نشریه دانش آب و خاک / جلد۲۴ شماره۳ صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۶۰/ سال ۱۳۹۳

تأثیر کاربرد همزمان نیتروژن و فسفر بر ویژگی‌های زراعی گیاه برنج در شرایط غرقاب و اشباع متناوب

ندا یزدانی مطلق[۱]، عادل ریحانی تبار[۲]*، نصرت اله نجفی[۳]* و علی بنده حق[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۱

[۱]- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲و۳]- استادیار و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی ،دانشگاه تبریز

[۴]- استادیار گروه به نژادی و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: areyhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

نیتروژن یکی از عناصر پرنیاز در گیاهان است که به همراه فسفر، نقش مهمی در تولید برنج دارد. از طرف دیگر، شرایط رطوبتی خاک، فراهمی این دو عنصر پرمصرف را در خاک به‌طور مشخص تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مطالعهٔ اثر نیتروژن و فسفر بر ویژگی‌های رشد گیاه برنج (*Oryza Sativa* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو رقم برنج (هاشمی و علی کاظمی)، دو سطح رطوبتی (غرقاب دایم و اشباع متناوب)، سه سطح نیتروژن (۰، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) از منبع اوره و سه سطح فسفر (۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) از منبع مونوکلسیم فسفات بود. نتایج نشان داد که وزن خشک بخش هوایی در رقم علی کاظمی بیشتر از هاشمی بود. وزن خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، تعداد برگ و پنجه در بوته و قطر ساقه در رژیم رطوبتی غرقاب بیشتر از اشباع متناوب بود. با افزایش سطوح نیتروژن، وزن خشک بخش هوایی و ریشه و حجم ریشه افزایش یافت. افزایش سطوح فسفر نیز منجر به افزایش وزن خشک و حجم ریشه شد. اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، شاخص کلروفیل برگ و غلظت نیتروژن بخش هوایی معنی‌دار بود($p< 0.05$). اثر متقابل رژیم رطوبتی خاک و نیتروژن بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود($p<0.05$). همچنین اثر متقابل فسفر و رژیم رطوبتی خاک باعث تغییر معنی‌دار وزن خشک بخش هوایی و اثر متقابل نیتروژن و رقم سبب تغییر معنی‌دار ($p<0.05$) وزن خشک و شاخص کلروفیل برگ شد. بیشترین وزن خشک بخش هوایی در شرایط غرقاب و در رقم علی کاظمی در سطح دوم نیتروژن و سطح شاهد فسفر مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: اشباع متناوب، برنج، غرقاب، فسفر، نیتروژن

Effects of Combined Application of Nitrogen and Phosphorus on the Growth Characteristics of Rice Plants under Flooded and Periodic Saturation Conditions

N Yazdani Motlag[1], A Reyhanitabar[2], N Najafi [3]and A Bandehagh[4]

Received: 13 January 2013 Accepted: 6 November 2013
[1-]Former M.Sc. Student, Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz, Iran
[2,3-] Assist. Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz, Iran
[4-] Assist. Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Univ. of Tabriz, Iran
[*] Corresponding Author Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

Abstract

Nitrogen is one of the most important macronutrients for plants that accompanied with phosphorus plays an important role in rice production. On the other hand, soil moisture conditions affect availability of these two elements, markedly. In order to study the effects of nitrogen and phosphorus on the growth characteristics of rice (*Oryza Sativa* L.) plant, a factorial experiment was done in a randomized complete blocks design with three replicates. The treatments included two rice cultivars (Hashemi and Alikazemi), two moisture regimes (submerged and periodic saturation), three nitrogen levels (0, 75,150 mg/kg) as urea and three phosphorus levels (0, 25, 50 mg/kg) as mono calcium phosphate. The results showed that dry weight of shoot in Alikazemi cultivar was greater than that in Hashemi cultivar. Shoot and root dry weight, root length and volume, number of leaves and tillers and stem diameter under submerged conditions were greater than those under periodic condition. By increasing N levels, shoot and root weight and root volume increased. Also, by increasing P levels, root volume and weight increased. Interaction between the nitrogen and phosphorus levels showed a significant effect on wet and dry weight of shoot and root, root length and volumes, leave chlorophyll index and shoot nitrogen concentration ($p<0.05$). Moreover, interaction between nitrogen and water regime left marked effect on leave chlorophyll index. The interaction between phosphorus and moisture regime also changed the dry weight of shoots, significantly. The interaction between nitrogen and soil moisture regime showed significant effects on the leave chlorophyll index of shoots. Maximum shoot dry weight was observed under submerged conditions in Alikazemi cultivar for 75 mg kg^{-1} nitrogen at control level of phosphorus.

Keywords: Nitrogen, Periodic saturation, Phosphorus, Rice, Submerged

مقدمه

با توجّه به تغییرات جهانی آب و هوا و وقوع خشکسالی و کم آبی در سال‌های اخیر، اهمیّت منابع آبی در تولید محصولات گیاهی و به ویژه برنج، بیش از پیش آشکار شده است (به نقل از مـؤسسه تحقیقات برنج کشور ۱۳۸۷). روش آبیاری متداول برنج در ایران، آبیاری غرقاب دایم است امّا در سال‌های اخیر توصیه شده است که از روش‌های مختلف آبیاری غیرغرقاب همچون اشباع متناوب نیز استفاده شود (بی نام ۱۳۸۷). یکی از دلایل عمدهٔ غرقاب کردن اراضی شالیزاری، جلوگیری از رشد و نمو علف‌های هرز می‌باشد و لذا در شرایط غیرغرقاب بایستی مبارزه با علف‌های هرز تشدید شود (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۸۲). پیش‌بینی می‌شود نیاز کشور به تولید برنج در سال ۲۰۲۰ میلادی به ۴ میلیون تن برسد (قربانی و همکاران ۱۳۸۵). این در شرایطی است که سرانهٔ آب قابل دسترس بسیاری از کشورهای آسیایی در حال کاهش بوده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی به میزان ۱۵ تا ۵۵ درصد در مقایسه با سال ۱۹۹۰ کاهش یابد (اسدی و شاهین‌رخسار احمدی ۱۳۸۷). باربوسا و یامادا (۲۰۰۲) گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش تولید در واحد گیاهی، درصد پرشدگی دانه و وزن دانه‌های برنج کاشته شده در اکسی سول‌های برزیل شد. هی و همکاران (۲۰۰۴) در یک خاک اسیدی در جنوب چین گزارش کردند زمانی که رطوبت خاک به ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه رسید، عملکرد دانه کاهش یافت، امـّا در رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه، کاهش معنی‌دار در عملکرد مشاهده نشد. در همین مطالعه آنان اعلام کردند که تأثیر حضور فسفر کافی در خاک‌های اسیدی بر عملکرد برنج، بیشتر از رطوبت خاک است. فجریا (۲۰۰۱) گزارش کرد که نیتروژن عملکرد برنج را با افزایش تعداد و طول خوشه، تعداد سنبلچه در خوشه و شاخص برداشت افزایش می‌دهد. سیتو و همکاران (۲۰۰۷) و فرجی و آقا فخرمیرلوحی (۱۳۷۷) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. نیترات موجود در خاک پس از غرقاب شدن خاک احیاء گردیده و بر اثر عمل نیترات زدایی، نیتروژن از خاک خارج می‌شود. البتّه در خاک‌های غرقاب، یون آمونیوم تا زمانی که در قسمت احیا شده قرار دارد اکسایش پیدا نمی‌کند امـّا در لایهٔ نازک اکسید شدهٔ خاک سطحی یا در اطراف ریشه‌های برنج عمل نیترات‌سازی انجام شده و نیترات تولیدی با حرکت در حدود چندین میلی‌متر به سمت نواحی احیاء در اثر عمل نیترات زدایی به هدر می‌رود. پی در پی بودن نیترات‌سازی و نیترات‌زدایی در شالیزارها یکی از دلایل کاهش کارآیی مصرف کودهای نیتروژن می‌باشد (هاولین و همکاران ۲۰۰۴). شیمی فسفر در خاک‌های غرقاب به شیمی آهن گره خورده است که با غرقاب شدن خاک، آهن فریک موجود در فسفات‌های آهن احیاء گردیده و فسفر آزاد شده و داخل محلول خاک می‌گردد. همچنین افزایش pH خاک‌های اسیدی و کاهش pH خاک‌های قلیایی در اثر عمل غرقاب، به آزاد شدن فسفر و افزایش قابلیّت جذب آن کمک می‌نماید (نجفی و توفیقی ۱۳۸۵). کومار و رائو (۱۹۹۲) گزارش کردند که با مصرف بهینه نیتروژن و فسفر (به ترتیب ۲۶ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانهٔ برنج در شرایط برنج غیرغرقاب در هندوستان حاصل شد. جروج و همکاران (۲۰۰۱) در فیلیپین مشاهده کردند که مصرف کود فسفر عملکرد دانهٔ ارقام مختلف برنج را حدود ۲۰ درصد، بیوماس کل را ۲ درصد و جذب فسفر را تا ۵۳ درصد افزایش داد. فجریا (۲۰۰۶) در برزیل گزارش کرد که مصرف کود فسفر میزان جذب نیتروژن در گیاه برنج غیرغرقاب و مادهٔ خشک آن را افزایش داد. اصفهانی و همکاران (۱۳۸۴) مشاهده کردند که شاخص سطح برگ، سرعت رشد و میزان جذب عناصر توسط برنج رقم خزر تحت تأثیر نیتروژن مصرفی قرار گرفت. بردی و ویل (۱۹۹۹) گزارش کردند که برنج کشت شده در شرایط غرقاب به مصرف فسفر پاسخ نشان نداد، امـّا در همان شرایط، با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب، برنج به کاربرد کود فسفر پاسخ نشان داد. هاولین و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مصرف فسفر و روی موجب افزایش مادهٔ خشک بخش هوایی، دانه‌های پر شده و ویژگی‌های ریشهٔ برنج گردید. به دلیل ریخت‌شناسی متفاوت ریشه از قبیل طول کل ریشه، تراکم ریشه، طول و تراکم تارهای کشنده، ارقام مختلف برنج کارآیی

