یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقاله شماره ۱۸

عنوان مقاله:

تأثیر کم آبیاری و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و بازده مصرف آب در برنج

تألیف:

نادر پیرمرادیان، علیرضا سپاسخواه، منوچهر مفتون[1]

چکیده

برنج غذای اصلی تقریباً نیمی از مردم جهان می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد برنج دنیا در آسیا تولید و مصرف می‌شود. با توجه به محیط کشت برنج، محدودیت منابع و همچنین اهمیت مسائل محیط زیست، مصرف آب و کود در این محصول باید محدود گردد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن (۳۲، ۹۲ و ۱۵۲ کیلوگرم در هکتار) و تیمارهای کم آبیاری شامل آبیاری بارانی (یک برابر تبخیر- تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع و یک و نیم برابر تبخیر- تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع)، آبیاری غرقابی پیوسته و آبیاری غرقابی ناپیوسته (یک روز در میان و دو روز در میان) و برهمکنش آنها بر عملکرد و بازده مصرف آب رقم برنج محلی چمپای کامفیروزی در سال ۱۳۸۰ انجام گرفت. پژوهش در اراضی زیر سد درودزن (منطقه نیمه خشک) در یک خاک لوم رسی و در طرح کرت‌های خرد شده با چهار تکرار (روش‌های آبیاری به عنوان کرت‌های اصلی و مقادیر مختلف نیتروژن به عنوان کرت‌های فرعی) انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که آبیاری غرقابی متناوب دو روز در میان با توجه به عملکرد یکسان و بازده مصرف آب بالاتر نسبت به آبیاری غرقابی پیوسته دارای اولویت می‌باشد. آبیاری بارانی و غرقابی متناوب در مقایسه با آبیاری غرقابی پیوسته باعث افزایش بازده مصرف آب بین ۲۵ تا ۶۵ درصد شد. بررسی تیمارهای مختلف نیتروژن نشان داد که کاربرد نیتروژن به میزان ۱۵۲ کیلوگرم در هکتار باعث تولید حداکثر عملکرد می‌شود. علاوه بر آن به نظر می‌رسد که برای رقم برنج محلی چمپای کامفیروزی،

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری و اساتید بخش‌های آبیاری و خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

آبیاری بارانی با توجه به عملکرد پایین آن قابل توصیه نمی‌باشد، گرچه بازده مصرف آب در این تیمار افزایش چشمگیری داشته است.

۱-مقدمه

کمبود آب برای تولید محصولات کشاورزی روز به روز افزایش می‌یابد و گسترش منابع جدید آب متحمل هزینه‌های زیادی است. بنابراین بهبود و افزایش بازده مصرف آب جهت حفظ امنیت غذایی آینده به خصوص در آسیا که تولید برنج آن تا سال ۲۰۲۵ باید به میزان ۷۰ درصد تولید فعلی افزایش یابد ضروری به نظر می‌رسد (Tuong and Bhuiyan, 1999).

بیش از ۹۰ درصد برنج دنیا در آسیا تولید و مصرف می‌شود (FAO, 1997) و مقدار زیادی از آن تحت شرایط آبیاری کشت می‌شود. بیش از ۸۰ درصد از منابع آب شیرین در آسیا جهت اهداف آبیاری استفاده می‌شود و حدود نصف این مقدار جهت آبیاری گیاه برنج مصرف می‌شود (Dawe et al., 1998). بنابراین آینده تولید برنج بستگی زیادی به گسترش استراتژی‌هایی جهت استفاده بهینه از آب در برنامه‌ریزی آبیاری دارد. سطح زیر کشت برنج در استان فارس حدود ۵۵۴۰۰ هکتار می‌باشد که حدود ۱۱۰۰۰ هکتار از آن در منطقه زیر سد درودزن بوده و تمامی آن زیر کشت آبی است.

