield in response to plant density in a high yielding aerobic rice crop. Field Crops Research 199: 52-64.

Counce, P.A., Moldenhaure, K.A.K., and Marx, D.B., 1989. Rice yield and plant yield variability responses to equidistant spacing. Crop Science 29: 175-179.

Dhingra, K.K., Dhillon, M.S., Grewal, D.S., and Sharma, K., 1991. Performance of maize and mungbean intercropping in different planting patterns and row orientations. Indian Journal of Agronomy 36: 207-212.

Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S., 2010. Effects of Integrated application of biofertiliser and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2(2): 292-301. (In Persian with English Summary)

Fagad, S.O., and De Datta, S.K., 1971. Leaf area index, tillering capacity and grain yield of tropical rice as affected by plant density and nitrogen level. Agronomy Journal 63: 503-506.

Ghobadi, M., Jahanbin, S., Motalebi Fard, R., and Parvizi, K., 2011. The effect of biological phosphate fertilizers to

yield and yield components of potato. Sustainable Agriculture and Production Science 21(2): 117-130. (In Persian with English Summary)

Grant, R.F., Jackson, B.S., Kiniry, J.R., and Arkin, G.F., 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. Agronomy Journal 81: 61-65.

Grigg, B.C., Beyrouty, C.A., Norman, R.J., Gbur, E.F., Hanson, M., and Wells, B.R., 2000. Rice responses to changes in floodwater and N timing in southern USA. Field Crops Research 66: 73-79.

Habibzadeh, Y., Mamghani, R., and Kashani, A., 2006. Effects of plant density on grain yield and some morpho-physiological traits in three mungbean (*Vigna radiate* L.) genotypes under Ahvaz conditions. Iranian Journal of Crop Science 8(1): 66-78. (In Persian with English Summary)

Habibzadeh, Y., Mamghani, R., and Kashani, A., 2006. Effects of plant density on grain yield and some morpho-physiological traits in three mungbean (*Vigna radiate* L.) genotypes under Ahvaz conditions. Iranian Journal of Crop Science 8(1): 66-78. (In Persian with English Summary)

Hoseini Monfared, R., Moradi, M., and Madandost, M., 2011. Comparison of flooding and alternating irrigation in rice cultivation. Agricultural Management Conference, Jahrom, Iran. (In Persian)

IRRI (International Rice Research Institute). 2005. Changes in rice farming in selected areas of Asia. Los Baños, Philippines.

Johnson, D.E., Lee, P.G., and Wilmam, D., 1991. Experiments with upland rice in southern Belize: Fertilizer application, weed control, plant spacing, sowing rate and variety. Journal of Agricultural Science, Cambridge 116: 201-215.

Jones, D.B., and Snyder, G.H., 1987. Seeding rate and row spacing effects on yield and yield components of drill-seeded rice. Agronomy Journal 79: 623-627.

Katozi, M., Rahim Zadeh Khoei, F., and Sabori, H., 2007. Effect of irrigation management on grain filling rate and relative water content of three rice cultivars. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 47: 623-627.

Lebaschy, M.H., and Sharifi, E., 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. Pajouhesh and Sazandegi (65): 65-75. (In Persian with English Summary)

Makara, O., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fisher, K.S., Cooper, M., and Nesbitt, H., 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. Field Crops Research 1: 48-58.

Miri, H.R. 2009. Grain yield and morphophysiological changes from 60 years of genetic improvement of wheat in Iran. Experimental Agriculture 45: 149-163.

Mohammadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., and Yanegh, A.J., 2013. Morphological and physiological evaluation of intercropping of three elite sesame. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 685-693. (In Persian with English Summary)

Mostafavi, M.J., 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate condition. MS.c. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Nahvi, M., Allahgholipour, M., Ghorbanpour, M., and Mehrgan, H., 2004. The effective of planting density and nitrogenous fertilizer rate for GRH_1 rice hybrid. Pajouhesh and Sazandegi (66): 33-38. (In Persian with English Summary)

Oozooni Doji, A., Esfahani, M., Samee Zadeh Lahiji, H., and Rabiee, M., 2008. The effect of planting pattern and plant density on the growth and radiation use efficiency of two cultivars of without petals and with petals rapeseed. Iranian Journal of Field Crop Science 9(4): 382-400. (In Persian with English Summary)

Pervaiz, A., Qayyum, A., and Akhtar, M.R., 1984. Economically optimal plant density at different levels of fertilizer use for irrigated rice in the Punjab Journal Agricultural Research 5(2): 71-77.