متفاوتی در جذب فسفر و نیتروژن نشان می‌دهند (کرک و همکاران ۱۹۹۹). ونگ و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که غلظت فسفر، رشد و عملکرد دانهٔ برنج در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط غیرغرقاب بود. نجفی و توفیقی (۱۳۸۵) در آزمایشی با ۱۴ نوع خاک و رقم خزر نشان دادند که فسفر قابل‌استخراج با عصاره‌گیر اولسن در خاک رایزوسفر برنج (باکشت) به‌طور معنی‌داری از توده خاک (کشت نشده) کمتر بود، در حالی که پس از افزودن فسفر جذب شده توسط گیاه به فسفر قابل‌استخراج باقی‌مانده در خاک رایزوسفر، کل فسفر قابل جذب در خاک رایزوسفر بیشتر از توده خاک گردید. هدف از انجام این تحقیق، مطالعهٔ اثر مصرف همزمان نیتروژن و فسفر بر پاسخ‌های دو رقم برنج (هاشمی و علی کاظمی) در دو شرایط رطوبتی غرقاب و غیرغرقاب در یک خاک آهکی در شرایط گلخانه بود که در این زمینه گزارش چاپ شده‌ای از ایران وجود نداشت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، یک خاک لوم رسی فقیر از نظر مقدار مادهٔ آلی و فسفر قابل‌جذب، از روستای اسپیران از توابع شهرستان تبریز انتخاب و به گلخانهٔ گروه علوم خاک دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تبریز منتقل گردید. بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه (کلوت ۱۹۸۶)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصارهٔسوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (ریچارد ۱۹۶۹)، کربن آلی به روش واکی و بلک (نلسون وسومرز۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (مکلین ۱۹۸۲)، پتاسیم و سدیم قابل استخراج با استات آمونیوم (جونز۲۰۰۲)، فسفر قابل جذب خاک با روش اولسن (اولسن و سومرز ۱۹۸۲) و آهن، منگنز، مس و روی قابل جذب خاک با DTPA (لیندزی و نورول۱۹۷۸) تعیین گردید. پس از گذراندن خاک از الک ۲ میلی‌متری، به خوبی مخلوط گردید و مقدار ۳ کیلوگرم خاک در هر گلدان ریخته شد. در این تحقیق از گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر استفاده شد. نیتروژن از منبع اوره در سه سطح (۱۵۰، ۷۵ ،۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) و سه سطح فسفر (۵۰، ۲۵ ،۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) از منبع منوکلسیم فسفات استفاده شد. منوکلسیم فسفات به صورت محلول به خاک گلدان‌ها اضافه شد ولی به منظور افزایش کارآیی مصرف نیتروژن، اوره در سه قسط (آماده‌سازی خاک، ماه اوّل رشد و ماه دوّم رشد) به صورت محلول به خاک گلدان‌ها اضافه شد. از میان سایر عناصر مورد نیاز، روی بر طبق آزمون خاک حدود ۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم و به‌طور مساوی از منبع سولفات روی به گلدان‌ها اضافه شد. گلدان‌ها هر کدام در شرایط رطوبتی خودشان (غرقاب و اشباع متناوب) به‌مدّت ۲ هفته نگه داشته شدند. سپس ۸ عدد بذر در هر گلدان کشت گردید. به‌منظور استقرار گیاه به‌مدّت یک هفته گلدان‌ها در حالت غرقاب نگه داشته شدند. بعد از یک هفته گیاهان به ۴ عدد در هر گلدان تنک شدند و سطوح رطوبتی اعمال شد. دو سطح رطوبتی شامل غرقاب دایم با ۳ سانتی‌متر ارتفاع آب روی سطح خاک و اشباع متناوب بودند. مقدار رطوبت مورد نیاز برای اشباع متناوب با استفاده از رطوبت نقطه اشباع (SP) و ظرفیت مزرعه محاسبه شد و برای تأمین مقدار رطوبت اشباع متناوب، هر روز گلدان‌ها به وسیلهٔ توزین کنترل و آبیاری شدند. بعد از ۹۰ روز گیاهان برداشت شدند. قبل از برداشت شاخص کلروفیل برگ‌ها توسط دستگاه کلروفیل‌متر (مدل Hansatech C4-01) اندازه‌گیری شد. بعد از برداشت گیاهان، ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر شسته شده، ریشه‌ها و اندام هوایی جدا شدند. سپس در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. بعد از این مرحله با ترازوی دیجیتالی با دقت (±۰/۰۰۱) وزن خشک نمونه تعیین گردید. در زمان برداشت گیاهان ویژگی‌های ظاهری گیاهان از جمله ارتفاع گیاه و قطر ساقه در محل طوقه اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاه به‌وسیلهٔ خط کش، قطر ساقه از محل طوقه به‌وسیلهٔ کولیس، طول ریشه از محل طوقه تا نوک بلندترین ریشه به‌وسیلهٔ خط کش و حجم ریشه بوسیلهٔ استوانهٔ مدرج و محاسبه افزایش حجم آب استوانه

اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت عناصر نیتروژن و فسفر در نمونه‌های گیاهی از روش اکسایش تر استفاده شد (والینگ و همکاران ۱۹۸۹). رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS و مقایسهٔ میانگین‌ها باآزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این خاک خنثی، غیر شور، آهکی، بافت نسبتاً ریز، مادهٔ آلی خاک به همراه فسفر قابل جذب کم بوده ولی از نظر پتاسیم، منگنز و مس قابل جذب کافی و آهن و روی قابل جذب ناکافی بود. با علم به اینکه در شرایط غرقاب و اشباع متناوب بر حل‌پذیری ترکیبات آهن افزوده می‌شود (هاولین و همکاران ۲۰۰۴)؛ لذا در این آزمایش از مصرف کود آهن اجتناب شد.