در مورد آبیاری غرقابی برنج محققین بسیاری (Tunner and McCauley, 1983; Chandler, 1979; McCauley, 1990; Brown et al., 1978) عنوان می‌کنند که این روش یک ابزار مدیریتی جهت کنترل آفات، دسترسی آسان به مواد غذایی و جلوگیری از تنش آبی می‌باشد نه یک ضرورت برای گیاه برنج. علاوه بر آن عنوان می‌کنند که اجرای این روش نیاز به مصرف مقادیر زیاد آب دارد.

مقایسه روش آبیاری غرقابی پیوسته با روش غرقابی ناپیوسته نشان داده است که روش غرقابی ناپیوسته می‌تواند باعث صرفه‌جویی آب گردد بدون آن که کاهش محسوسی در عملکرد بوجود می‌آید (Tripathi et al., 1986; Ibrahim et al., 1995; Li and Cui, 1996). همچنین در مورد آبیاری بارانی در برنج McCauley (1990) نشان داد که آبیاری بارانی می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی آب باعث کاهش هزینه‌های تولید گردد.

نیتروژن یکی از عوامل مهم افزایش عملکرد در برنج می‌باشد. آب و نیتروژن اغلب دارای اثر متقابل می‌باشند. به طور مثال تنش آبی باعث کاهش جذب نیتروژن می‌گردد و دلیل آن کاهش تعرق در گیاه می‌باشد (Tripathi et al., 1997; Yambao and O'Toole, 1984; O'Toole and Padilla, 1984; O'Toole and Baldia, 1982). همچنین Otoo et al. (1989) اثر متقابل نیتروژن و کمبود آب خاک را بر فتوسنتز و تعرق نشان دادند. کاربرد نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه برنج گردید، حتی در شرایطی که گیاه تحت کمبود آب قرار داشت (Castillo et al., 1992). محققین مذکور همچنین عنوان نمودند که بهترین زمان جهت کاربرد نیتروژن، دوره قبل از گلدهی می‌باشد. از طرف دیگر Yoshida (1975) عنوان

نمود که تنش آبی مهم ترین عامل محدود کننده رشد می‌باشد و افزایش کاربرد نیتروژن نمی‌تواند در این شرایط باعث افزایش عملکرد گردد.

در این پژوهش اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تیمارهای آبیاری شامل آبیاری بارانی، آبیاری غرقابی پیوسته و متناوب و اثر متقابل آنها بر عملکرد و بازده مصرف آب در رقم برنج چمپای کامفیروزی بررسی گردید.

۲- روش پژوهش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کوشکک وابسته به دانشگاه شیراز در سال ۱۳۸۰ انجام گردید. این ایستگاه جزء اراضی تحت شبکه آبیاری درودزن می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. تبخیر-تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع (ET_o) محاسبه شده بوسیله روش پنمن فائو در طول دوره رشد برابر ۶۵۰ میلی متر بود.

طرح پژوهشی در قالب طرح کرت‌های خرد شده با چهار تکرار انجام شد که روش آبیاری به عنوان کرت اصلی و مقادیر مختلف نیتروژن به عنوان کرت فرعی بود. کرت‌های اصلی شامل پنج رژیم آبیاری: ۱) آبیاری بارانی با مقدار آب یک برابر ET_p ۲) آبیاری بارانی با مقدار آب یک و نیم برابر ET_p ۳) آبیاری غرقابی پیوسته ٤) آبیاری غرقابی متناوب یک روز در میان ٥) آبیاری غرقابی متناوب دو روز در میان بود. کرت‌های فرعی شامل مقادیر ۳۲، ۹۲ و ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت کود اوره و آمونیوم فسفات بود که آمونیوم فسفات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از نشاء کاری به زمین داده شد. کرت‌های فرعی به ابعاد ۳m× ۳m بودند که با پشته‌هایی به عرض ۵۰ سانتی متر محدود می‌شدند. آماده سازی زمین در تاریخ ۷ تا ۹ تیر و نشاء با تراکم ۲۵ بوته در متر مربع در تاریخ ۱۰ تیر ۱۳۸۰ انجام گردید. جهت استقرار نشاء ده روز اول همه تیمارها تحت آبیاری غرقابی پیوسته قرار گرفتند. میزان آب مصرفی در این دوره ۱٦٦ میلی متر بود.

