نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۹۸-۲۸۱

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 281-298

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حجم آب و رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (رقم هاشمی) در شرایط آب‌وهوایی گیلان

کاوه سبک‌رو فومنی[۱]، سیدعلیرضا ولدآبادی[۲*]، مسعود کاووسی[۳]، حمیدرضا ذاکرین[۲] و محمدرضا یزدانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

سبک‌رو فومنی، ک.، ولدآبادی، س. ع.، کاووسی، م.، ذاکرین، ح.ر. و یزدانی، م.ر.، ۱۳۹۹. بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حجم آب و رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (رقم هاشمی) در شرایط آب‌وهوایی گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲):۲۹۸-۲۸۱.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر سرعت رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج استان گیلان در دو سال زراعی ۹۴- ۱۳۹۳ و ۹۵- ۱۳۹۴ به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌اجرا درآمد. عامل اصلی آزمایش شامل آبیاری تناوبی در پنج سطح (آبیاری روزانه به‌صورت غرقاب (شاهد) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روز یک‌بار) و عامل فرعی شامل کود نیتروژن با شش سطح (۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر صفات وزن خشک برگ، ساقه و کل، شاخص سطح برگ و سرعت جذب خالص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. همچنین CGR در عامل آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در بین سطوح آبیاری، آبیاری هر روزه بیشترین سطح برگ و سرعت رشد محصول را دارا بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در شرایط تنش کم (آبیاری هر روزه و ۵ روزه) با توجه به اختلاف کم معنی‌دار بین مقدار کود نیتروژن ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار، با در نظر گرفتن مشکلات زیست‌محیطی و اجتناب از آلایندگی و کاهش هزینه‌ها در اراضی شالیزاری مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره را می‌توان توصیه نمود. امّا در تنش زیاد مقدار کود ۹۰ کیلوگرم در هکتار شرایط بهتری را ایجاد کرد. آبیاری هر روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۶۶۶۳ مترمکعب در هکتار بیشترین بهره‌وری آب مصرفی و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن (۴۶۹۱ مترمکعب در هکتار) کمترین را داشتند. بر این اساس، به نظر می‌رسد مصرف کود نیتروژن با قابلیت رهاسازی آهسته و انتخاب روش مناسب آبیاری باعث بهبود عملکرد می‌گردد. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که مناسب‌ترین روش آبیاری، آبیاری با فاصله ۵ روزه می‌باشد، چون با مقدار آب مصرفی کمتر نسبت به آبیاری هر روزه عملکرد دانه بالاتری به‌دست آمد که می‌توان آن را به‌عنوان راهکارهای مدیریتی برای تولید پایدار این گیاه مدنظر قرار داد که این امر به‌ویژه در شرایط محدودیت آب و با توجه به اهمیت این گیاه می‌تواند نقش بسزایی در بهبود کاهش نیاز آبی، بهره‌وری آب و امنیت غذایی ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، بهره‌وری آب، تولید پایدار، رهاسازی آهسته، محدودیت آب

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غلات می‌باشد که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان به‌ویژه ساکنان کشورهای در حال توسعه دارد. بیش از ۸۰ درصد منابع آب شیرین آسیا در کشاورزی و حدود نیمی از آن در تولید برنج مصرف می‌شود. تخمین شده است که

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.
۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار و استادیار مؤسسه تحقیقات برنج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.valadabady@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v12i2.75192

تا سال ۲۰۵۰ میلادی تولید برنج بایستی بالغ بر ۵۰ درصد افزایش یابد که این افزایش نیازمند اصلاح ارقام و اعمال مدیریت‌های صحیح زراعی است (Dobbermann et al., 1998; Ntanos & Koutroubas, 2002; Ying et al., 1998). برای دستیابی به عملکرد بالا، حفظ حاصلخیزی خاک که از طریق مصرف متعادل کودهای شیمیایی حاصل می‌شود، ضروری است.

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید گیاهان زراعی و اولین عنصر محدودکننده عملکرد در زراعت برنج است (Dahatonde, 1995; Peng, 2000; Uexkull, 1976; Yoshida, 1981). شناخت و بررسی شاخص‌های رشدی، در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای آن از اهمیت زیادی برخوردار است (Gardner et al., 2010). بر این اساس، به‌کارگیری راهکارهای زراعی و مدیریتی به‌نوعی که تأثیر مثبتی بر شاخص‌های رشدی داشته باشد، بهبود عملکرد را موجب می‌گردد. کالیسکان و همکاران (Caliskan et al., 2008) گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن می‌تواند در بهبود شاخص‌های رشدی و عملکرد گیاهان مفید واقع گردد. استقرار سطح برگ بیشتر در مراحل مختلف رشدی گونه‌های گیاهی از طریق بهبود کارآیی فتوسنتز تأثیر بسزایی بر شاخص‌های رشد و عملکرد دارد (Kumudini et al., 2001). عزیزی (Azizi, 1999) اعلام کرد که کاربرد نیترات آمونیوم موجب افزایش ماده خشک اندام‌های هوایی شد و در نهایت، شاخص‌های رشدی به‌ویژه CGR و RGR را بهبود بخشید. یوشیدا (Yoshida, 1981) معتقد است که مصرف کود نیتروژن از طریق بهبود سطح برگ و دوام آن موجب بهبود عملکرد می‌شود. سایر محققان نیز به همبستگی بالای شاخص سطح برگ با مصرف نیتروژن تأکید کردند (Dahatinde, 1995; DeDatta & Gumez, 1980; Iqbal, 1991; Lin & Lin, 1985; Prasad & Sahoo, 1997; Wilson et al., 1996). ساهو و گورو (Guru, 1998) نتیجه گرفتند که عملکرد دانه برنج با شاخص سطح برگ (LAI)[1]، دوام سطح برگ (LAD)[2]، سرعت رشد نسبی (RGR)[3]، سرعت رشد محصول (CGR)[4] و سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)[5] همبستگی مثبتی دارد. بر این اساس، انتخاب ارقامی که شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت آسیمیلاسیون خالص بالاتری دارند، عملکرد بالاتری را تولید خواهد نمود (Ntanos & Koutroubas, 2002). از طرف دیگر، کاهش شاخص سطح برگ در انتهای فصل رشد به‌علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها می‌باشد که البته کاهش فراهمی نیتروژن این موضوع را تشدید می‌نماید. از طرف دیگر، نتایج مطالعات (Ntanos & Koutroubas, 2002; Peng, 2000; Sahoo & Guru, 1998) مؤید آن است که فراهمی نیتروژن با توسعه سطح برگ و افزایش دوام فتوسنتزی بهبود نسبت سطح برگ و تولید ماده خشک را به‌دنبال دارد. البته باید به این مهم توجه کرد که شاخص سطح برگ بالاتر لزوماً موجب افزایش عملکرد نمی‌گردد، زیرا با افزایش توسعه سطح برگ و تعداد پنجه، فتوسنتز خالص پوشش گیاهی، تولید ماده خشک کل و در نهایت، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Ntanos & Koutroubas, 2002; Ohnishi et al., 1999; Yoshida, 1981)، که دلیل این امر به همبستگی بیشتر سایر شاخص‌ها همچون میزان آسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول و شاخص برداشت با عملکرد دانه مربوط می‌باشد (Yoshida, 1981).

برنج از نظر میزان مصرف آب، در بین تمام محصولات کشاورزی بیشترین نیاز را به خود اختصاص داده است. تقریباً ۷۵ درصد برنج جهان از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود (Carmelita et al., 2011) که حدود ۵۰ درصد کل شالیزارهای دنیا را تشکیل می‌دهد (Katoh et al., 2003). برای تولید یک کیلوگرم برنج، کشاورزان مجبورند در مزارع برنج دو تا سه برابر بیشتر از سایر غلات از آب استفاده کنند (Bouman & Tuong, 2001). برنج تا رسیدن کامل به‌حدود ۸ تا ۱۱ هزار مترمکعب آب در هکتار احتیاج دارد و برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به ۷۰۰ لیتر آب نیاز است (Rezaei & Nahvi, 2007). 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). کشاورزان برنج‌کار تمایل دارند که مزارع را به‌طور مداوم در غرقاب نگه دارند تا از ذخیره آبی بیش از حد، برای تولید بیشتر محصول مطمئن باشند و به این ترتیب با علف‌های هرز نیز مبارزه کنند. البته بایستی توجه گردد، 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

1-Leaf area index
2- Leaf area duration
3-Relative growth rate
4- Crop growth rate
5- Net assimilation rate