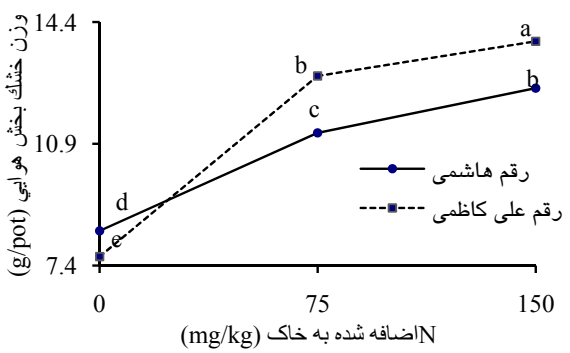
وزن خشک بخش هوایی

تأثیر رقم، رژیم رطوبتی، نیتروژن و فسفر مصرفی بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول۲). با تغییر شرایط رطوبتی از غرقاب به اشباع متناوب، وزن خشک بخش هوایی از ۱۱/۰۷ گرم بر گلدان به ۸/۶۲ گرم بر گلدان کاهش معنی‌دار یافت (جدول ۳). به‌طور میانگین، در شرایط این آزمایش وزن خشک بخش هوایی در رقم علی کاظمی ۷/۵ درصد بیشتر از رقم هاشمی بود. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بخش هوایی افزایش یافت؛ به‌طوری که در سطح ۷۵ میلی‌گرم ۴۵/۶ درصد و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم ۶۳/۸ درصد وزن خشک بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد نیتروژن افزایش یافت. این نتیجه با گزارش برهی و همکاران (۱۹۹۸) در برنج، رونالد و روبرت (۲۰۰۵) در سورگوم، روشن وهمکاران (۲۰۱۱)، سینگ و همکاران (۲۰۰۰) و فجریا و همکاران (۲۰۰۶) در برنج مطابقت دارد. شکل ۱ نشان می‌دهد که در رژیم رطوبتی غرقاب دایم، با افزایش سطوح نیتروژن، وزن خشک بخش هوایی در هر دو رقم افزایش یافت. اگرچه الگوی پاسخ هر دو رقم به مصرف نیتروژن شبیه هم بود امّا در تیمار بدون مصرف نیتروژن، رقم هاشمی وزن خشک بخش هوایی بیشتری نسبت به رقم علی کاظمی داشت اما با مصرف نیتروژن، وزن خشک بخش هوایی رقم علی کاظمی با سرعت بیشتری افزایش یافت و در دو سطح دیگر نیتروژن بالاتر از رقم هاشمی قرار گرفت. در ارتباط با این صفت مهم زراعی شکل ۱ نشان می‌دهد که رقم علی کاظمی از کارآیی بهتر مصرف نیتروژن در شرایط غرقاب برخوردار می‌باشد و اعداد کارایی زراعی محاسبه شده هم مؤید همین موضوع می باشد (جدول ۶). پاسخ دو رقم برنج مورد آزمایش به نیتروژن مصرفی از نظر وزن خشک بخش هوایی با یکدیگر متفاوت بود (شکل ۱) ؛ به طوری که حداکثر وزن خشک بخش هوایی در رقم علی کاظمی در سطح ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن حاصل شد و مصرف بیش از این سطح نیتروژن بر وزن خشک بخش هوایی بی‌تأثیر بود. این در حالی است که در رقم هاشمی برای رسیدن به همان میزان وزن خشک بخش هوایی، مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن و به عبارت دیگر مصرف دو برابر نیتروژن در مقایسه با رقم علی کاظمی لازم بود. با توجّه به گزارش‌های متعدد محققان مبنی بر همبستگی بین وزن خشک بخش هوایی و عملکرد دانه و با توجّه به اثرات زیست محیطی و اقتصادی کودهای نیتروژنی این موضوع در مدیریت مصرف کودهای نیتروژن در دو رقم بومی کشور حائز اهمیّت است. همچنین این یافته مؤید تأثیر ژنوتیپ بر نحوهٔ پاسخ به مصرف نیتروژن می‌باشد. شکل ۲ نشان می‌دهد که در شرایط اشباع متناوب، با افزایش سطوح نیتروژن، وزن خشک بخش هوایی در رقم هاشمی افزایش یافت. در رقم علی کاظمی ابتدا افزایش و سپس کاهش مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که در شرایط اشباع متناوب، مادهٔ خشک بخش هوایی رقم علی کاظمی در سطح دوّم نیتروژن بسیار بیشتر از رقم هاشمی و تقریباً برابر مادهٔ خشک بخش هوایی رقم هاشمی در سطح سوّم نیتروژن می‌باشد. شکل۳ نشان می‌دهد که به‌طور کلی در شرایط این آزمایش با افزایش سطوح فسفر، وزن خشک بخش هوایی در رقم هاشمی تغییر

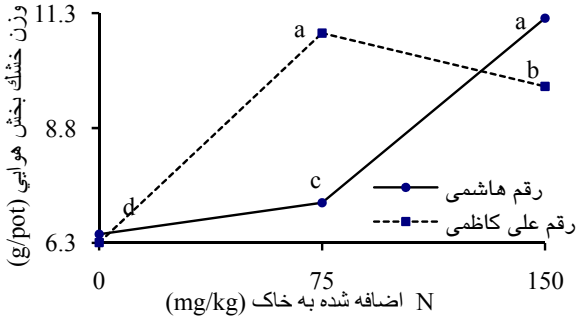
معنی‌داری نشان نداد. در رقم علی کاظمی ابتدا کاهش نسبتاً زیاد و سپس عدم تغییر مشاهده شد. علت، کاهش تاثیر منفی فسفر مصرفی است چرا که نجفی و توفیقی (۱۳۸۹) گزارش کردند که وقتی یک خاک آهکی غرقاب می شود، فسفر قابل‌جذب خاک بیش از دو برابر می شود ومصرف فسفر در این شرایط ممکن است تأثیر منفی داشته باشد که این موضوع نشان می‌دهد برای برنج باید حد بحرانی مخصوص به خود محاسبه شود و استفاده از حدود بحرانی سایر گیاهان که اندازه گیری فسفر قابل جذب موجود در خاک در حالت هوا خشک در آزمایشگاه صورت می‌گیرد ممکن است برای برنج گمراه کننده باشد. این نتایج مطابق گزارش بسیاری از محققان از جمله ساه و میکلسن (۱۹۸۶)، شاهنده و همکاران (۱۹۹۴) و استالون و همکاران (۲۰۰۲) و نجفی و توفیقی (۱۳۸۹) می‌باشد.

جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

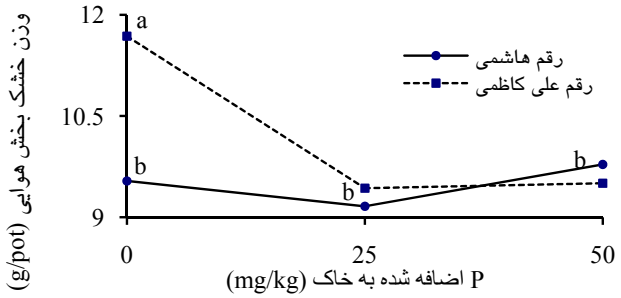
بافت	شن	رس	سیلت	CCE	مادهٔ آلی	N	pH	EC	Na	K	P	Fe	Mn	Cu	Zn
				(٪)				(dS/m)				(mg/kg)			
لوم رسی	۳۸/۵	۳۹	۲۲/۵	۱۵/۲	۱	۰/۰۲	۷/۱	۰/۴	۳۲۵/۶	۵۵۶/۴	۸/۶	۳/۹	۷/۰	۲/۲	۰/۵



شکل۱- اثر متقابل نیتروژن و رقم بر وزن خشک بخش هوایی در شرایط غرقاب دایم.



شکل ۲- اثر متقابل نیتروژن و رقم بر وزن خشک بخش هوایی در شرایط اشباع متناوب.



شکل ۳- اثر متقابل فسفر و رقم بر وزن خشک بخش هوایی.