Pirmoradian, N., and Kamgar Haghighi, A.A., 2000. Rice water requirement and crop coefficient in Koshkak region in Fras. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource15: 21-25. (In Persian with English Summary)

Raee, Y., Ghasemi Golozaani, A., Javanshir, A., Aliyaari, H., and Mohammadi, A., 2008. Effect of plant density on intercropping of soybean and sorghum. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 12(45): 35-44. (In Persian with English Summary)

Rezaei, M., and Nahvi, M., 2005. Effects of different irrigation managements on rice water use efficiency in Guilan.

Proc. of the 9th Soil Science Conference, Karaj, Iran. (In Persian)

Rezaei, M., and Nahvi, M., 2007. Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. Journa of Agricultural Science 1(9): 15-25. (In Persian with English Summary)

Saadati, N., 1996. Effect of drought stress on yield and water consumption at different stages of rice. Research Report, Iran Rice Research Institute Press, 18 p. (In Persian)

Saadati, N., and Fallah, V.M., 1995. Water Management in Rice Fields. Iran Rice Research Institute Press, 21 p. (In Persian)

Saberali, F., Sadat Nouri, S.A., Hejazi, A., and Zand, E., 2007. Influence of plant density and planting pattern of corn on its growth and yield under competition with common lambesquarterrs (*Chenopodium album*). Journal of Research Production 74: 143-152.

Shahin Rokhsar, P., Sharifi, N., Yaghobi, B., Kavosi, M., and Shakorirad, H., 2011. Effect of irrigation time and nitrogen level on rice yield (cv. Hashemi). Research Report, Iran Rice Research Institute, Rasht, Iran. (In Persian)

Soleimani, A., and Amiri Larijani, B., 2003. Rice Production Principles. Arvij Press, 303 p. (In Persian)

Surajit, K., and Datta, D. 1981. Principles and practices of rice production. John Wiley and Sons. Inc. Singapore. 618 pp.

Tabbal, D.F., Lampayan, R.M., and Bhuiyan, S.I., 2002. Water-efficient irrigation technique for rice. In: Murty, V.V.N., and Koga, K. (Eds.), Proc. of the International Workshop on Soil and Water Engineering for Paddy Field Management, 28-30 January, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Tarigholeslami, M., Zarghami, R., Mashhad, M., Bojar, A., and Oveisi, M., 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(1): 161-174. (In Persian with English Summary)

Tuong, T.P., 1999. Productive water use in rice production: Opportunities and limitations. Journal of Crop Production 2: 241-264.

Van Iersel, M.W., 2000. Growth and maintenance respiration of *Catharanthus roseus* L. estimated from CO_2 exchange. Journal of American Society of Horticulture Science Acta Horticulture 519: 133-140.

Van Iersel, M.W., and Seymour, L., 2000. Growth respiration, maintenence respiration and carbon fixation of vinca: a time series analysis. Journal of American Society of Hotriculture Science 125(6): 702-706.

Yang, X., Bouman, B.A.M., Wang, H., Wang, Z., and Zhao, J., 2005. Performance of temperate aerobic rice under different water regimes in North China. Agricultural Water Management 74: 107-122.

Yoshida, S., 1975. Factors that limit the growth andyields of upland rice. pp. 46-71. In: Major Research in Upland Rice, IRRI, Los Baños, Philippines.