برای آبیاری بارانی میزان آب به کار برده شده در هر آبیاری از میانگین ET_p در سه روز قبل به اضافه تلفات تبخیر و بادبردگی بدست آمد. تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از اندازه‌گیری ارتفاع آب جمع شده در ٤٥ قوطی قرار داده شده در کرت‌های آزمایشی و اختلاف آنها با آب به کار رفته محاسبه گردید. متوسط این مقدار در طول دوره رشد برابر ۲۸/۸ درصد آب مصرفی بود. برای تیمارهای غرقابی، عمق آب در کرت‌ها در طول زمان آبیاری بین ٥ تا ۱۰ سانتی متر نگهداری می‌شد.

نصف نیتروژن کاربردی به صورت اوره ده روز بعد از نشاء همزمان با اعمال تیمارهای آبیاری به زمین داده شد. باقیمانده نیتروژن حدود ۵۰ روز پس از نشاء در دوره قبل از گلدهی به زمین داده شد. برداشت به صورت دستی و در تاریخ ۲۱ مهر انجام گردید.

جهت اندازه‌گیری میزان آب ورودی به هر کرت از یک کنتور حجمی استفاده شد. در پایان دوره رشد، نمونه‌های عملکرد از یک سطح ۱m ×۱m از وسط هر کرت برداشت گردید. نمونه‌ها برای ٥ روز به صورت

هوا خشک و سپس برای مدت ٤٨ ساعت در آون در درجه حرارت $^{\circ}C$ ۷۰ قرار داده شدند. سپس عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

اطلاعات جمع‌آوری شده در قالب طرح کرت‌های خرد شده با چهار تکرار از نظر آماری تجزیه و تحلیل گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد انجام شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار MSTAT انجام گرفت.

۳-نتایج

۳-۱-عملکرد دانه

۳-۱-۱-اثر آبیاری

اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (شکل ۱). عملکرد دانه در آبیاری سطحی بیش از آبیاری بارانی بود و اختلاف میانگین بین تیمارهای آبیاری بارانی و آبیاری سطحی معنی‌دار بود. در حالی که بین تیمارهای آبیاری غرقابی پیوسته با غرقابی متناوب اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید. همچنین بین تیمارهای آبیاری بارانی نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کاهش عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری بارانی $1.0\ ET_p$ و $1.5\ ET_p$ نسبت به تیمار شاهد(غرقابی پیوسته)به ترتیب برابر ۲۹/۱ درصدو ۲۳/۳ درصد بود. کاهش عملکرد دانه در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری غرقابی پیوسته توسط محققین قبلی نیز گزارش گردیده است (Westcott and Vines, 1988; McCauley, 1990; Surek et al., 1996).

۳-۱-۲- اثر نیتروژن

تأثیر تیمارهای نیتروژن بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (شکل ۲). حداکثر مقدار عملکرد در حداکثر مقدار نیتروژن کاربردی (۱۵۲ کیلو گرم نیتروژن در هکتار) اتفاق افتاد، در حالی که کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با تیمار حداقل کاربرد نیتروژن (۳۲ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌دار نشان نداد. از طرفی اختلاف تیمار ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با تیمارهای ۳۲ و ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معنی‌دار بود. نتایج مشابه در رابطه با افزایش عملکرد دانه و ماده خشک همراه با افزایش کاربرد نیتروژن توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Castillo et al., 1992; Zhong and Huang, 2002).