نجفی و توفیقی (۱۳۸۹) گزارش کردند که فسفر مصرفی از منبع منو کلسیم فسفات بر مادهٔ خشک بخش هوایی برنج رقم خزر تأثیر معنی‌دار نداشت، جز در یک خاک که فسفر قابل جذب آن به روش اولسن ۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. آنان نتیجه گرفتند که پاسخ مادهٔ خشک بخش هوایی برنج به مصرف کود فسفر بسیار ضعیف است به طوری که در خاک‌هایی با فسفر قابل جذب کمتر از سطح بحرانی (۱۰-۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) نیز مادهٔ خشک بخش هوایی برنج به کود فسفر پاسخ نمی‌دهد. استالون و همکاران (۲۰۰۲) پاسخ برنج را به سطوح مختلف فسفر در شش مکان مختلف آمریکا در شرایط مزرعه‌ای بررسی و مشاهده کردند که تنها در دو مکان از شش مکان مورد مطالعه، تأثیر کود فسفر بر عملکرد برنج معنی‌دار بود. این در حالی بود که تقریباً در تمامی مکان‌های مورد مطالعه غلظت فسفر قابل جذب گیاه در خاک کمتر از سطح بحرانی بود. این پدیده نشان می‌دهد که اندازه‌گیری فسفر قابل جذب خاک در حالت هوا خشک و در آزمایشگاه ممکن است برآورد چندان دقیقی از میزان فسفر قابل جذب در خاک غرقاب ارائه ندهد. در کل در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای بیشترین وزن خشک بخش هوایی برابر با ۱۶/۴۱ گرم بر گلدان در شرایط غرقاب و در رقم علی کاظمی در سطح دوم نیتروژن مصرفی (۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سطح شاهد فسفر (عدم مصرف کود فسفر) به‌دست آمد. کارایی ضعیف عصاره گیر اولسن در پیش‌بینی پاسخ برنج غرقاب به کود فسفر ممکن است از عوامل مختلفی ناشی شده باشد. نخست آن که برای تعیین سطح بحرانی از مقدار فسفر قابل جذب خاک در حالت هوا خشک استفاده می‌شود، در حالی که پس از غرقاب، مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک به طور قابل ملاحظه افزایش می یابد. دوم آن که گیاه برنج قادر است فسفر مورد نیاز خود را از منابعی بدست آورد که حل‌پذیری کمی دارند و به‌وسیله عصاره گیر اولسن استخراج نمی‌شوند. به عبارت دیگر، عصاره‌گیر مورد استفاده در آزمایشگاه برای تعیین فسفر قابل جذب گیاه در خاک نمی‌تواند رفتار ریشه برنج را شبیه‌سازی نموده و اثرهای متقابل ریشه-خاک را نشان دهد (نجفی و توفیقی ۱۳۸۹).

وزن خشک ریشه

در شرایط این آزمایش، تأثیر رژیم رطوبتی، نیتروژن و فسفر بر وزن خشک ریشه معنی‌دار و تأثیر رقم غیرمعنی‌دار بود (جدول۲). فجریا (۲۰۱۰) گزارش کرد که اثر متقابل سطوح نیتروژن و ژنوتیپ بر طول ریشه و وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. در این آزمایش، در رژیم رطوبتی غرقاب وزن خشک ریشه ۱۶/۴ درصد بیشتر از رژیم رطوبتی اشباع متناوب بود. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه افزایش یافت؛ به طوری که در سطح ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن ۱۶/۸ درصد و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن ۹۴/۰۲ درصد وزن خشک ریشه نسبت به شاهد بیشتر بود. فجریا (۲۰۱۰) گزارش کرد بیشترین طول و وزن خشک ریشه برنج با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن حاصل شد. با افزایش سطوح فسفر از صفر به ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک وزن خشک ریشه افزایش یافت به طوری که در سطح ۲۵ میلی‌گرم فسفر ۱۱/۹۳ درصد و در سطح ۵۰ میلی‌گرم فسفر ۳۰/۵ درصد وزن خشک ریشه نسبت به شاهد افزایش یافت. شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد فسفر وزن خشک ریشه در ابتدا تغییر معنی‌دار نکرد ولی بعداً کاهش یافت. در سطح ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک با افزایش سطوح نیتروژن وزن خشک ریشه ابتدا تغییر معنی‌دار نکرد و سپس افزایش یافت. شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن در رقم هاشمی وزن خشک ریشه ابتدا تغییر معنی‌دار نکرد و سپس تا حدود ۱۴ گرم در گلدان افزایش یافت. در رقم علی کاظمی نیز با افزایش سطوح نیتروژن وزن خشک ریشه تا حدود ۱۴ گرم در گلدان افزایش یافت. برخلاف وزن خشک بخش هوایی در وزن خشک ریشه‌رفتار هر دو رقم بسیار مشابه هم بوده و در سطح دوّم و سوّم نیتروژن ، وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌دار با همدیگر نداشتند هرچند که در تیمار شاهد نیتروژن وزن خشک رقم هاشمی بیشتر از رقم علی کاظمی بود. البته ممکن است حجم کم

خاک مورد استفاده در گلدانها هم در این مورد موثر بوده باشد. این نتایج با یافته‌های فجریا وبالیگار(۲۰۰۵) مطابقت داشت.

طول ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رژیم رطوبتی و فسفر و اثرات متقابل نیتروژن × فسفر، نیتروژن × رقم × نیتروژن و فسفر × رقم بر طول ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد (جدول ۳) نشان داد که در حالت کلی بین دو رقم هاشمی و علی کاظمی از نظر طول ریشه اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اگرچه در رژیم رطوبتی غرقاب طول ریشه بیشتر از رژیم رطوبتی اشباع متناوب بود. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم طول ریشه در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای تغییر معنی‌دار نکرد که با نتایج فجریا (۲۰۰۱) مغایرت داشت. با افزایش سطوح فسفر از صفر به ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک طول ریشه افزایش یافت. عمرانی و نارخده (۱۹۸۲) گزارش کردند که مصرف کودهای فسفره موجب رشد و گسترش سیستم ریشه و افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود. شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد فسفر طول ریشه تغییر نکرد. در سطح دوّم فسفر مصرفی با افزایش سطوح نیتروژن طول ریشه ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. در سطح سوّم فسفر با افزایش سطوح نیتروژن در ابتدا طول ریشه افزایش یافت و سپس تغییر معنی‌دار نکرد.

حجم ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که به‌جز اثرات متقابل فسفر× رژیم رطوبتی، رقم × رژیم رطوبتی، نیتروژن × رقم × رژیم رطوبتی، فسفر × رقم × رژیم رطوبتی و اثر چهار جانبهٔ فاکتورها، سایر اثرات اصلی و متقابل بر حجم ریشه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد (جدول ۳) که به‌طور کلی در شرایط این آزمایش حجم ریشه در رقم هاشمی ۸/۸ درصد بیشتر از رقم علی کاظمی بود. در شرایط غرقاب حجم ریشه ۲۲/۳ درصد بیشتر از شرایط اشباع متناوب بود. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم حجم ریشه افزایش یافت. با افزایش سطوح فسفر حجم ریشه افزایش یافت؛ به‌طوری که در سطح دوّم فسفر ۲۲/۷ درصد و در سطح سوّم فسفر ۳۵/۸ درصد حجم ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در هر سه سطح فسفر حجم ریشه افزایش یافت امّا در سطح سوّم فسفر بین سطح دوّم و سوّم نیتروژن تغییر معنی‌دار مشاهده نشد.

شاخص کلروفیل

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل برگ‌های دو رقم هاشمی و علی کاظمی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. شاخص کلروفیل در رژیم رطوبتی اشباع متناوب ۷/۶ درصد بیشتر از غرقاب بود. با افزایش سطوح نیتروژن در سطح دوّم ۲۶/۶ درصد و در سطح سوّم ۸۵ درصد شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. این نتیجه مورد انتظار بود چرا که، نیتروژن جزئی از ساختار کلروفیل است (مارشنر ۱۹۹۵). این یافته‌ها با نتایج ترمان و آلن (۱۹۷۴) نیز مطابقت داشت. گلدن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که مصرف نیتروژن با افزایش غلظت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسنتزی و اثر مستقیم بر افزایش سطح برگ و افزایش عملکرد گیاهی را بدنبال دارد. آنان در نهایت چنین نتیجه‌گیری کردند که تهیه مقدار کافی نیتروژن در طول پر شدن دانه برای جلوگیری از تنش در برگ‌ها و ثابت ماندن میزان فتوسنتز امری ضروری است. در سطح دوّم فسفر مصرفی حدود ۱۳ درصد و در سطح سوّم فسفر مصرفی حدود ۲۴ درصد شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد فسفر افزایش نشان داد (جدول ۵).

بیشترین همبستگی معنی‌دار شاخص کلروفیل با غلظت نیتروژن بخش هوایی مشاهده شد (r=۰/۹۶**) که با توجّه به اهمیّت نیتروژن در ساختمان کلروفیل این نتیجه قابل انتظار بود (جدول مذکور ارائه نشده است). شکل ۸ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن در هر دو رژیم رطوبتی شاخص کلروفیل برگ‌ها تا حدود ۲۱ درصد افزایش یافت و در تمامی سطوح نیتروژن در

شرایط اشباع متناوب شاخص کلروفیل بیشتر از شرایط غرقاب بود. شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن در هر سه سطح فسفر مصرفی شاخص کلروفیل برگ‌ها افزایش یافت و در تمامی سطوح نیتروژن شاخص کلروفیل برگ‌ها در سطح سوّم فسفر از سایر سطوح بیشتر بود. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در هر دو رقم مورد آزمایش با افزایش سطوح نیتروژن شاخص کلروفیل برگ‌ها تا حدود ۲۲ درصد افزایش یافت.