زمان یا مقدار آبیاری می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Asadi et al., 2003). ماکارا و همکاران (Makara et al., 2006) عنوان نمودند که تنش خشکی در طی مرحله زایشی برنج موجب کاهش عملکرد دانه به‌میزان ۱۲ تا ۴۶ درصد گردید. پانتیووان و همکاران (Pantuwan et al., 2004) گزارش کردند که تنوع شدیدی در عملکرد دانه و سایر صفات در هر دو شرایط با تنش و بدون تنش آبی مشاهده شده است. رضایی و نحوی (Rezaei & Nahvi, 2007) در تحقیقاتی هشت روز را بهترین دوره تناوب برای رقم هاشمی در آبیاری با عمق پنج سانتی‌متر گزارش نمودند. کادیالا و همکاران (Kadiyala et al., 2015) آبیاری تناوبی را راهکاری زراعی برای بهینه‌سازی مصرف آب و دستیابی به عملکرد مطلوب به‌ویژه در شرایط کاهش منابع آبی قابل دسترس توصیه کردند. رضایی و نحوی (Rezaei & Nahvi, 2005) نتیجه گرفتند اگر چه آبیاری غرقاب دائم بیشترین عملکرد دانه برنج را تولید کرد، امّا بهره‌وری مصرف آب و راندمان مصرف آب در آبیاری تناوبی بالاتر بود. بررسی‌ها همچنین نشان داده است که کیفیت دانه برنج تولیدی در شرایط آبیاری تناوبی بهتر از آبیاری غرقابی می‌باشد (Shahin Rokhsar et al., 2011). همچنین آب و نیتروژن فاکتورهای مهمی هستند که کاهش فراهمی آب، جذب نیتروژن را کاهش می‌دهد (Youshida, 1975). عزیز و همکاران (Aziz et al., 2018) مدیریت مصرف نیتروژن و روش آبیاری را راهکارهایی زراعی برای بهینه‌سازی مصرف این نهاده‌ها در راستای تولید پایدار برنج معرفی نمودند. علاوه‌براین، یوسفی فلکدهی (Yousefi Falakdehi, 2006) نتیجه گرفت که آبیاری تناوبی به‌دلیل کاهش تبخیر و تعرق و جذب آب باعث افت تجمع نمک در بافت‌های گیاهی شد.

بر این اساس، با توجه به بالا بودن مصرف آب در برنج و در نظر گرفتن خشکسالی‌ها اخیر، اهمیت بهبود کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آن در تولید این گیاه و همچنین وجود روابط متقابل بین آب و نیتروژن (Aziz et al., 2018; Youshida, 1975) از یک طرف و اهمیت بررسی شاخص‌های رشدی در تجزیه و تحلیل عملکرد (Gardner et al., 2010) از طرف دیگر، هدف از اجرای این مطالعه بررسی اثر سطوح نیتروژن و فاصله آبیاری بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد برنج بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت اسپیلت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در محل ستاد مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت در دو سال زراعی ۹۴- ۱۳۹۳ و ۹۵- ۱۳۹۴ انجام شد. دو عامل آبیاری (به‌عنوان عامل کرت اصلی) در پنج سطح (آبیاری غرقاب دائم و آبیاری تناوبی در فاصله ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روزه) و کود نیتروژن با شش سطح (۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند. نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین بافت و میزان ظرفیت نگهداری آب خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک انجام شد که نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک
Table 1- Chemical and physical criteria 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

شخم شالیزار در دو نوبت انجام گرفت، بر این اساس، شخم اول در اواخر پاییز و اوایل زمستان و شخم دوم عمود بر شخم اول در فصل بهار انجام گرفت. بعد از عملیات شخم، تسطیح و ماله‌کشی جهت آماده‌سازی زمین انجام شد. بعد از آماده‌سازی زمین مقادیر کود نیتروژن از منبع اوره و پنتا اکسید فسفر به‌مقدار ۴۵ کیلوگرم و اکسید پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منابع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم اضافه شد. بر این اساس، کودپاشی بر اساس مقادیر تعیین شده (صفر، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در

هکتار) زمین انجام شد. خزانه‌گیری به‌روش مرسوم منطقه انجام شد. نشاهای سالم و یکنواخت رقم هاشمی به فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به‌صورت دستی در ۲۰ اردیبهشت‌ماه کاشته شد. در این زمان نشاءها به اندازه طبیعی خود یعنی ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر رسیده و دارای چهار تا پنج برگ بودند. لازم به ذکر است طی ۱۵ روز اول بعد از نشاکاری آبیاری تناوبی اعمال نشد تا از استقرار کامل بوته‌ها اطمینان حاصل شود. در زمان بارندگی سطح آب در مقدار قبل از شروع بارندگی تثبیت و از ازدیاد عمق آب در اثر باران جلوگیری شد. عملیات داشت طبق توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور برای تمام کرت‌ها به‌صورت یکنواخت و در کل دوره رویش گیاه اعمال شد.

در پایان فصل رشد و مرحله خوشه‌دهی، وزن خشک ساقه و برگ اندازه‌گیری و سپس شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد شامل شاخص سطح برگ (LAI) ، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، نسبت سطح برگ (LAR)[1]، سرعت رشد نسبی (RGR) و سطح ویژه برگ (SLA)[2] محاسبه گردید.

شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$LAI = LA / GA \quad \text{معادله (۱)}$$

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

سرعت رشد گیاه (CGR) با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$CGR = W_2 - W_1 / T_2 - T_1 \quad \text{معادله (۲)}$$

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 ۳ محاسبه شد.

$$NAR = CGR / LAI \quad \text{معادله (۳)}$$

سرعت رشد نسبی (RGR) طبق معادله ۴ محاسبه شد.

$$RGR = CGR / TDW \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، TDW: وزن خشک کل گیاه است.

سطح ویژه برگ (SLA) طبق معادله ۵ محاسبه شد.

$$SLA= LA / LDW \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، LA: سطح برگ و LDW: وزن خشک برگ می‌باشد.

نسبت سطح برگ (LAR) با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد.

$$LAR=LA / TDW \quad \text{معادله (۶)}$$

به‌منظور انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و SPSS Statistics 25.0، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک برگ و ساقه، شاخص سطح برگ، LDW، TDW و NAR در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین CGR در عامل آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. صفات RGR، LAR، LWR و SLA معنی‌دار نشدند (جدول ۲). تغییرات شاخص سطح برگ در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی بوده و با تولید برگ‌های بیشتر توسط گیاه و تقریباً در تمامی تیمارها کمی قبل از شروع گل‌دهی (حدود ۳۵ روز پس از کاشت)، با سرعت زیادی افزایش و پس از گل‌دهی کامل و کاسته شدن از روند افزایشی مرحله قبل، کلیه تیمارها هنگام شروع رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار شاخص برگ رسیده و پس از آن کاهش می‌یابد. بالاترین شاخص سطح برگ در آبیاری هر روزه با ۲/۰۳۹ و کمترین شاخص سطح برگ در آبیاری ۱۵ روزه با ۱/۲۲۵ مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل دو فاکتور آبیاری هر روزه و مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین شاخص سطح برگ (با ۲/۷۳۰) و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن (با ۰/۶۸۱) کمترین سطح برگ را دارا بودند (جدول ۳). یوشیدا (Yoshida, 1981) عقیده دارد که شاخص سطح برگ برنج مطلوب می‌باشد، به‌طوری‌که با افزایش تنفس پوشش گیاهی و یا افزایش سرعت آسیمیلاسیون خالص به‌صورت خطی و با افزایش شاخص سطح برگ به‌صورت منحنی مجانب افزایش می‌یابد (Peng, 2000; Yoshida, 1981). شاخص سطح برگ سبب افزایش میانگین سرعت رشد محصول در دوره رشد گیاه شده که این امر در نهایت، منجر به افزایش تولید ماده خشک می‌گردد (Karimi & Siddique, 1991). یافته‌های قبادی و همکاران (Ghobady et al., 2011) بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه زراعی اشاره دارد. از جمله دلایلی که آبیاری سطح برگ را تحت تأثیر قرار داد، این است که آبیاری جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش مواد فتوسنتزی می‌گردد، افزایش مواد فتوسنتزی هم می‌تواند سطح برگ را تحت تأثیر قرار دهد. 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 توسعه برگ و تغییر در پیری برگ تحت تأثیر قرار دهد (Gilani & Absalan, 2004). کاهش شاخص سطح برگ در شرایط کم‌آبیاری را می‌توان به کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی و کاهش