Zafarian, F., Agha Alikhani, M., Rahimian Mashhadi., H., Zand, E., and Rezvani, M., 2009. Study of growth and yield of intercropping of maize and soybean in the competition with two weed of pigweed and cocklebur. Iranian Journal of Weed Science 5: 107-125. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.1, Spring 2020, p. 37-54

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 12، شماره 1، بهار 1399، ص 54-37

Effects of Rotation Irrigation and Planting Distance on Rice Growth Indices under Gilan Province Climate Conditions

K. Sabokrow Foomani[1], S. Sayf Zadeh[2*], F. Ali Nia[3], S. A. Valad Abadi[4], M.R. Yazdani[5]

Submitted: 21-08-2018
Accepted: 07-11-2018

Sabokrow Foomani, K., Sayf Zadeh, S., Ali Nia, F., Valad Abadi, S.A., and Yazdani, M.R., 2020. Effects of Rotation Irrigation and Planting Distance on Rice Growth Indexes under Gilan Province Climate Conditions... Journal of Agroecology 12 (1):37-54.

Introduction

Rice is a global important food and in Asia alone is the source of food for 3.5 billion people. Such demand for rice imposes a plan to find new technology and approaches to replace old production methods. About 75% of global rice production is practiced on low lands. At field scale, rice compared to other plants receive two or three times more water and based on some calculations, about 34-43 percentage of global irrigation water or 24-30 percentage of drinking water consumed by rice plant. In this situation, the most important challenge with regard to rice production, water storage, increased water productivity and rice production is less than water. Recently, rice production systems such as rice alternate irrigation, where less water can be produced, has been considered as rice increasing demand for water in industry and cities have imposed the reduction of water consumption for agriculture. Rice is one of the most sensitive plants against water scarcity as a floodplain plant and has the most need for water in the cereals. Rice has the highest crop area than other irrigated plants.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split-plot, using irrigation as main-plot at five levels (full irrigation, irrigation at ever 5, 8, 10, and 15 days), and planting distance as sub-plot at four levels (20×20, 25×25, 30×15, and 30×20 cm) within format of random complete block design with three replications. The study was performed in two years (2016-2017, and 2017-2018) in national rice research center. Soil samples were taken to determine the soil tissue, soil water holding capacity, and some chemical characters including EC, PH, and amount of Ca, Na, and Mg. Within firs 15 days after transplanting, the rotation irrigation was not employed so the plant be able to establish in the field. The plowing was performed in two times. The first plow in the late autumn and early winter and the second plow were perpendicular to the first plowing in the spring. Fertilization was done based on long term local practice. Transplanting was done in May, 15 and at this time transplants were 20-25 cm height carrying 4-5 leaves. All traits including stem and leaf dry matter, leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ration (LAR), relative growth rate (RGR) and specific leaf area (SLA) were measured and calculated. SAS and SPSS software's were used for analysis of variance. Excel software was used for drawing slices.

Results and Discussion

ANOVA results showed that interaction of irrigation and planting distance were significantly ($P \leq 0.01$) affected leaf and stem dry matter, LDW, TDW and CGR Individual effects of each treatment significantly affected the LAI and NAR but did not affect LAR, LWR, RGR, and SLA. As light absorption i a limiting factor in crops production, then where is no other environmental stress, increasing light absorb will increase crop production. In contrast to other crops light capture competitions a major issue for rice. Increasing panting density, vegetative growth and LAI would be lower and as planting density decreases, due to availability more spaces, both vegetative growth ad LAI increased.

Conclusion

In general, this study results showed that rotation irrigation significantly affected the rice growth indexes,

1 and 2- Ph.D. student and Assistant Professor of Islamic Azad University, Takestan Branch, Iran.
3- Assistant Professor Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran.
(*-Corespanding Author Email: saeedsayfzadeh@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i1.74890

and reduction levels of study traits depends on irrigation timing at growth stage. Planting distances showed that planting at 20×20 cm, provided the most optimum conditions for rice plants under different stress, the worst conditions resulted in 25×25 cm planting distance. At lower planting density, due to lower competition between plants till flowering time but after this stage, competition for photosynthetic materials increased among the seeds which can result in small dead seeds.

Keywords: Competition, Growth rate, Water use efficiency, Water productivity