تعداد پنجه در بوته

بین دو رقم مورد مطالعه در شرایط این آزمایش از نظر تعداد پنجه در بوته اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵)، با این حال، تعداد پنجه در بوته در رژیم رطوبتی غرقاب بیشتر از اشباع متناوب بود. با افزایش سطوح نیتروژن مصرفی تعداد پنجه در بوته ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. کومبیوک و المو (۲۰۰۴) گزارش کردند که با افزایش سطوح نیتروژن تا ۱۸۰ کیلوگرم بر هکتار تعداد پنجه در بوته برنج افزایش یافت، در حالی که در گندم تا سطح ۶۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار افزایش تعداد پنجه مشاهده شد. ماهاجان و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار تعداد پنجه، تعداد خوشه و دانه‌های پر شده را در برنج هوازی افزایش داد. در شرایط این آزمایش با افزایش سطوح فسفر از صفر به ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم تعداد پنجه در بوته تغییر معنی‌دار نکرد. در تمامی سطوح نیتروژن نیز تعداد پنجه در رژیم رطوبتی غرقاب بیشتر از اشباع متناوب بود.

جدول۲- تجزیه واریانس تأثیر نیتروژن، فسفر، رژیم رطوبتی و رقم برنج بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه.

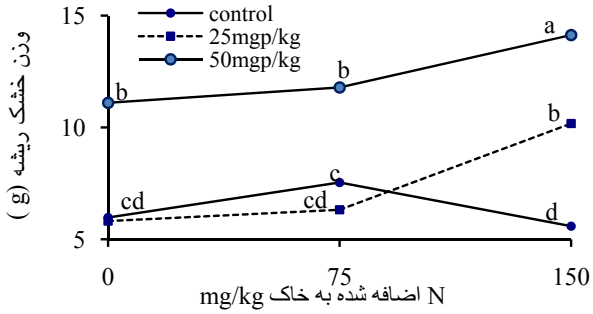
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		حجم ریشه	طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک بخش هوایی
رژیم رطوبتی (I)	۱	۲۱۱۷**	۰/۸۱*	۴۶/۷۲**	۱/۳۱**
نیتروژن (N)	۲	۱۵۵۱**	۰/۳۷^{ns}	۳۶۵**	۱/۷۱**
N×I	۲	۹۳/۲**	۰/۱۶^{ns}	۱۴/۸۷*	۰/۰۱^{ns}
فسفر (P)	۲	۱۶۹۸**	۰/۸۹*	۴۹/۶۹**	۰/۱۱**
P×I	۲	۲/۵۸^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۳۳/۶۴**	۰/۰۹**
N×P	۴	۶۷/۵۵**	۰/۹۸**	۳۰/۸۷**	۰/۱۱۷**
N×P×I	۴	۵۱/۰۷**	۰/۲۵^{ns}	۷/۹۴^{ns}	۰/۰۴**
رقم (V)	۱	۳۹۵**	۰/۲۶^{ns}	۱۱/۹۲^{ns}	۰/۰۸*
I×V	۱	۱/۲۰^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۱/۳۶^{ns}	۰/۰۰^{ns}
N×V	۲	۴۶/۳۳**	۱/۲۴**	۱۴/۸۶*	۰/۱۹**
N×V× I	۲	۱۹/۵۹^{ns}	۰/۴۱^{ns}	۶/۸۹^{ns}	۰/۱۲**
P×V	۲	۴۳/۱۴**	۰/۰۴^{ns}	۱۹/۷۶**	۰/۰۸**
C×P×I	۴	۷/۸۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۴/۷۰^{ns}	۰/۳۱**
C×N×P	۴	۳۲/۲۵**	۰/۵۵*	۴/۶۰^{ns}	۰/۰۶**
خطای آزمایشی	۷۰	۱۶/۷۷^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۷/۶۴^{ns}	۰/۱۳**
ضریب تغییرات(٪)		۸/۴۰	۰/۱۸	۳/۷۳	۰/۰۱

* و **،n.s به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ ٪ و ۵ ٪

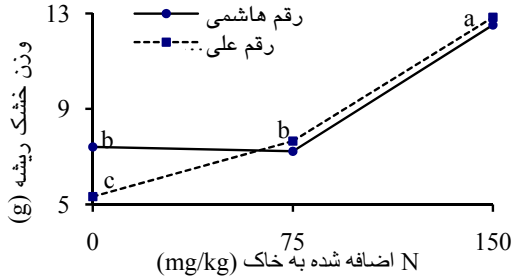
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رقم برنج، رژیم رطوبتی،نیتروژن و فسفر بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه.

اثر اصلی	سطوح	وزن خشک بخش هوایی (g/pot)	وزن خشک ریشه	طول ریشه بر بوته (cm)	حجم ریشه بر گلدان (cm^3)
رقم	هاشمی	۹/۴۹b	۹/۰۴a	۲۵/۹۴a	۴۷/۲۰a
	علی کاظمی	۱۰/۲۰a	۸/۳۸a	۲۷/۰۷a	۴۳/۳۷b
رژیم رطوبتی	غرقاب	۱۱/۰۷a	۹/۳۷a	۲۷/۳۴a	۴۹/۸۲a
	اشباع متناوب	۸/۶۲b	۸/۰۵b	۲۵/۶۶b	۴۰/۷۵b
نیتروژن (mg/kg)	۰	۷/۲۱c	۶/۳۶c	۲۶/۰۶a	۳۸/۲۳c
	۷۵	۱۰/۵۲b	۷/۴۳b	۲۵/۷۳a	۴۶/۴۰b
	۱۵۰	۱۱/۸۱a	۱۲/۳۴a	۲۷/۷۱a	۵۱/۲۲a
فسفر (mg/kg)	۰	۱۰/۶۱a	۷/۶۳c	۲۴/۹۶c	۳۷/۸۹c
	۲۵	۹/۲۹c	۸/۵۴b	۲۶/۲۲b	۴۶/۵۰b
	۵۰	۹/۶۴b	۹/۹۶a	۲۸/۳۲a	۵۱/۴۷a

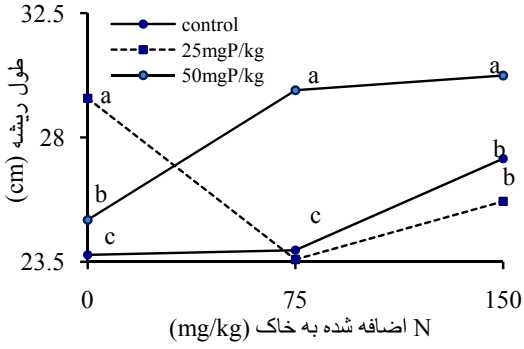
۱. در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.



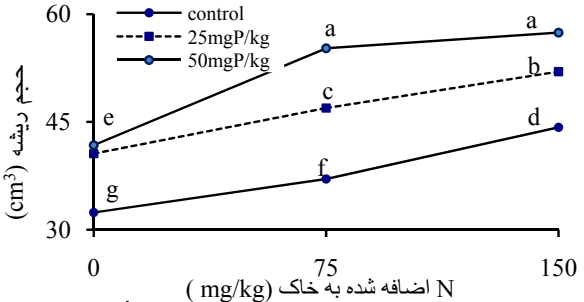
شکل ۴- اثر متقابل فسفر و نیتروژن بر وزن خشک ریشه.



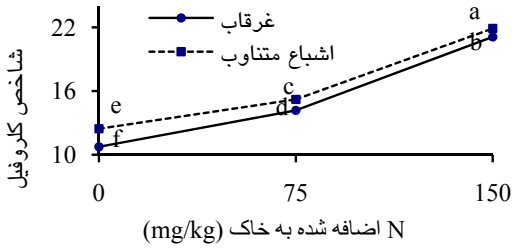
شکل۵- اثر متقابل نیتروژن ورقم بر وزن خشک ریشهٔ برنج.