1- Leaf area ratio
2- Specific leaf area

پتانسیل اسمزی و فشار تورژسانس در شرایط کم‌آبی نسبت داد (Lu & Neumann, 1998). در سطوح مختلف کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۲/۲۹۱ بیشترین شاخص سطح برگ و صفر کیلوگرم نیتروژن با ۱/۰۱۶ کمترین سطح برگ را دارا بود (جدول ۲). با افزایش کود نیتروژن مقدار سطح برگ افزایش یافت که این موضوع به‌دلیل تأثیر مثبت نیتروژن بر توسعه سطح برگ و تولید پنجه، افزایش جذب تابش خورشیدی و افزایش دوام فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها می‌باشد. مطالعات یزدان‌دوست همدانی (Yazdandoost Hamedani, 2003) نشان داد که مصرف کودهای نیتروژنه در اوائل فصل رشد سبب گسترش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده بیشتر می‌گردد. یافته‌های سجادی‌نیک و همکاران (Sajadi Nik & Yadavi, 2013) و جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) نیز نشان داد که کاربرد کودهای مختلف با تأمین نیتروژن و تحریک رشد گیاه موجب بهبود رشد و افزایش شاخص برگ می‌شود. همچنین ال- باراک (Al-Barrak, 2006) گزارش کرد که نیتروژن سبب افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ در کلزا (*Brassica napus* L.)می‌شود. این محقق بیان داشت که جذب نیتروژن توسط گیاه سبب افزایش رشد، تولید شاخه فرعی بیشتر و در نتیجه، افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. همچنین بر اساس نتایج مطالعات آثرندیم و همکاران (Ather Nadeem et al., 2009) کود نیتروژن اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد برگ در گیاه ذرت داشت، به‌طوری‌که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین تعداد برگ حاصل شد. نتایج مطالعات مختلف مؤید آن است که با افزایش مقدار کود نیتروژن، شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد (Ghosh & Singh, 1998; Hasegawa & Horie, 1996; Lin & Li, 1985; Ohnishi et al., 1999). البته به نظر می‌رسد در سطوح بالای نیتروژن از طریق برهم زدن نسبت رشد رویشی به زایشی و افزایش رشد رویشی، کاهش عملکرد را موجب می‌گردد. در حالی‌که در شرایط ناکافی بودن نیتروژن به‌دلیل کاهش سطح اندام‌های فتوسنتزکننده کاهش عملکرد را موجب می‌گردد. بر این اساس، با توجه به این که عامل مهم مؤثر بر رشد و تولیدات گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت، به‌شرط محدودکننده نبودن عوامل محیطی زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و عملکرد شود. بر این اساس، به‌کارگیری تیمارهای مدیریتی که به‌نوعی در افزایش شاخص سطح برگ تأثیر داشته باشند، می‌تواند موجب بهبود عملکرد شود. برخی محققان (Takahashi et al., 1991; Takahashi et al., 1992) تکنیک جدیدی را برای کوددهی گیاهان زراعی معرفی کردند که بر اساس آن مصرف کود نیتروژن با خاصیت رهاسازی آهسته و به‌فرم اوره پوشش‌دار به‌روش جای‌گذاری عمیق با تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه طی مرحله پر شدن دانه و تحریک رشد اندام‌های هوایی در نهایت، موجب ایجاد شاخص سطح برگ بالاتر در طول دوره رشد زایشی می‌شود. بررسی‌ها مؤید آن است که مصرف کودهای نیتروژن با قابلیت رهاسازی آهسته، رشد اندام-های هوایی را تحریک نموده و موجب تولید شاخص سطح برگ بیشتر در مراحل زایشی به‌ویژه طی مرحله پر شدن دانه شده و در نتیجه، بهبود عملکرد دانه را به‌دنبال دارد (Kaushal et al., 2006).

روند تغییرات ماده خشک در گیاهان به‌صورت سیگموئیدی می-باشد. به‌طوری‌که در اوایل دوره رشد، مقدار و سرعت تجمع ماده خشک کم بوده و با گذشت زمان و همراه با افزایش سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش می‌یابد و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری می‌گیرد و بعد از آن به‌دلایلی همچون پیری و زردی برگ‌ها، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌های پایینی، انتقال مجدد[3] کربوهیدرات‌های ذخیره شده به دانه، افزایش بافت‌های ساختمانی غیرفتوسنتزی گیاه و افزایش تنفس کلی گیاه شیب تجمع ماده خشک کم شده و سپس تقریباً ثابت می‌شود. آبیاری هر روزه با ۱۵/۱۸ گرم بر مترمربع دارای بیشترین وزن خشک برگ و آبیاری ۱۵ روزه با ۱۳/۴۵ گرم بر مترمربع کمترین مقدار را دارا بود (جدول ۳).

1- Remobilization

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشدی برنج طی دو سال زراعی ۹۴ -۱۳۹۳ و ۹۵ -۱۳۹۴

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of alternating irrigation and nitrogen rate on physiological growth indices of rice during two growing seasons of 2014-2015 and 2015-2016

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	نسبت وزن خشک برگ LWR	حداکثر سرعت رشد نسبی CGR_{max}	نسبت سطح برگ LAR	سطح ویژه برگ SLA	حداکثر وزن خشک کل TDW_{max}	سرعت آسیمیلاسیون خالص NAR	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	حداکثر وزن خشک برگ Leaf dry $weight_{max}$	حداکثر وزن خشک ساقه Stem dry $weight_{max}$	سرعت رشد نسبی RGR	عملکرد دانه Seed yield
سال Year (Y)	1	0.000 ns	1.918 ns	1.682 ns	0.000 ns	9.981 ns	1841.153 ns	0.000 ns	0.000 ns	5.202 ns	0.000 ns	873480 ns
خطای اصلی Main error	4	0.000	0.081	0.105	0.017	6.374	93.108	0.000	0.000	1.236	0.000	11063
آبیاری تناوبی Alternating irrigation (I)	4	0.000 ns	17.183**	17.192**	4.331**	138.216**	17599.841**	0.000 ns	0.000 ns	3.224**	0.000 ns	19985623**
I × Y	4	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.041 ns	3.537 ns	0.090 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	40653ns
خطای فرعی Sub error	16	0.000	0.031	0.031	0.034	1.345	31.638	0.000	0.000	0.000	0.000	36603
سطح نیتروژن Nitrogen rate (N)	3	0.000 ns	11.725**	0.021**	8.784**	248.799**	12040.816**	0.000 ns	0.000 ns	8.160 ns	0.000 ns	17040964**
N × Y	3	0.000 ns	0.001 ns	11.793 ns	0.007 ns	2.134 ns	0.267 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	144261 **
I × M	12	0.000 ns	0.048**	0.052**	0.117**	7.606**	21.227**	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	281575**
I × N × Y	12	0.000 ns	0.021 ns	0.000 ns	0.019 ns	1.502 ns	0.244 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	17077 ns
خطای فرعی فرعی Sub sub error	60	0.000	0.001	0.000	0.201	1.854	51.392	0.000	0.000	0.009	0.000	28747
ضریب تغییرات CV (%)		0.39	0.98	1.12	8.17	15.15	0.98	7.18	8.33	0.38	0.61	6.80

**، * و ns: 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 ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر شاخص‌های رشدی گیاه برنج طی دو سال زراعی