۳-۱-۳-اثر متقابل نیتروژن و آبیاری بر عملکرد دانه

اثر متقابل تیمارهای آبیاری و نیتروژن بر روی عملکرد دانه معنی‌دار بود (شکل ۳). حداکثر عملکرد دانه در تیمار آبیاری غرقابی متناوب یک روز در میان با ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_4N_3) بدست آمد. این تیمار با تیمارهای غرقابی پیوسته و غرقابی متناوب دو روز در میان با ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_5N_3, I_3N_3) اختلاف معنی‌دار نداشت. حداقل عملکرد دانه در تیمار آبیاری بارانی با مقدار آب $1.0\ ET_p$ و کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد. این در حالی است که این تیمار با دیگر تیمارهای آبیاری بارانی به جز تیمارهای $1.5\ ET_p$ با کاربرد ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌دار نداشت.

۳-۲- آب مصرفی

میزان آب به کار رفته در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است. حداقل و حداکثر آب به ترتیب در تیمارهای آبیاری بارانی با مقدار آب $1.0\ ET_p$ و آبیاری غرقابی پیوسته به کار رفته است. مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری غرقابی متناوب دو روز در میان تقریباً برابر مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری بارانی با مقدار آب $1.5\ ET_p$ بود، در حالی که عملکرد دانه تولید شده در این تیمار بیشتر از تیمار آبیاری بارانی با مقدار آب $1.5ET_p$ بود. بنابراین می‌توان گفت آبیاری غرقابی متناوب دارای بازده بالاتری در استفاده از آب می‌باشد.

۳-۳- بازده مصرف آب (WUE)

۳-۳-۱- اثر آبیاری

بازده مصرف آب از حاصل تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب به کار رفته در طول فصل رشد (میلی متر) بدست آمد. اثر تیمارهای آبیاری بر بازده مصرف آب معنی‌دار بود (شکل ٤). حداقل و حداکثر بازده مصرف آب به ترتیب در تیمارهای آبیاری غرقابی پیوسته و آبیاری بارانی با مقدار آب $1.0ET_p$ بدست آمد. بازده مصرف آب در تیمارهای آبیاری بارانی با مقدار آب $1.0ET_p$ و آبیاری غرقابی دو روز در میان با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. این در حالی است که اختلاف این تیمارها با بقیه تیمارها معنی‌دار بود. همچنین بازده مصرف آب در تیمار آبیاری غرقابی پیوسته با مقادیر بدست آمده در دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. اختلاف بین بازده مصرف آب در آبیاری بارانی با مقدار آب $1.5ET_p$ و آبیاری غرقابی متناوب یک روز در میان معنی‌دار نبود.

بازده مصرف آب در تیمارهای آبیاری بارانی با مقدار آب$1.0ET_p$, $1.5ET_p$ و آبیاری غرقابی متناوب یک روز در میان و دو روز در میان نسبت به آبیاری غرقابی پیوسته به ترتیب ٦١/١، ٢٦/٢، ٢٨/٩ و ٦٢ درصد افزایش نشان داد. بنابراین بازده مصرف آب برای آبیاری غرقابی متناوب و آبیاری بارانی بالاتر از آبیاری غرقابی پیوسته بدست آمد. براساس تحقیقات Li and Cui (1996) Ibrahim et al., (1995); Tripathi et al (1986) آبیاری غرقابی متناوب می‌تواند موجب صرفه‌جویی آب شود در حالی که کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد نخواهد کرد. همچنین Tabbal et al., (2002) در مورد کشت مستقیم و نشایی برنج گزارش نمود که نگهداری مداوم رطوبت خاک در حالت نزدیک به اشباع در حالی که باعث ٥ درصد کاهش محصول می‌گردد، ٣٥ درصد آب مصرفی را نیز در مقایسه با شرایط غرقابی کاهش می‌دهد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که آبیاری بارانی و غرقابی متناوب به طور معنی‌دار باعث کاهش آب به کار رفته می‌شوند و در نتیجه باعث افزایش بازده مصرف آب می‌گردند. در مورد آبیاری بارانی نتایج ارائه شده با گزارش Surek et al. (1996) مبنی بر این که آبیاری بارانی در شرایط کمبود آب می‌تواند جهت افزایش بازده مصرف آب به کار رود مطابقت دارد.