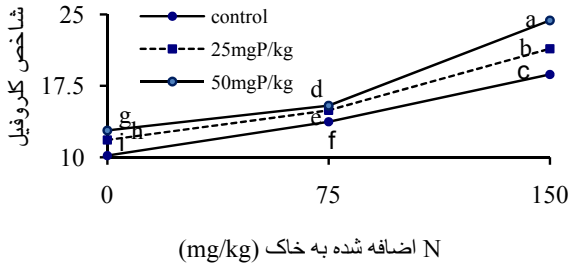
شکل ۶- اثر متقابل فسفرو نیتروژن برطول ریشهٔ برنج.



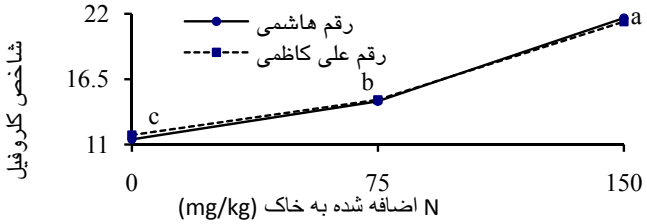
شکل ۷- اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر حجم ریشهٔ برنج.



شکل ۸- اثر متقابل نیتروژن و رژیم رطوبتی بر شاخص کلروفیل برگ.



شکل ۹- اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر شاخص کلروفیل برگ.



شکل ۱۰- اثر متقابل نیتروژن و رقم بر شاخص کلروفیل برگ.

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح نیتروژن در رژیم رطوبتی غرقاب تعداد پنجه در بوته ابتدا افزایش یافت امّا در سطح دوم و سوم نیتروژن اختلاف معنی-دار در تعداد پنجه مشاهده نشد. بیشترین تعداد پنجه در بوته با مصرف ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک به دست آمد و با افزایش سطح نیتروژن تغییر معنی-داری در تعداد پنجه در بوته حاصل نشد. در رژیم رطوبتی اشباع متناوب با افزایش سطوح نیتروژن تعداد پنجه در بوته تغییر معنی‌داری نشان نداد. در تمامی سطوح نیتروژن تعداد پنجه در رژیم رطوبتی غرقاب بیشتر از اشباع متناوب بود. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در رقم هاشمی افزایش سطوح فسفر تغییر قابل توجهی در تعداد پنجه در بوته ایجاد نکرد. در رقم علی کاظمی با افزایش سطوح فسفر ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت امـّا بین سطح دوّم و سوّم فسفر در تعداد پنجه در بوته اختلاف معنی دار مشاهده نشد.

تعداد برگ در بوته

در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای، بین دو رقم هاشمی و علی کاظمی در تعداد برگ در بوته اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵). تعداد برگ در بوته در رژیم رطوبتی غرقاب بیشتر از اشباع متناوب بود. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم، تعداد برگ در بوته افزایش یافت، که این با نتایج ماهاجان و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد. اما با افزایش سطوح فسفر از صفر به ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعداد برگ در بوته تغییر معنی‌داری نکرد که با نتایج جرورج و همکاران (۲۰۰۱) مغایرت داشت (جدول ۵). شکل ۱۳ نشان می‌دهد که در رژیم رطوبتی غرقاب دایم با افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد و ۵۰ میلی‌گرم فسفر تعداد برگ در بوته ابتدا افزایش و سپس تغییر معنی‌دار نکرد. در سطح ۲۵ میلی‌گرم فسفر اگرچه با مصرف نیتروژن اندکی افزایش مشاهده شد امـّا این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نشد. شکل ۱۴ نشان می‌دهد که در رژیم رطوبتی اشباع متناوب با افزایش سطوح نیتروژن مصرفی در تیمار شاهد فسفر تعداد برگ در بوته ابتدا تغییر معنی‌دار نکرد و سپس افزایش یافت. در سطح ۲۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک تعداد برگ در بوته ابتدا تحت تأثیر نیتروژن مصرفی افزایش یافت و سپس تغییر معنی‌دار نکرد. در سطح ۵۰ میلی‌گرم فسفر تعداد برگ در بوته تحت تأثیر مصرف نیتروژن قرار نگرفت.

قطر ساقه

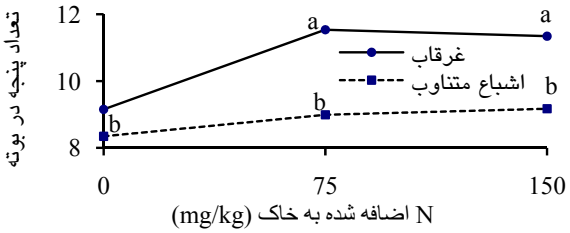
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که به‌جز اثر اصلی رژیم رطوبتی و نیتروژن، سایر اثرات اصلی و متقابل بر قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نبودند (جدول ۵). مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان داد که قطر ساقه در دو رقم هاشمی و علی کاظمی اختلاف معنی‌داری نداشت، امّا در رژیم رطوبتی غرقاب بیشتر از اشباع متناوب بود (جدول۶). مدینا و همکاران (۱۹۸۴) نیز گزارش کردند که قطر ساقه سورگوم به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کودهای نیتروژن و فسفر قرار گرفت. ترک (۱۹۹۸) گزارش کرد زمانی که مقادیر کافی فسفر و پتاسیم در خاک وجود نداشت، افزودن کود نیتروژن موجب نازک شدن ساقه در جو شد و در نهایت عملکرد آن کاهش یافت. مشاهدات ایوب و همکاران (۱۹۹۹) نیز نشان داد که مصرف نیتروژن به تنهایی یا در ترکیب با کود فسفر موجب قطورتر شدن ساقه‌ها شد، امّا تغییرات بین سطوح کود معنی‌دار نبود. در این آزمایش، فسفر مصرفی هم نتوانست تغییر معنی‌داری در قطر ساقه ایجاد کند.

طول ساقه

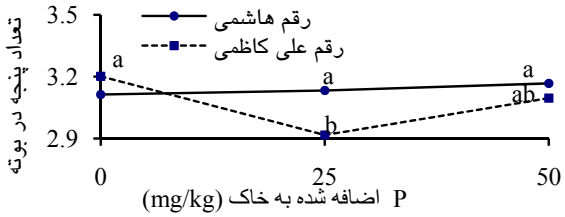
دو رقم مورد مطالعه در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای، اختلاف معنی‌داری در طول ساقه نشان ندادند. همچنین تفاوت آماری بین دو رژیم رطوبتی غرقاب و اشباع متناوب از نظر طول ساقه مشاهده نشد. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، طول ساقه افزایش یافت، امّا این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نشد. این نتایج موافق با گزارش پاندا و همکاران (۱۹۹۵)، اختر و همکاران (۱۹۹۹) و کوانگ توین و همکاران (۲۰۰۶) در برنج بود. با افزایش سطوح فسفر از صفر به ۵۰ میلی‌گرم، طول ساقه افزایش یافت امّا از نظر آماری معنی‌دار نشد. مدینا و همکاران (۱۹۸۴) نیز گزارش کردند که افزایش سطوح فسفر و نیتروژن تأثیری بر طول ساقهٔ برنج نداشت.

کارایی مصرف نیتروژن

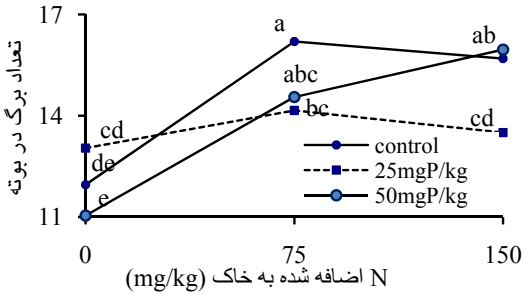
کارایی زراعی مصرف نیتروژن در میانگین ۳ سطح فسفر در جدول ۶ ارائه شده است. بالاترین کارایی مربوط به رقم علی کاظمی در شرایط غرقاب و سطح ۷۵ نیتروژن مصرفی برابر با ۶۹/۳ گرم بر گرم بود، هرچند همین رقم در شرایط اشباع متناوب هم در همین سطح نیتروژن مصرفی از بالاترین کارایی برخوردار بود. به طور کلی با مصرف نیتروژن در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی از کارایی زراعی نیتروژن مصرفی کاسته شد که نتیجه مورد انتظار بوده و با گزارش دیگر محققان هم مطابقت دارد (هاولین و همکاران ۲۰۰۴). معمولا در بهترین شرایط مزرعه کارایی زراعی نیتروژن مصرفی در کشور امریکا حدود ۵۰ گرم بر گرم گزارش شده است و دلیل کارایی بالای نیتروژن مشاهده شده در این آزمایش مربوط به شرایط آزمایش مثلا عدم وجود آبشویی و همینطور اختلاط کامل کود مصرفی با خاک و pH خنثی خاک که منجر به تصعید ناچیز آمونیاک می‌شود است. البته ذکر این نکته ضروری است که کارایی بالای هر دو رقم در سطح ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک مشاهده شده است و با مصرف بیشتر نیتروژن، کارایی مذکور کاهش یافته است.