Table 3- Mean comparisons for the interaction effects of alternating irrigation nitrogen rates 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 برگ 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 برگ LAR ($m^2.g^{-1}$)	سطح ویژه برگ SLA ($m^2.g^{-1}$)	نسبت وزن برگ LWR ($g.g^{-1}$)	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($g.m^{-2}$)
$I_1\times N_1$	1.357^{klm*}	12.88^{r}	228.7^{ghi}	468.6^{fgh}	0.02749^{a}	9.546^{ghijk}	0.002895^{a}	0.005931^{a}	0.4882^{a}	14.30^{ghi}	14.99^{fgh}
$I_1\times N_2$	1.530^{ijk}	13.17^{o}	232.3^{fg}	475.8^{ef}	0.02768^{a}	8.81^{lhijkl}	0.003214^{a}	0.006583^{a}	0.4882^{a}	14.52^{fg}	15.22^{ef}
$I_1\times N_3$	1.760^{gh}	13.47^{i}	241.9^{de}	495.0^{d}	0.02723^{a}	7.824^{ijklmn}	0.003563^{a}	0.007291^{a}	0.4887^{a}	15.12^{de}	15.82^{d}
$I_1\times N_4$	2.263^{cd}	13.80^{d}	248.7^{b}	508.6^{b}	0.02713^{a}	6.133^{mnopq}	0.004448^{a}	0.009094^{a}	0.4891^{a}	15.55^{b}	16.24^{b}
$I_1\times N_5$	2.597^{ab}	13.93^{c}	249.7^{b}	510.4^{b}	0.02729^{a}	5.369^{pq}	0.005088^{a}	0.01040^{a}	0.4891^{a}	15.60^{b}	16.30^{b}
$I_1\times N_6$	2.730^{a}	14.17^{a}	256.1^{a}	523.0^{a}	0.02710^{a}	5.202^{pq}	0.005221^{a}	0.01066^{a}	0.4897^{a}	16.01^{a}	16.68^{a}
$I_2\times N_1$	1.152^{mno}	12.66^{v}	221.4^{kl}	454.0^{jk}	0.02789^{a}	11.11^{defg}	0.002538^{a}	0.005203^{a}	0.4878^{a}	13.84^{kl}	14.53^{jk}
$I_2\times N_2$	1.313^{klm}	12.94^{q}	224.7^{jk}	460.5^{ij}	0.02810^{a}	10.00^{fghi}	0.002851^{a}	0.005844^{a}	0.4879^{a}	14.04^{jk}	14.74^{ij}
$I_2\times N_3$	1.598^{hij}	13.19^{n}	233.1^{f}	477.3^{e}	0.02763^{a}	8.273^{hijklm}	0.003349^{a}	0.006859^{a}	0.4883^{a}	14.57^{f}	15.27^{e}
$I_2\times N_4$	2.450^{bc}	13.63^{g}	241.2^{de}	493.5^{d}	0.02762^{a}	5.595^{opq}	0.004972^{a}	0.01017^{a}	0.4888^{a}	15.08^{de}	15.76^{d}
$I_2\times N_5$	2.630^{ab}	13.76^{f}	244.7^{cd}	500.4^{cd}	0.02750^{a}	5.240^{pq}	0.005259^{a}	0.01075^{a}	0.4891^{a}	15.30^{cd}	15.98^{cd}
$I_2\times N_6$	2.792^{a}	13.95^{b}	247.5^{bc}	506.2^{bc}	0.02756^{a}	5.016^{q}	0.005514^{a}	0.01128^{a}	0.4881^{a}	15.47^{bc}	16.17^{bc}
$I_3\times N_1$	1.055^{nop}	12.42^{x}	213.5^{m}	438.0^{l}	0.02835^{a}	11.92^{def}	0.002408^{a}	0.004941^{a}	0.4874^{a}	13.34^{m}	14.03^{l}
$I_3\times N_2$	1.228^{lmn}	12.70^{t}	217.9^{l}	447.0^{k}	0.02842^{a}	10.44^{efgh}	0.002750^{a}	0.005641^{a}	0.4875^{a}	13.62^{l}	14.32^{k}
$I_3\times N_3$	1.365^{klm}	13.02^{p}	225.3^{ij}	461.9^{hi}	0.02819^{a}	9.618^{ghij}	0.002957^{a}	0.006060^{a}	0.4879^{a}	14.08^{ij}	14.78^{ghi}
$I_3\times N_4$	2.015^{ef}	13.47^{i}	233.8^{f}	478.7^{e}	0.02813^{a}	6.728^{lmnopq}	0.004209^{a}	0.008621^{a}	0.4883^{a}	14.61^{f}	15.31^{e}
$I_3\times N_5$	2.207^{de}	13.55^{h}	234.4^{f}	480.1^{e}	0.02822^{a}	6.146^{mnopq}	0.004596^{a}	0.009414^{a}	0.4883^{a}	14.65^{f}	15.35^{e}
$I_3\times N_6$	2.318^{cd}	13.78^{e}	240.9^{e}	493.0^{d}	0.02795^{a}	5.948^{nopq}	0.004702^{a}	0.009623^{a}	0.4887^{a}	15.06^{e}	15.76^{d}
$I_4\times N_1$	0.8350^{pqr}	12.22^{z}	208.3^{no}	427.7^{mn}	0.02857^{a}	14.87^{bc}	0.001953^{a}	0.004012^{a}	0.4869^{a}	13.02^{no}	13.72^{mn}
$I_4\times N_2$	1.025^{nop}	12.50^{w}	210.1^{mn}	431.1^{lm}	0.02900^{a}	12.34^{de}	0.002379^{a}	0.004881^{a}	0.4873^{a}	13.13^{mn}	13.81^{lm}
$I_4\times N_3$	1.512^{ijk}	12.85^{s}	220.6^{l}	452.1^{k}	0.02842^{a}	8.530^{hijkl}	0.003343^{a}	0.006852^{a}	0.4879^{a}	13.79^{l}	14.47^{k}
$I_4\times N_4$	1.705^{ghi}	13.30^{l}	224.4^{jk}	460.6^{ij}	0.02888^{a}	7.825^{ijklmn}	0.003701^{a}	0.007597^{a}	0.4872^{a}	14.02^{jk}	14.76^{hij}
$I_4\times N_5$	1.813^{fgh}	13.38^{k}	229.3^{gh}	469.3^{fg}	0.02851^{a}	7.396^{klmnop}	0.003862^{a}	0.007760^{a}	0.4885^{a}	14.33^{gh}	15.00^{fg}
$I_4\times N_6$	1.857^{fg}	13.62^{g}	233.2^{f}	477.2^{e}	0.02854^{a}	7.726^{jklmno}	0.003896^{a}	0.007970^{a}	0.4888^{a}	14.58^{f}	15.25^{e}
$I_5\times N_1$	0.6817^{r}	12.10^{z}	206.0^{o}	423.1^{n}	0.02860^{a}	18.72^{a}	0.001613^{a}	0.003312^{a}	0.4869^{a}	12.88^{o}	13.57^{n}
$I_5\times N_2$	0.7950^{qr}	12.29^{y}	206.7^{no}	424.5^{mn}	0.02895^{a}	15.55^{b}	0.001874^{a}	0.003847^{a}	0.4870^{a}	12.92^{no}	13.61^{mn}
$I_5\times N_3$	0.9950^{opq}	12.68^{u}	212.5^{m}	436.1^{l}	0.02908^{a}	12.76^{cd}	0.002282^{a}	0.004684^{a}	0.4873^{a}	13.28^{m}	13.97^{l}
$I_5\times N_4$	1.432^{jkl}	13.18^{no}	219.0^{l}	449.2^{k}	0.02934^{a}	9.340^{ghijk}	0.003188^{a}	0.006538^{a}	0.4876^{a}	13.69^{l}	14.38^{k}
$I_5\times N_5$	1.688^{ghi}	13.22^{m}	220.5^{l}	452.1^{k}	0.02924^{a}	7.873^{ijklmn}	0.003734^{a}	0.007656^{a}	0.4877^{a}	13.78^{l}	14.48^{k}
$I_5\times N_6$	1.760^{gh}	13.41^{j}	226.8^{hij}	464.6^{ghi}	0.02886^{a}	7.654^{jklmno}	0.003788^{a}	0.007906^{a}	0.4890^{a}	14.17^{hij}	14.86^{ghi}

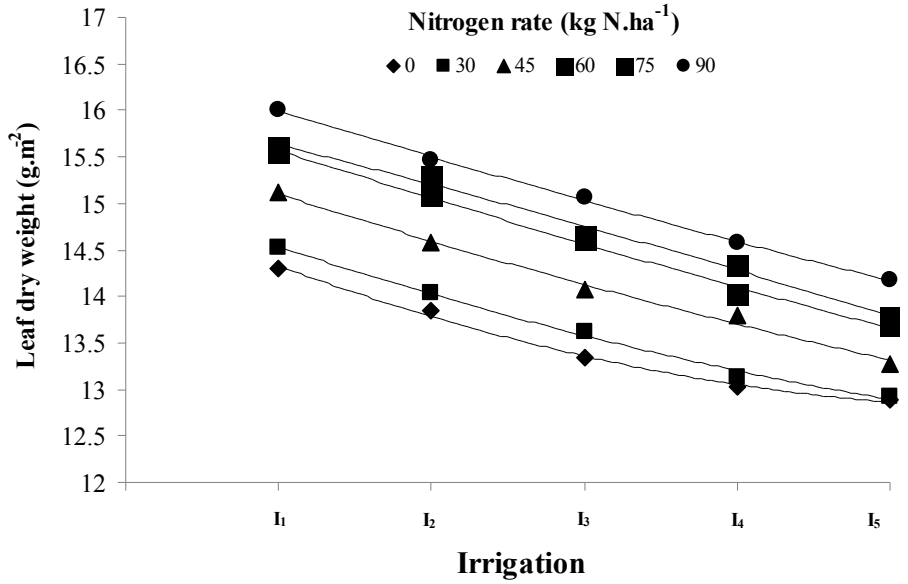
I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ روز یک‌بار و N_1، N_2، N_3، N_4، N_5 و N_6: به‌ترتب صفر، ۳۵، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

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, D_4, D_5 and D_6: 0, 35, 45, 60, 75 and 90 kg N per ha, respectively.

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس 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.

آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و همچنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای بیولوژیک گیاه سبب افزایش وزن خشک می‌گردد. با کاهش مقدار آب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن می‌توان به تغییر در انتقال آنزیم‌ها در فتوسنتز و آنزیم ریبولوز بیسفسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. در بین سطوح مختلف کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۵/۰۶ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۳/۴۷ گرم بر مترمربع کمترین وزن خشک برگ را داشتند (جدول ۳). می‌توان بیان نمود که افزایش کود نیتروژن باعث افزایش غلظت نیتروژن، حفظ سبزینگی و دوام سطح برگ می‌شود و همچنین افزایش مقدار این کود باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود که همه این موارد باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی می‌گردد. در اثر متقابل دو فاکتور آبیاری هر روزه و مقدار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین وزن خشک برگ (با ۱۶/۰۱ گرم بر مترمربع) و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن (با ۱۲/۸۸ گرم بر مترمربع) کمترین وزن خشک برگ را دارا بودند (جدول ۳). تجمع ماده خشک، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است. ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. افزایش سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه، افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (Keshavarz Afshar et al., 2011). نتایج برخی مطالعات مؤید افزایش رشد و بهبود میزان تجمع ماده خشک ناشی از کاربرد نیتروژن می‌باشد (Afza et al., 1987; Al-Ithawi et al., 1980; Ham et al., 1975; Rickerl, 1986; Touchton & Wood et al., 1993).



0 kg N.ha-1	y = 0.058x2 - 0.717x + 14.98 R² = 0.996	60 kg N.ha-1	y = 0.011x2 - 0.546x + 16.10 R² = 0.995
30 kg N.ha-1	y = 0.033x2 - 0.612x + 15.11 R² = 0.995	75 kg N.ha-1	y = -0.012x2 - 0.388x + 16.03 R² = 0.989
45 kg N.ha-1	y = 0.02x2 - 0.566x + 15.64 R² = 0.993	90 kg N.ha-1	y = 0.013x2 - 0.538x + 16.52 R² = 0.999

شکل ۱- اثر متقابل آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر وزن خشک برگ برنج

Fig. 1- Interaction of alternating irrigation and nitrogen rates on leaf dry weight of rice

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ 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.