۳-۳-۲- اثر نیتروژن

اثر تیمارهای نیتروژن بر بازده مصرف آب معنی‌دار بود (شکل ۵). حداکثر بازده مصرف آب در حداکثر کاربرد کود نیتروژن بدست آمد. بازده مصرف آب در کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با مقدار بدست آمده در تیمار کاربرد ۳۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌دار نشان نداد، در حالی که اختلاف بازده بدست آمده در سطح کود ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با این دو مقدار معنی‌دار بود. در کل می‌توان گفت آبیاری غرقابی متناوب با توجه به مقدار بازده مصرف آب، همراه با کاربرد ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قابل توصیه می‌باشد. این در حالی است که در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده که کشاورزان نیتروژن بیشتری به کار می‌برند، در حالیکه متوسط عملکرد دانه آنها حدود ٤ تا ٥ تن در هکتار است حتی کمتر از نتایج حاصله در این پژوهش می‌باشد. بنابراین نظر می‌رسد که مصرف بیشتر نیتروژن ضروری نمی‌باشد.

۳-۳-۳-اثر متقابل نیتروژن و آبیاری بر بازده مصرف آب

اثر متقابل تیمارهای آبیاری و نیتروژن بر بازده مصرف آب معنی‌دار بود (شکل ٦). حداکثر بازده مصرف آب در تیمار غرقابی متناوب دو روز در میان و کاربرد ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد. حداقل این مقدار در تیمار آبیاری غرقابی پیوسته و کاربرد ۳۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد. بنابراین آبیاری غرقابی متناوب دو روز میان به همراه ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بالاترین بازده اسفتاده از آب را نشان داد. این در حالی است که آبیاری بارانی با مقدار آب $1.0ET_p$ به همراه بالاترین میزان کاربردی نیتروژن در مرتبه بعدی قرار داشت. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش کاربرد نیتروژن همراه با کاهش میزان آب به کار رفته موجب افزایش بازده مصرف آب خواهد شد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که آبیاری غرقابی دو روز در میان با توجه به صرفه جوئی ۳٦ درصدی آب مصرفی نسبت به آبیاری غرقابی پیوسته و از طرفی عدم کاهش عملکرد دانه و افزایش بازده مصرف آب قابل توصیه می‌باشد. نتایج تیمارهای نیتروژن نشان داد که کاربرد ۱۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حداکثر تولید عملکرد دانه را ببار خواهد آورد. علاوه بر آن به نظر می‌رسد که برای رقم برنج چمپای کامفیروزی آبیاری بارانی با توجه به عملکرد پائین، حتی با وجود بازده مصرف آب بالا قابل توصیه نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

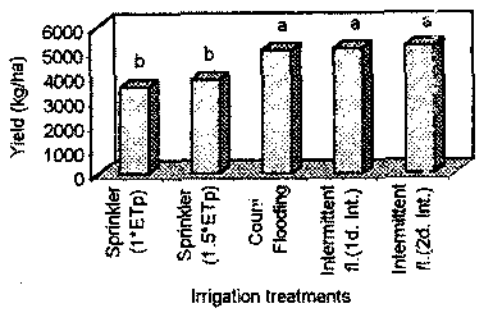
این مقاله بر اساس نتایج بخشی از طرح پژوهشی (79-Ag-134-C140) نوشته شده که بودجه آن توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز و شورای پژوهشی و فناوری استان فارس تأمین شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

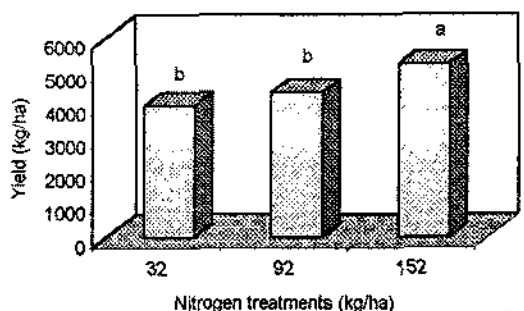
Soil properties	Depth (cm)	
	0-30	30-60
Sand (%)	30	25
Silt (%)	39	32
Clay (%)	31	43
EC (dS/m)	1.4	1.1
pH	7.1	6.9
N-NO3 (mg/kg soil)	2.8	2.35
N-NH4 (mg/kg soil)	0.725	0.925
P (mg/kg soil)	3.9	2.4