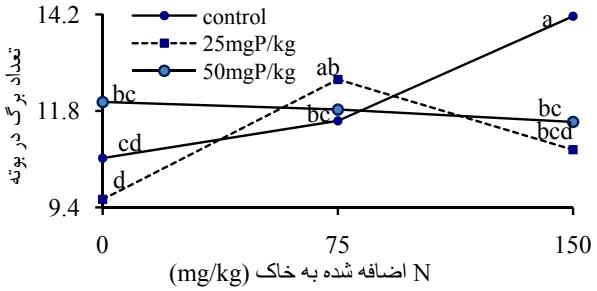
شکل ۱۱- اثر متقابل سطوح نیتروژن و رژیم رطوبتی بر تعداد پنجه در بوته.



شکل۱۲- اثر متقابل سطوح نیتروژن و رقم بر تعداد پنجه در بوته.



شکل ۱۳- اثر متقابل فسفر و نیتروژن برتعداد برگ در بوته در شرایط غرقاب دایم.



شکل ۱۴- اثر متقابل فسفر و نیتروژن برتعداد برگ در بوته در شرایط اشباع متناوب.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر رقم برنج، رژیم رطوبتی، نیتروژن و فسفر بر شاخص کلروفیل ، تعداد پنجه و برگ در بوته، قطر و طول ساقه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص کلروفیل	تعداد پنجه در بوته	تعداد برگ در بوته	قطر ساقه	طول ساقه
رژیم رطوبتی(I)	۱	۰/۶۶**	۹۱/۵۴**	۲/۸۹**	۰/۳۸**	۰/۰۸^{ns}
نیتروژن (N)	۲	۱۳/۹۸**	۲۷/۳۷**	۱/۰۶**	۰/۳۷**	۰/۱۷^{ns}
N×I	۲	۰/۰۶**	۷/۵۵*	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۲^{ns}
فسفر (P)	۲	۱/۵۰**	۶/۲۹^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۷۵^{ns}
P×I	۲	۰/۰۰^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰^{ns}
N×P	۴	۰/۱۱**	۲/۵۶^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۶۳^{ns}
N×P×I	۴	۰/۰۱^{ns}	۵/۱۴^{ns}	۰/۲۶*	۰/۰۲^{ns}	۰/۵۴^{ns}
رقم (V)	۱	۰/۰۰^{ns}	۵/۲۰^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۲۶^{ns}
V×I	۱	۰/۰۱^{ns}	۶/۵۸^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۳۸^{ns}
N×V	۲	۰/۰۱*	۶/۹۱^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۸^{ns}
V×N×I	۲	۰/۰۰^{ns}	۶/۲۵^{ns}	۰/۲۸*	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۸^{ns}
P×V	۲	۰/۰۰^{ns}	۷/۷۶*	۰/۲۳*	۰/۰۴^{ns}	۰/۳۶^{ns}
V×P×I	۲	۰/۰۰^{ns}	۴/۸۶^{ns}	۰/۳۲*	۰/۰۳^{ns}	۰/۴۳^{ns}
V×N×P	۴	۰/۰۳**	۳/۵۷^{ns}	۰/۲۰*	۰/۰۵^{ns}	۱/۸۰**
V×N×P×I	۴	۰/۰۰^{ns}	۵/۳۴^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۶۵^{ns}
خطای آزمایشی	۷۰	۰/۰۰	۲/۴۰	۰/۰۷۴	۰/۰۲	۰/۴۷
ضریب تغییرات(٪)		۱/۴۷	۱۵/۹۰	۶/۷۰	۸/۱۰	۱۳/۸۸

n.s ، *و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول۵- مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رقم برنج، رژیم رطوبتی، نیتروژن و فسفر بر شاخص کلروفیل، تعداد پنجه و برگ، قطر و طول ساقه.

اثر اصلی	سطوح	شاخص کلروفیل	تعداد پنجه در بوته	تعداد برگ در بوته	قطر ساقه (cm)	طول ساقه (cm)
رقم	هاشمی	۱۵/۸۹۸a	۹/۹۷a	۱۳/۰۶a	۱/۵۹a	۱۰۵/۰۰a
	علی کاظمی	۱۵/۹۶a	۹/۵۳a	۱۲/۵۷a	۱/۵۵a	۱۰۲/۵۴a
رژیم رطوبتی	غرقاب	۱۵/۳۴b	۱۰/۶۷a	۱۴/۰۱a	۱/۷۲a	۱۰۵/۰۰a
	اشباع متناوب	۱۶/۵۱a	۸/۸۳b	۱۱/۶۳b	۱/۴۲b	۱۰۲/۵۵a
نیتروژن (mg/kg)	۰	۱۱/۶۰c	۸/۷۵c	۱۱/۳۸c	۱/۲۷c	۹۵/۹۱a
	۷۵	۱۴/۶۹b	۱۰/۲۶a	۱۳/۴۷b	۱/۷۴a	۱۰۴/۸۵a
	۱۵۰	۲۱/۴۸a	۱۰/۲۵b	۱۳/۶۱a	۱/۶۹b	۱۱۰/۵۶a
فسفر (mg/kg)	۰	۱۴/۲۰c	۱۰/۰۹a	۱۳/۳۶a	۱/۵۶a	۱۰۰/۶۲a
	۲۵	۱۶/۰۴b	۹/۲۸a	۱۲/۲۸a	۱/۴۹a	۱۰۴/۳۸a
	۵۰	۱۷/۵۳a	۹/۸۹a	۱۲/۸۲a	۱/۶۵a	۱۰۶/۳۱a

۱. در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

جدول ۶- اثر متقابل رژیم رطوبتی، سطح نیتروژن و رقم برنج بر کارایی زراعی نیتروژن (میانگین ۳ تکرار و ۳ سطح فسفر).

رژیم رطوبتی	سطح نیتروژن مصرفی(mg/kg)	رقم برنج	کارایی زراعی (g/g)
غرقاب	۷۵	هاشمی	۳۷/۵
		علی کاظمی	۶۹/۳
	۱۵۰	هاشمی	۲۷/۳
		علی کاظمی	۴۱/۲
اشباع متناوب	۷۵	هاشمی	۳۲/۲
		علی کاظمی	۶۰/۸
	۱۵۰	هاشمی	۱۰/۱
		علی کاظمی	۲۲/۷

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که در یک خاک آهکی و فقیر از مادهٔ آلی، مصرف نیتروژن از منبع اوره توانست بر اکثر پارامترهای رشد گیاه برنج تأثیر معنی‌دار گذاشته و آن‌ها را بهبود ببخشد و نیتروژن مصرفی از کارایی مناسب و قابل قبولی برخوردار باشد. نکتهٔ مهم در این آزمایش تفاوت دو رقم مورد مطالعه در نحوهٔ پاسخ به کود نیتروژن مصرفی به ویژه کارایی زراعی متفاوت نیتروژن مصرفی بود که از این نظر اختلاف معنی‌دار بین دو رقم در دو شرایط رطوبتی متفاوت مشاهده شد و لازم است که مورد توجّه متخصصان اصلاح نباتات و کارشناسان تغذیهٔ گیاه برنج واقع شود. اگرچه فسفر قابل جذب خاک مورد استفاده در این آزمایش به روش رایج عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم، کمتر از حد بحرانی فسفر برای محصولات زراعی مهم در خاک‌های آهکی (۱۴-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود، امّا در شرایط حاضر، مصرف فسفر نه تنها باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی برنج نشد، بلکه به طور معنی‌داری آن را کاهش داد. این امر نشان می‌دهد که استفاده از این حدود بحرانی برای برنج صحیح نبوده و بایستی برای گیاه برنج با توجه به شرایط خاص رطوبتی، حدود بحرانی مربوطه محاسبه شوند. در مناطقی از استان آذربایجان شرقی همچون میانه و یا در خداآفرین و اطراف رودخانهٔ ارس و یا در استان‌های اصفهان اطراف زاینده رود واستان لرستان احتمالاً در شرایط مشابه این خاک برنج کاشته می‌شود و نتایج این