از نظر وزن خشک ساقه، آبیاری هر روزه دارای بیشترین (۱۵/۸۷ گرم بر مترمربع) و آبیاری ۱۵ روزه دارای کمترین مقدار (۱۴/۱۵ گرم بر مترمربع) بودند (جدول ۳). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و همچنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای بیولوژیک گیاه سبب افزایش وزن خشک می‌گردد. با کاهش مقدار 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. در بین سطوح کود نیتروژن، مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۵/۷۴ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۴/۱۷ گرم بر مترمربع کمترین وزن خشک ساقه را داشتند (جدول ۳). آبیاری هر روزه و مقدار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین وزن خشک ساقه (با ۱۶/۶۸ گرم بر مترمربع) و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن (با ۱۳/۶۱ گرم بر مترمربع) کمترین وزن خشک ساقه را دارا بودند (جدول ۳). نیومن (Neumann, 1993) نتیجه گرفت که کاهش آب سبب کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه شده و مانعی برای طویل شدن ساقه محسوب می‌شود که این امر کاهش وزن خشک این اندام را موجب می‌شود. اختلاف در تجمع ماده خشک در پاسخ به نیتروژن از تفاوت در میزان دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی توسط کانوپی گیاهی و راندمان گیاه در استفاده از تابش خورشیدی ناشی می‌شود. در ارتباط با محتوی نیتروژن و تجمع ماده خشک مطالعات نشان‌دهنده آن است که کاهش در زیست توده عمدتاً در اثر کاهش سطح برگ اتفاق می‌افتد (Dordas & Sioulas, 2009). برخی محققان بر این باورند که مصرف نیتروژن موجب بهبود و تقویت رشد رویشی شده و گیاه با آمادگی بیشتر به مرحله زایشی وارد شده و در نهایت، میزان تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Dibert et al., 1979; Starling et al., 1998). ایگلی و همکاران (Egli et al., 1985) بیان داشتند که مصرف کود نیتروژن به‌صورت سرک در طی مراحل رشدی گیاهان با تولید مخازن زایشی، از طریق بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی و افزایش CGR، در نهایت افزایش میزان تجمع ماده خشک را به‌دنبال دارد. از طرف دیگر، عدم دسترسی به منابع تکمیلی نیتروژن در مراحل حساس رشدی منجر به تولید ماده فتوسنتزی کمتر و در نهایت، میزان تجمع ماده خشک اندک به‌دلیل شدت ریزش برگ‌ها در این سطح از نیتروژن شده که با نتایج عزیزی (Azizi, 1999) مطابقت دارد.

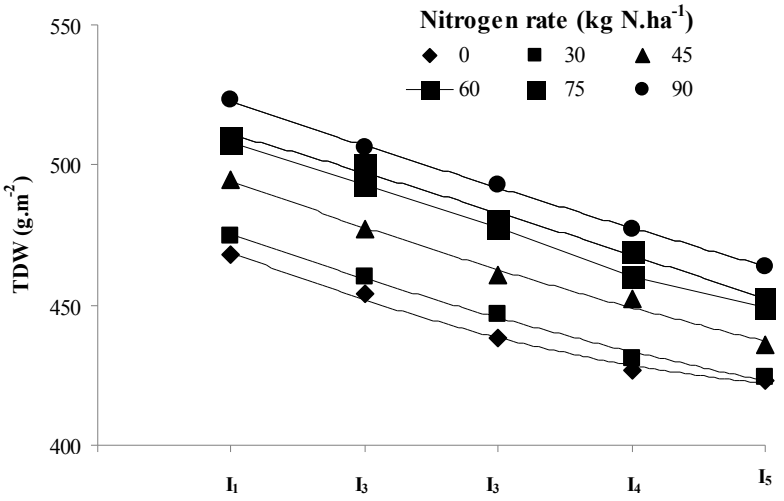
سرعت رشد محصول یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی می‌باشد، که عبارت است از افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح مزرعه در واحد زمان بوده و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در مترمربع (سطح زمین) در روز بیان می‌گردد. از این شاخص به‌طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد محصولات به‌کار گرفته می‌شود (Gardner et al., 2010). از نظر CGR، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۱۳/۷۹ گرم بر مترمربع در روز بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۱۲/۴۶ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند (جدول ۳). در نتیجه با افزایش کود نیتروژن سرعت رشد گیاه برنج افزایش می‌یابد که این به‌دلیل افزایش جذب تابش خورشیدی همراه با افزایش سطح برگ و در نتیجه، افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد. فرجی و همکاران (Faraji et al., 2011) و اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2005) بیان کردند که با افزایش کود نیتروژن، سرعت رشد گیاه برنج افزایش می‌یابد. آبیاری هر روز بیشترین CGR را با ۱۳/۵۷ گرم بر مترمربع در روز ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۱۲/۸۱ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود (جدول ۳). آبیاری توان تولید مواد فتوسنتزی را در گیاه برنج افزایش می‌دهد که باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه و در نتیجه، سبب افزایش شاخص TDW می‌گردد. از آن‌جا که مقدار CGR ارتباط زیادی به‌مقدار TDW دارد، در نتیجه افزایش TDW باعث افزایش CGR می‌گردد. با کاهش آبیاری در نتیجه کاهش وزن خشک گیاه CGR نیز کاهش می‌یابد. نتایج حاصل با نتایج خادم باشی و همکاران (۱۳۸۹) در خصوص تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر CGR مطابقت می‌نماید. آبیاری هر روز و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین CGR با ۱۴/۱۷ گرم بر مترمربع در روز بودند. همچنین آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۱۲/۱۰ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند. بررسی‌ها مؤید آن است که با کاهش محتوی آب قابل دسترس مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد (Murata, 1961) که کاهش مقدار آب برگ به‌شدت کاهش وزن خشک آن را به‌دنبال دارد (Matsuo et al., 1995). به‌طور کلی، کاربرد نیتروژن با بهبود رشد، توسعه سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سرعت رشد گیاه را تقویت و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد.

به‌دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی، هم‌زمان با افزایش شاخص سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد و با گذشت زمان، پس از رسیدن به حد نهایی خود با پیر شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز خالص، سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد. می‌توان گفت، بالا بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری در مراحل انتهایی رشد (Van Iersel, 2000; Van Iersel & Seymour, 2000)، نیز باعث کاهش شدیدتر سرعت رشد محصول می‌شود.

آسیمیلاسیون خالص مقدار مواد ساخته شده خالص در واحد زمان و واحد سطح برگ بوده و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک) بر مترمربع (سطح برگ) در روز بیان می‌گردد (Gardner et al., 2010). میزان آسیمیلاسیون خالص در اوایل فصل رشد به‌دلیل پایین بودن سطح برگ و فتوسنتز پایین بوده و به‌تدریج همراه با رشد و افزایش سطح برگ گیاه، در اواسط فصل رشد افزایش چشم‌گیری یافته و پس از آن به‌دلایلی چون سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر، انتقال مجدد عناصر و پیری برگ‌ها و کاهش کارآیی فتوسنتزی آن‌ها کاهش شدیدی پیدا می‌کند. آبیاری هر روزه با ۱۱/۹۸ گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR و آبیاری ۱۵ روزه با ۷/۱۴ گرم بر مترمربع در روز بیشترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح مختلف کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم نیتروژن با ۶/۳۰ گرم بر مترمربع در روز کمترین و صفر کیلوگرم نیتروژن با ۱۳/۲۳ گرم بر مترمربع در روز بیشترین NAR را داشتند (جدول ۳). با افزایش شاخص سطح برگ، در همه تیمارها سرعت جذب خالص کاهش یافت که این امر می تواند به این علت باشد که مقادیر بالای نیتروژن، تولید پنجه و توسعه سطح برگ را افزایش می دهد که این خود موجب سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر و در نتیجه، کاهش مقدار فتوسنتز خالص می‌گردد. روند کاهشی سرعت جذب خالص در سطوح بالاتر نیتروژن شدیدتر بود. به نظر می رسد که علت این امر می‌تواند تسریع در تولید برگ و زودتر بسته شدن پوشش گیاهی باشد. نتایج تحقیق فرجی و همکاران (Faraji et al., 2011) و اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2005) مطابق نتایج فوق‌الذکر بود. در اثر متقابل آبیاری و نیتروژن، آبیاری ۵ روزه و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن با ۵/۰۱ گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن با ۱۸/۷۲ گرم بر مترمربع در روز دارای بیشترین NAR بودند (جدول ۳). افزایش مصرف کود نیتروژن به‌دلیل بهبود شاخص سطح برگ بهبود سرعت آسیمیلاسیون خالص را موجب می‌گردد. البته در مقادیر بالاتر کود تشکیل پنجه‌های جدید تا انتهای دوره رشد ادامه دارد، ولی این پنجه‌های جوان معمولاً به مرحله باروری نرسیده و در سایه پنجه‌های بالایی قرار می‌گیرند که در نتیجه، کاهش سرعت فتوسنتز خالص را موجب می‌گردد. لذا افزایش بی‌رویه مصرف نیتروژن از طریق سایه‌اندازی برگ‌ها کاهش سرعت آسیمیلاسیون خالص را در پی دارد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین LDW در آبیاری هر روز با میانگین ۲۴۲/۹ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۲۱۵/۳ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین سطوح کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۲۴۰/۹ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۲۱۵/۶ گرم بر مترمربع کمترین مقدار LDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری هر روز و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۲۴۸/۷ گرم بر مترمربع بیشترین LDW و آبیاری ۱۵ روزه ۴۵ کیلوگرم کود نیتروژن با ۲۰۶ گرم بر مترمربع کمترین LDW را داشتند (جدول ۳). 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 می‌شود و افزایش این عامل باعث افزایش شاخص LDW می‌گردد. کاهش آبیاری باعث کاهش سطح برگ و جذب نور خورشید می‌گردد که این عامل باعث کاهش فتوسنتز و تولید مواد در گیاه می‌گردد و در نتیجه، وزن خشک برگ کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین TDW در آبیاری هر روز با میانگین ۴۹۶/۹ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۴۴۱/۶ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین سطوح کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۴۹۲/۸ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۴۴۲/۳ گرم بر مترمربع کمترین مقدار TDW را دارا بود (جدول ۳). در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری هر روز و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۵۲۳ گرم بر مترمربع بیشترین TDW و آبیاری ۱۵ روزه صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۴۲۳/۱ گرم بر مترمربع کمترین TDW را داشتند (جدول ۳). همبستگی بین محتوای نیتروژن و تبادل خالص دی‌اکسید کربن درژنوتیپ‌های برنج مؤید آن است که افزایش نیتروژن برای تولید ماده خشک ضروری است (Murata, 1961).