جدول ۲- میزان آب مصرفی (mm) در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف آبیاری

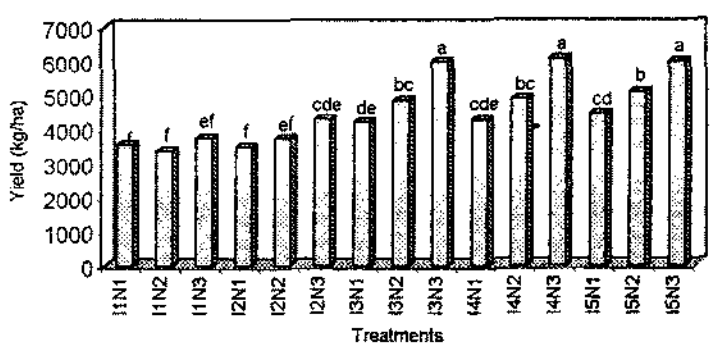
Irrigation treatment	Applied water
Sprinker (1*ETp)	971
Sprinkler (1.5*ETp)	1373
Count. Flooding	2262
Intermittent fl. (1d. Int.)	1778
Intermitient fl. (2d. Int.)	1441



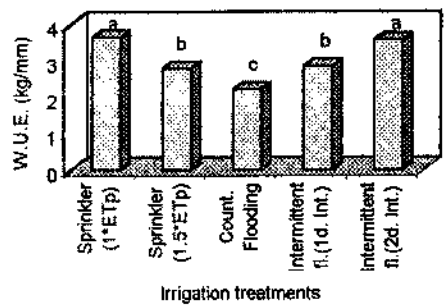
شکل ۱- عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری (مقادیر با حروف مشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند).



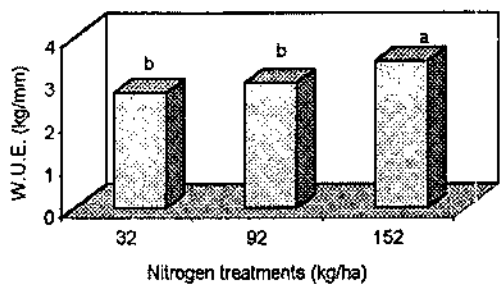
شکل ۲- عملکرد دانه در تیمارهای مختلف نیتروژن (مقادیر با حروف مشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند).



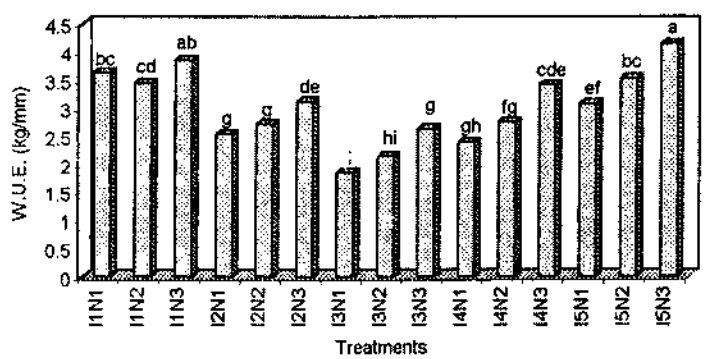
شکل ۳- عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری (I) و نیتروژن (N) (مقادیر با حروف مشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند).



شکل ٤- بازده مصرف آب در تیمارهای مختلف آبیاری (مقادیر با حروف مشابه در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند).



شکل ٥- بازده مصرف آب در تیمارهای مختلف نیتروژن (مقادیر با حروف مشابه در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند).