0 kg N.ha^{-1}	$y = 1.785x^2 - 22.41x + 489.6$ $R^2 = 0.994$	60 kg N.ha^{-1}	$y = 0.357x^2 - 16.84x + 539.2$ $R^2 = 0.998$
30 kg N.ha^{-1}	$y = 0.785x^2 - 19.01x + 512.6$ $R^2 = 0.993$	75 kg N.ha^{-1}	$y = -0.357x^2 - 12.55x + 523.8$ $R^2 = 0.991$
45 kg N.ha^{-1}	$y = -0.357x^2 - 12.55x + 523.8$ $R^2 = 0.991$	90 kg N.ha^{-1}	$y = 0.357x^2 - 16.84x + 539.2$ $R^2 = 0.998$

شکل ۲- اثر متقابل آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر میزان تجمع ماده خشک برنج

Fig. 2- Interaction of alternating irrigation and nitrogen rates on total dry weight of rice

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ 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.

سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است، امّا با این وجود توصیف‌کننده یک سرعت رشد ثابت در طول یک چارچوب زمانی مشخص نیست و می‌تواند با مقادیر لحظه‌ای RGR متفاوت باشد (Gardner et al., 2010). با گذشت زمان به‌دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی و کاهش پتانسیل فتوسنتزی این برگ‌ها و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی و غیرفتوسنتزی و ایجاد رقابت بین اندام‌های مختلف گیاهی برای دریافت آب، آسیمیلات‌های فتوسنتزی و دریافت نور سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. بالاترین RGR در آبیاری ۱۵ روز با میانگین ۰/۰۲۹ مترمربع بر گرم به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری هر روزه با ۰/۰۲۷ مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین سطوح کود نیتروژن، ۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۲۸۴۳ مترمربع بر گرم بیشترین و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۲۸ مترمربع بر گرم کمترین مقدار RGR را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری ۱۵ روزه و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۲۹۳۴ مترمربع بر گرم بیشترین RGR و آبیاری هر روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۲۷۱ مترمربع بر گرم کمترین RGR را داشتند (جدول ۳). همبستگی معنی دار بین RGR و SLA نشان می دهد که ارقام دارای برگ‌های نازک‌تر به‌دلیل توانایی در توزیع وزن خشک به سطح برگ بیشتر، دارای سطح فتوسنتزی بیشتر و در نتیجه، RGR بیشتری را نیز دارا می‌باشند (Ghorbanli et al., 2006). پارسا و همکاران (Parsa et al., 2011) اظهار داشتند در ابتدای فصل رشد، میزان RGR به‌علت نفوذ نور به داخل جامعه گیاهی، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها و در نتیجه تنفس کمتر، بالاتر می‌باشد، امّا با افزایش سن گیاه، سرعت رشد نسبی گیاه کاهش می‌یابد، زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند. آن‌ها بیان کردند در مجموع، RGR در تیمار آبیاری کامل بیشتر از

تیمارهای آبیاری تکمیلی در نخود بود.

آبیاری ۵ روزه با ۰/۰۰۸ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۰۰۵ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۰۹ مترمربع بر گرم بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۰۴ مترمربع بر گرم کمترین SLA را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری ۵ روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۱۱ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۰۳ مترمربع بر گرم دارای کمترین SLA بودند (جدول ۳).

آبیاری ۵ روزه با ۰/۰۰۴ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۰۰۲ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۰۴ مترمربع بر گرم بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۰۲ مترمربع بر گرم کمترین LAR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری ۵ روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۰۵ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۰۱ مترمربع بر گرم دارای کمترین LAR بودند (جدول ۳). کاهش محتوی آب قابل دسترس به‌طور معنی‌داری سبب کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی می‌شود که این موضوع سبب کاهش فشار تورژسانس در بافت‌های بالغ برنج نسبت به بافت‌های جوان در حال توسعه را در پی دارد (Lu & Neumann, 1998).

آبیاری هر روزه با ۰/۴۸۸۸ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LWR و آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۴۸۷۴ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۴۸۸۹ مترمربع بر گرم بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۴۸۷۴ مترمربع بر گرم کمترین LWR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری هر روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۴۸۹۷ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LWR و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۴۸۶۹ مترمربع بر گرم دارای کمترین LWR بودند (جدول ۳). نیتروژن جزء عناصر پرمصرف گیاهان به‌شمار می‌رود که می‌تواند سبب تولید بیشتر بافت‌های سبزینه‌ای شده و با اثر غیرمستقیمی که بر تولید بیشتر گیاه دارد می‌تواند موجب افزایش عملکرد گیاه شود (Marschner, 1995).

نیتروژن به‌واسطه تأثیر بر تولید هورمون سیتوکینین از ریشه به اندام‌های هوایی، از طریق افزایش سرعت تقسیم سلولی موجب افزایش تقسیم سلولی و بهبود وزن خشک اندام‌های فتوسنتزکننده شد (Marschner, 1995).

میزان آب مصرفی یکی از شاخص‌های مهم کاشت برنج می‌باشد. آبیاری هر روزه با ۶۵۸۱ مترمکعب در هکتار بیشترین و آبیاری ۱۵ روزه با ۴۸۵۰ مترمکعب در هکتار کمترین میزان آب مصرفی را داشتند. در بین سطوح کود نیتروژن مقدار کود ۹۰ کیلوگرم بیشترین (۵۹۴۰ مترمکعب در هکتار) و مقدار کود صفر کیلوگرم کمترین میزان آب مصرفی (۵۶۴۳ مترمکعب در هکتار) را ایجاد نمود. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری هر روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۶۶۶۳ مترمکعب در هکتار بیشترین آب مصرفی و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن (۴۶۹۱ مترمکعب در هکتار) کمترین را داشتند. آب مهم‌ترین نهاده برای تولید پایدار در مناطق برنج‌خیز می‌باشد. علی‌رغم این‌که برنج غالباً به‌صورت غرقاب کشت می‌شود، کنترل آب مهم‌ترین عملیات مدیریتی است که نقش تعیین‌کننده‌ای در سودمندی سایر نهاده‌های مصرفی اعم از عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و غیره دارد (Darzi et al., 2013). بهره‌وری آب (WP)[۴] در برنج مفهومی نسبی است که بیانگر مقدار یا ارزش تولید به‌ازای حجم یا مقدار آب مصرفی می‌باشد. اگرچه اختلافات زیادی در مقادیر بهره‌وری آب در برنج گزارش شده است (Tuong, 1999)، ولی این تفاوت‌ها به‌میزان زیادی تحت تأثیر تنوع و اختلافات زیاد در عملکرد است، ولی متأثر از میزان آب مصرفی 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). بر این اساس، پیشنهاد می‌شود با بهره‌گیری از راهکارهای مدیریتی نیاز آبی برنج را به‌عنوان یکی از گیاهان اصلی مورد نیاز کشور کاهش داد و از این طریق گامی مؤثر در بهره‌وری آب و بهبود راندمان مصرف آن و بهره‌وری تولید (Darzi et al., 2013; Tuong, 1999) ایفا نمود. سایر محققان (Aziz et al., 2018; Kadiyala et al., 2015) نیز بر این باورند که مدیریت آبیاری راهکاری زراعی در

1- Water productivity

راستای تولید پایدار برنج به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک و کمبود منابع آب زیرزمینی می‌باشد. علاوه‌براین، به نظر می‌رسد اعمال مدیریت آبیاری تناوبی با فراهمی اکسیژن کافی در طول فصل رشد برای ریشه و خرج مواد سمی از منطقه ریزوسفر می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کود نیتروژن و تیمارهای آبیاری با افزایش شاخص سطح برگ و بهبود توانمندی گیاه برنج برای رشد بهتر و تولید بیشتر ماده خشک، موجب دست‌یابی به شاخص‌های فیزیولوژیکی بالاتر محصول گردید. در بین سطوح آبیاری، آبیاری هر روزه بیشترین سطح برگ و سرعت رشد محصول را دارا بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در شرایط تنش کم (آبیاری هر روزه و ۵ روزه) با توجه به اختلاف کم معنی‌دار بین مقدار کود نیتروژن ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و اجتناب از آلایندگی مقادیر بالاتر کاربرد کود نیتروژنی و کاهش هزینه‌های کاشت در اثر خرید و کاربرد کود نیتروژن در اراضی شالیزاری مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره را می‌توان توصیه نمود. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در شرایط تنش متوسط و زیاد (آبیاری ۸، ۱۰ و ۱۵ روزه) مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌عنوان بهترین گزینه می‌باشد که البته این امر نیازمند مطالعات و تحقیق به‌ویژه در شرایط مختلف آب‌وهوایی و خاکی می‌باشد. به‌طور کلی، از آن‌جا که عملکرد گیاه زراعی نتیجه عوامل بسیار زیاد ژنتیکی، محیطی و اثرات متقابل آن‌ها می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد در آینده، تکنیک‌هایی همچون جای‌گذاری عمیق کود نیتروژن با خاصیت رهاسازی آهسته به‌منظور تأمین نیتروژن مورد نیاز برنج همراه با مدیریت آبیاری تناوبی مورد بررسی قرار گیرد.

References

1. Afza, R., Hardarson, G., Zapata, F., and Danso, S.K.A., 1987. Effects of delayed soil and foliar N fertiliztion on yield and N_2 fixation of soybean. Plant and Soil 3: 361-368.
2. Al-Barrak, K.M., 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). Science Journal of King Faisal University Basis of Applied Science 7(1): 87-103.
3. Al-Ithawi, B., Deibert, E.J., and Olson, R.A., 1980. Applied N and moisture level effects on yield, depth of root activity, and nutrient uptake by soybeans. Agronomy Journal 72: 827-832.
4. Amiri, E., Razavipour, T., and Bannayan, M., 2011. 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)
5. Ather Nadeem, M., Iqbal, Z., Ayub, M., Mubeen, K., and Ibrahim, M., 2009. Effect of nitrogen application on forage yield and quality of maize sown alone and in mixture with legumes. Pakistani Journal of Life Society Science 7(2): 161-167.
6. Aziz, O., Hussain, S., Rizwan, M., Riaz, M., Bashir, S., Lin, L., Mehmood, S., Imran, M., Yaseen, R., and Guoan, L., 2018. Increasing water productivity, nitrogen economy, and grain yield of rice by water saving irrigation and Fertilizer-N management. Environmental Science and Pollution Research 25(17): 16601–16615.
7. Azizi, M., 1999. Effect of irrigation regimes and K fertilizer on agronomic, physiologic and biochemic characters of soybean. Ph.D. Thesis in Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
8. Bouman, B.A.M., and Tuong, T.P., 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agriculture and Water Management 49(1, 2): 11-30.
9. Caliskan, S., Ozakaya, I., Caliskan, M.E., and Arslan, M., 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. Field Crops Research 108: 126-132.
10. Carmelita, M., Albertoa, R., Wassmanna, R., Hiranob, T., Miyatac, A., Hatanob, R., Kumara, A., Padrea, A., and Amante, M., 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management 98: 1417–1430.
11. Dahatonde, B.N., 1995. Effect of NPK fertilization on growth and yield of paddy. PKV Research Journal 19: 184-

185.
12. Darzi, A.A., Mirlotfi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., and Mahdian, M.H., 2013. Effect of surface and subsurface drainage in paddy fields on rice yield and its components. Iranian Journal of Water Research in Agriculture 26: 61-70. (In Persian with English Summary)
13. De Datta, S.K., and Gumez, K.A., 1980. Changes in phosphorus and potassium response in wetland rice soils in south and south-east Asia. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
14. Dibert, E.J., Bigercyo, M., and Olson, R.A., 1979. Utilization of N_{15} fertilizer by nodulating and nonnodulating soybean isolines. Agronomy Journal 71: 715-723.
15. Dobbermann, A., Cassman, K.G., Mamaril, C.P., and Sheehy, J.E., 1998. Management of phosphorus, potassium and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. Field Crops Research 56: 113-138.
16. Egli, D.B., Guffy, R.G., and Leggett, J.E., 1985. Partitioning of assimilate between vegetative and reproductive growth in soybean. Agronomy Journal 77: 917-922.
17. Esfahani, M., S.M., Sadrzadeh, S.M., Kavoosi, M., and Dabagh- Mohammadi-Nasab, A., 2005. Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components and growth of rice cv. Khazar. Iranian Journal of Crop Science 7(3): 226-242. (In Persian with English Summary)
18. Faraji, F., Esfahani, M., Kavoosi, M., Nahvi, M., and Rabiei, B., 2011. Effect of nitrogen fertilizer application on grain yield and milling recovery of rice (*Oryza sativa* cv. Khazar). Iranian Journal of Crop Sciences 13(1): 61-77. (In Persian with English Summary)
19. Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L., 2010. Physiology of Crop Plants. Scientific Publishers (India), Crops, 327 pp.
20. Ghobady, M., Jahanbin, S.H., Motalebifard, R., and Parvizi, K.H., 2011. Effect of Phosphorus biofertilizers on yield and yield components of potato. Journal of Management System 21(2): 117-130. (In Persian with English Summary)
21. Ghorbanli, M., Hashemi Moghaddam, S., and Fallah, A., 2006. Study of interaction effects of irrigation and nitrogen on some morphological and physiological characteristic of rice plant (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(2): 415- 428. (In Persian with English Summary)
22. Gilani, A., and Absalan, S.A., 2004. Effects of different irrigation regimes on the performance level and growth of rice cultivars in Khuzestan. Final Report of the Research Project. Agricultural Research and Education Organization. (In Persian)
23. Ham, G.E., Liener, I.E., Evans, S.D., Frazier, R.D., and Nelson, W.W., 1975. Yield and composition of soybean seed as affected by N and S fertilization. Agronomy Journal 67: 293-297.
24. Iqbal, J., Cheema, A.A., Niazi, M.N., and Dogar, M.S., 1991. Response of potassium application to rice wheat in salt affected soils. Technique 8: 19-30.
25. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Ehyayi, H.R., 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606-611.
26. Kadiyala, M.D.M., Jones, J.W., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., and Reddy, M.D., 2015. Identifying irrigation and nitrogen best management practices for aerobic rice–maize cropping system for semi-arid tropics using CERES-rice and maize models. Agricultural Water Management 149: 23-32.
27. Karimi, M.M., and Siddique, K.H.M., 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agriculture Research 42: 13-20.
28. Katoh, M., Iwata, A., Shaku, I., Nakajima, Y., Matsuya, K., and Kimura, M., 2003.Impact of water percolation on nutrient leaching from an irrigated paddy field in Japan. Soil Use and Management 19: 298-304.
29. Kaushal, T., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., and Ohyama, T., 2006. Effect of placement of slow- release fertilizer (Lime nitrogen) applied at different rates on growth, N_2 fixation and yield of soybean (*Glycine max*). Journal of Agronomy and Crop Science 192: 417-426.
30. Keshavarz Afshar, R., Chaichi, M.R., Alipour Jahangiri, A., Ansari Jovini, M., Moghaddam, H., Ehteshami, S.M.R., and Khavazi, K., 2011. Effects of foliar application of plant growth promoting rhizobacteria on forage and grain yield of forage sorghum (var. Speedfeed). Iranian Journal of Field Crop Science 42(3): 575-584. (In Persian with English Summary)
31. Kumudini, S.D., Hume, J., and Chu, G., 2001. Genetic improvement in short- season soybeans. I. Dry matter