شکل ٦- بازده مصرف آب در تیمارهای مختلف آبیاری (I) و نیتروژن (N) (مقادیر با حروف مشابه در سطح ٥ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند).

منابع:

1- Brown, K.W., F.T. Turner, J.C. Thomas, L.E. Deuel, and M.E. Keener. 1978.Water balance of flooded rice paddies. Agric. Water Manage. 1: 277-291.
2- Castillo, E.G., R.J. Buresh and K.T. Ingram. 1992. Lowland rice yield as affected by timing of water deficit and nitrogen fertilization. Agron. J. 84: 152-159.
3- Chandler, F.R., Jr. 1979. Rice in the Tropics: A Guide to the Development of National Programs. Westview Press, Boulder, Co.
4- Dawe, D., D. Seckler, and R. Barker. 1998. Water supply and research for food security in Asia. Proceeding of the Workshop on Increasing Water Productivity and Efficiency in Rice-Based System, July 1998, IRRI, Los Banos. Philippines.
5- FAO. 1997. Production Yearbook. Vol. 50, FAO, Rome. 240p.
6- Ibrahim, M.A.M., S.A. El-Gohary, L.S. Willardson and D.V. Sisson. 1995. Irrigation interval effects on rice production in the Nile Delta. Irrig. Sci. 16: 29-33.
7- Li, Y.H. and Y.N. Cui. 1996. Real-time forecasting of irrigation water requirements of paddy fields. Agric. Water Manage. 31: 185-193.
8- McCauley, G.N. 1990. Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. Agron. J. 82:677-683.
9- Otoo, E., R. Ishii, and A. Kumura. 1989. Interaction of nitrogen supply and soil water stress on photosynthesis and transpiration in rice. Jpn. J. Crop Sci. 58(3): 424-429.
10- O'Toole, J.C. and E.P. Baldia. 1982. Water deficit and mineral uptake in rice. Crop Sci. 22: 1144-1150.
11- O'Toole, J.C. and J.L. Padilla. 1984. Water deficit and nitrogen uptake as affected by water table depth in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil, 80: 127-132.
12- Surek, H., H. Aydin, R. Cakir, H. Karaata, M. Negis, and H. Kusku. 1996. Rice yield under sprinkler irrigation. International Rice Research Notes, 21:2-3.
13- Tabbal, D.F., B.A.M. Bouman, S.I. Bhuiyan, E.B. Sibayan, and M.A. Sattar. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. Agric. Water Manage. 56: 93-112.
14- Tripathi, B.P., J.K. Ladha, J. Timsina and S.R. Pascua. 1997. Nitrogen dynamics and balance in intensified rainfed lowland rice-based cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:812-821.
15- Tripathi, R.P., H.S. Kushava, and R.K. Mishra. 1986. Irrigation requirements of rice under shallow water table conditions. Agric. Water Manage. 12: 127-136.
16- Tuong, T.P. and S.I. Bhuiyan. 1999. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. Agric. Water Manage. 40: 117-122.
17- Turner, F.T. and G.N. McCauley. 1983. Rice. PP. 307-380. In: I.D. Teare and M.M. Peet (eds.). Crop-Water Relations. John Wiley & Sons, New York.
18- Yambao, E.B. and J.C. O'Toole. 1984. Effects of nitrogen nutrition and root medium water potential on growth, nitrogen uptake and osmotic adjustment of rice. Physiol. Plant. 60: 507-515.
19- Yoshida, S. 1975. Factors that limit the growth and yield of upland rice. In: Major Research in Upland Rice. IRRI, Los Banos, Philippines, PP. 46-71.

20- Westcott, M.P. and K.W. Vines. 1986. A comparison of sprinkler and flood irrigation for rice. Agron. J. 82:667-683.

21- Zhong, X. and N. Huang. 2002. Grain yield, dry matter production, and nitrogen use efficiency as affected by fertilizer application in irrigated rice in Guangdong, south China. International Rice Congress, Beijing, China, PP: 402.