accumulation, partitioning, and leaf area duration. Crop Science 41: 391-398.
32. Lin, J.L., and Lin, T.L., 1985. Tiller number and leaf area index in rice community as influenced by planting density and N-fertilizer. Journal of the Agricultural Association of China 129: 14-34.
33. Lu, Z., and Neumann, P.M., 1998. Water- stressed maize, barley and rice seedling show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. Journal of Experimental Botany 49(329): 1945-1952.
34. 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.
35. Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press London.
36. Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R., and Hirata, H., 1995. Science of the Rice. Food and Agriculture Policy Research Center.
37. Murata, Y., 1961. Studies on the photosynthesis of rice plant and culture significance. Bulletin of National Institute for Agriculture Science 9: 1-169.
38. Neumann, P.M., 1993. Rapid and reversible modification of extension capacity of cell walls in elongating maize leaf tissues responding to root addition and removal of NaCl. Plant, Cell and Environment 16: 1107-14.
39. Ntanos, D.A., and Koutroubas, S.D., 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. Field Crops Research 74: 93-101.
40. Ohnishi, M., Horie, T., Homma, K., Supapoj, N., Takano, H., and Yamamoto, S., 1999. Nitrogen management and cultivar effects on rice yield and nitrogen use efficiency in Northeast Thailand. Field Crops Research 64: 109-120.
41. Pantuwan, G., Fukai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S., O'Toole J.C., and Basnayake, J., 2004. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands. Field Crops Research 89: 281-297.
42. Parsa, M., Ganjali, A., Rezayeeanzadeh, A., and Nezami, A., 2011. Effect of supplemental irrigation on yield and yield components and correlation between varieties cultivated in spring chickpea. Iranian Journal of Field Crops Research 9(3): 310-321. (In Persian with English Summary)
43. Peng, S., 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. In: J.E. Sheehy, P.L. Mitchell, and B. Hardy (Eds.). Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
44. Prasad, B., and Prasad, J., 1997. Response of rice to potassium application in calcareous soils. Journal of Potassium Research 13: 50-57.
45. Rezaei, M., and Nahvi, M., 2007. Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. Agricultural Science 1(9): 15-25.
46. Sahoo, N.C., and Guru, S.K., 1998. Physiological basis of yield variation in short duration cultivars of yield variation in short duration cultivars of rice. Indian Journal of Physiology 3: 36-41.
47. Sajadi Nik, R., and Yadavi, A.R., 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phonological stages and grain yield of sesame. Electronic Journal of Crop Production 6(2): 73-99. (In Persian with English Summary)
48. Starling, M.E, Wood, C.W., and Weaver, D.B., 1998. Starter nitrogen and growth habit effects on late-planted soybean. Agronomy Journal 90: 658-662.
49. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nagumo, Y., Nakano, T., and Ohyama, T., 1991. Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield and nitrogen fixation of soybean plants. Soil Science and Plant Nutrition 37: 223-231.
50. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T., and Ohyama, T., 1992. Evaluation of N_2 fixation and N absorption activity by relative Ureide method in field grown soybean plants with deep placement of coated urea. Soil Science and Plant Nutrition 38: 699-708.
51. Touchton, J.T., and Rickerl, D.H., 1986. Soybean growth and yield response to starter fertilizers. Soil Science and Society of America Journal 50: 234-237.
52. Tuong, T.P., 1999. Productive water use in rice production: Opportunities and limitations. Journal of Crop Production 2: 241-264.
53. Uexkull, H.R.V., 1976. Fertilizing for high yield rice. International Potash Institute. Berne, Switzerland.
54. Van Iersel, M.W., 2000. Growth and maintenance respiration of *Catharanthus roseus* L. estimated from CO_2 exchange. Journal of American Society of Hotriculture Science Acta Horticulture 519: 133-140.
55. Van Iersel, M.W., and Seymour, L., 2000. Growth respiration, maintenance respiration, and carbon fixation of

vinca: a time series analysis. Journal of American Society of Horticulture Science 125(6): 702-706.

56. Wilson, C.E., Slaton, N.A., Dickson, P.A., Norman, R.J., and Wells, B.R., 1996. Rice response to phosphorus and potassium fertilizer application. Research Series- Arkansas Agricultural Experimental Station 450: 15-18.
57. Wood, C.W., Torbert, H.A., and Weaver, D.B., 1993. Nitrogen fertilizer effects on soybean growth, yield, and composition. Journal of Production Agriculture 6: 354-360.
58. 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.
59. Yazdandoost Hamedani, M., 2003. A study of the effect of nitrogen rates on yield, yield components and nitrate accumulation in potato varieties. Iranian Journal of Agriculture Science 24(4): 977-985. (In Persian with English Summary)
60. Ying, J., Peng, S., He, Q., Yang, H., Yang, C., Visperas, R.M., and Cassman, K.G., 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments. I. Determinants of grain and dry matter yields. Field Crops Research 57: 71-84.
61. Yoshida, S., 1975. Factors that limit the growth and yields of upland rice In: Major Research in upland Rice. IRRI. Los Banos. Philippines pp. 46-71
62. Yoshida, S., 1981. Fundamental of rice crop science. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
63. Yousefi Falakdehi, A., 2006. The interaction effect of water stress and salinity on yield of rice. M.Sc. Thesis in Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 281-298

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۹۸-۲۸۱

Effect of Irrigation Interval and Nitrogen Amount on Water Requirement, and growth of Rice (*Oryza sativa* L.) Hashemi Cultivar under Gilan Climate Conditions

K. Sabokrow Foomani[1], S.A. Valad Abadi[2*], M. Kavoosi[3], H. Zakerin[2], M. Yazdani[4]

Submitted: 05-09-2018
Accepted: 05-01-2019

Sabokrow Foomani, K., Valad Abadi, S.A., Kavoosi, M., Zakerin, H. and Yazdani. M., 2020. Effect of irrigation interval and nitrogen amount on water requirement, and growth of rice (*Oryza sativa* l.) Hashemi cultivar under Gilan climate conditions. Journal of Agroecology. 12(2):281-298.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is an essential crop among cereals and shared a significant component in the global human diet, especially in developing countries. About 80% of water consumption in Asia is for the agriculture sector, and half of it would be used for rice production. Rice needs roughly 8000 to 1000 m^3 of water per hectare and 1Kg of its dry matter needs to 700 liters of water. Rice farmers tend to keep their farms flooded continuously to make sure the product is more productive by too much water storage and, in this way, prevent against weeds. Up to the year 2050, rice production should increase by 50%, which requires improved cultivars and enhanced field management. For achieving high crop yield, applying fertilizers to maintain high soil fertility is quite necessary. Nitrogen is one of the main crop's nutrient requirements and is a limiting factor for rice production. Nitrogen fertilizer affects the accumulation of dry matter and its allocation in different parts of the plants. The difference in the accumulation of dry matter in response to nitrogen arises from the difference in the amount of active radiation received by photosynthesis of vegetative canopy and plant efficiency in the use of solar radiation. Nitrogen deficiency reduces leaf growth, and leaves become less colorful since the amount of chlorophyll in the leaves decreases, accelerates aging leaves, therefore, reduce the amount of solar radiation, and it reduces the accumulation of dry matter in plants, finally. Nitrogen, plays an important and direct role in the development of grains by increasing the level of enzymes and enzyme activity, and this increases the transfer and processing of sucrose to seeds. Many studies have shown that increasing nitrogen up to a threshold has highly increased rice grain yield. Growth analysis indices are essential to realize how the crop yield may change in response to management and environmental factors. Therefore the application of appropriate management factors that have a positive effect on growth indices can enhance grain yield.

Materials and Methods

This study was conducted as split-plot based on a randomized complete block design in Rice Research Center of Rasht in 2014-2015 and 2015-2016. Irrigation with five levels (daily irrigation, rotational irrigation with 5, 8, 10, and 15 days interval) as main plot and nitrogen at six levels (0.0, 30, 45, 60, 75, and 90 $kg.ha^{-1}$) as subplot were considered in this experiment. At flowering and harvest leaf and dry stem matter was measured. Then leaf area index (LAI), Crop Growth Rate (CGR), Net Assimilation Rate (NAR), Leaf Area Ratio (LAR), Relative Growth Rate (RGR) and Specific Leaf Area (SLA) were calculated.

Results and Discussion

Our results showed that the interaction of irrigation and nitrogen significantly ($P\leq0.01$) affects stem and leaf dry matter, LAI, and NAR. Irrigation was significantly ($P\leq0.01$) effective on CGR. Among irrigation levels, daily irrigation resulted in the highest LAI and NAR. Our results indicated that daily and every five days

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor of Islamic Azad University, Takestan Branch, Iran, respectively.
3 and 4- Associate Professor and Assistant Professor Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: dr.valadabady@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i2.75192

irrigation and considering almost no difference between 75 and 90 kg.ha^{-1} nitrogen, then 75 kg.ha^{-1} urea can be suggested as the optimum fertilization value. However, at higher irrigation intervals, 90 kg.ha^{-1} nitrogen would be recommended. Daily irrigation and 90 kg.ha^{-1}nitrogen showed the highest water consumption (6663 m^3.ha^{-1}), but 15 days irrigation interval and 0.0 kg.ha^{-1}nitrogen showed the lowest water consumption (4691 m^3.ha^{-1}). It seems that low rate release nitrogen fertilizers, along with suitable irrigation practice, would be the optimum management to achieve high yield and lowest possible irrigation water consumption.

Conclusion

The results of this study showed that applying nitrogen and irrigation increased LAI and crop productivity indices, which resulted in higher biomass yield production. Among irrigation levels, daily irrigation resulted in the highest LAI and CGR. Under daily irrigation and five days of interval irrigation, the application of 75 kg.ha^{-1} nitrogen can be recommended. Although there was not a significant difference between 70 and 95 kg.ha^{-1} nitroge, but due to environmental concerns, 75 kg.ha^{-1}was recommended.

Keywords: Food security, Slow-release fertilizers, Sustainable production, Water productivity, Water scarcity