تحقیق بعد از واسنجی در مزرعه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان نامهٔ کارشناسی ارشد نویسندهٔ اوّل مستخرج گردیده است لذا بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز بدلیل تأمین هزینه‌های لازم تشکر می‌گردد. همچنین بذور برنج از موسسهٔ تحقیقات برنج کشور تهیه شده بود که بدین وسیله از مساعدت آقای دکتر دواتگر کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

اسدی م ا و شاهین رخسار احمدی پ، ۱۳۸۵. معرفی روش جدید آبیاری برنج در کشور چین. صفحه‌های ۶۳ تا ۷۱، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش ملی برنج کشور، جلد دوم ، چهارم تا پنجم دیماه، دانشکاه مازندران، بابلسر، ایران .

اصفهانی م، صدرزاده س‌م، .کاووسی م و دباغ محمدی نسب ع، ۱۳۸۴ . اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر رشد، عملکرد واجزای عملکرد دانهٔ برنج رقم خزر. مجلهٔ علوم زراعی ایران . جلد هفتم ، شمارهٔ ۳ ، صفحه‌های ۲۴۰ تا ۲۲۶ .

بی نام . موسسهٔ تحقیقات برنج کشور، ۱۳۸۷. توصیه های فنی برای شالیکاری در خشکسالی .

پیرمرادیان ن، سپاسخواه ع و مفتون م، ۱۳۸۲. تاثیر کم آبیاری و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و بازده مصرف آب در برنج. صفحه‌های ۲۶۱ تا ۲۷۱، مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران ، ایران .

فرجی ا و آقافخر م، ۱۳۷۷ . اثر مقدار و زمان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در اصفهان . مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دوم، شمارهٔ سوم، صفحه‌های ۲۵ تا ۳۲.

قربانی مح، پورفرید آ، بصیری م و امیری س، ۱۳۸۵. اثر تنش شوری و رقم بر جوانه زنی و رشد گیاهچهٔ ده رقم برنج . صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۴، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش ملی برنج کشور ، جلد دوم، چهارم تا پنجم دیماه، دانشکاه مازندران، بابلسر، ایران.

نجفی ن و توفیقی ح،۱۳۸۵ . بررسی اثر رایزوسفر گیاه برنج بر شکل های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران : شکل های فسفر بومی خاک، مجلهٔ علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۷، شمارهٔ ۵ ، صفحه های ۹۱۹ تا۹۳۳.

نجفی ن و توفیقی ح، ۱۳۸۹ . تأثیر کود فسفر بر رشد گیاه برنج، جذب فسفر و برخی عناصر در خاکهای شالیزاری شمال ایران در شرایط گلخانه‌ای. صفحه های ۲۸۰۷ تا۲۸۱۰، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

Akhtar M, Randttawa SA, Mahmood MT and Ullah E, 1999. Interaction effects of nitrogen and phosphorus on agronomic traits of Maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture & Biology 1560-8530/99/01-1-334-336.

Ayub M, Tanveer A, Mahmud K, Ali A and Azam M, 1999. Effects of nitrogen and phosphoris on the Fodder yield a quality of Sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L.). Pakistanian Journal of Biological Sciences, 2(1): 247-250.

Barbosa MP and Yamada T, 2002. Upland rice production in Brazil. Better Crops International 16:43-46.

Borhi AR, Karman MR, Aktas A and Savaski E, 1998. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on the yield and nutrient status of rice crop grown on artificial siltation soil from the Kelkit river. Journal of Agriculture and Forestry 22 : 585-592.

Brady NC and Weil RR, 1999. The Nature and Properties of Soils. Twelfth Edition, Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA.

Fageria NK, Zimmermann FJP and Baligar VC, 1995. Lime and phosphorus interactions on growth and nutrient uptake by upland rice, wheat, common bean, and corn in Oxisol. Journal of Plant Nutrition 18:2519-2532.

Fageria NK, 2001. Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. Soil Science and plant Analysis 32: 2603 -2629.

Fageria NK ,2010. Root growth of upland rice genotypes as influenced by nitrogen fertilization. Pp 120-123 .19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia.

Fageria NK, Baligar VC and Clark RB, 2006. Physiology of Crop Production.The Haworth Press. New York.

Gerorge T, Magbanua R, Roder W, Keer KV, Trebuil G and Reoma V, 2001. Upland rice response to phosphorus fertilization in Asia. Agronomy Journal 93:1362-1370.

Golden BR, Slaton NA, Norman RJ, Wilson JCE and Delong RE, 2009. Evaluation of polymer-coated urea for direct and delayed seeded in flooded rice production. Soil Science Society of American Journal 73:375-383.

Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL, 2004. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Sixth Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.

He y, Shen Q, Shen H, Kong H, Xiong Y and Wang X, 2004. Effect of soil moisture content and phosphorus application on phosphorus nutrition of rice cultivated in different water regime systems. Journal of Plant Nutrition 27(12):2259-2272.

Jones BJ, 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, USA.

Klute A, 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd edition, ASA, SSSA, Madison .WI .USA.

Kombiok JM and Elemo KA, 2004. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on maize/rice intercropping system at Samaria, northern Nigeria. Ghana Journal of Agricultural 37 :3-13

Krik GJD, Santos EE and Santos MB, 1999. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil: Rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. New Phytologist 142 :185-200

Kumar, K and Rao, KVP, 1992. N and P requirement of upland rice Manipur. Oryza 29 :306-309

Lindsay WL and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci Soc American journal 42: 421-428.

Mahajan G, Chauhan BS and Gill MS, 2010. Optimal nitrogen fertilization timing and rate in dry-seeded rice in northwest India. Agronomy Journal 103: 1676-1682.

Mclean EO, 1982. Soil pH and lime requirement. Pp. 199-224. In: Page et al., (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. ASA, SSSA, Madison, WI. USA.

Medina LB, Riquelme V and Oyervides EOV, 1984. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer and population density on lowland fodder sorghum production under irrigation. Reusta Chapingo, 9:152-156.

Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp: 539-579. In: Page Al, Miller R H and DR Keeney. (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd eds. ASA, SSSA, Madison, WI. USA.

Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page Al, Miller R H and DR Keeney. (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd eds, ASA, SSSA, Madison, WI. USA.

Panda SC, Panda PC and Nanda SS, 1995. Effect of N and P on yield and nutrient uptake of rice; Oryza 32: 18-20.

Quang Thyen T, Phurg CV and Tin Tk, 2006. Influence of long term application of N, P, and K fertilizer on major soil elements. Omon Rice 14: 92-96.

Richards, LA, 1969. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural handbook. No.60.USDA.USA.

Ronand PB and Robert CR, 2005.Influenc of nitrogen fertilization on multi-culture range sorghum- sudangrass yield and nitrogen use. Agronomy Journal 97:1493-1501.

Roshan NM, Azarpour A, Moradi M, 2011. Study effects of different nitrogen and micronutrients fertilizer rates on yield components of rice. World Applied Sciences Journal 13(3): 419-423.

Sah RN and Mikkelsen DS,1986. Transformation of inorganic phosphorus during the flooding and draining cycle of Soil Soil Sci Soc Am J 50:62-67.

Saito K, Linquist B, Atlin GN, Phanthaboon K, Shirawa T and Horie T, 2006. Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos. Field Crops Research 96: 216-223.

Shahandeh H, Hossner, LR and Turner FT,1994. Phosphorus relationships in flooded rice soils with low extractable phosphorus. Soil Science Society American Journal 58:1184-1189.

Singh Y, Singh SP and Bhrdwaj AK, 2000. Phosphorus and potassium fertilizers on rice-wheat productivity and properties of Mollisols in Himalayan foot hills. Pp 14-21, In : Rice-Wheat Consortium Paper Series 6. New Delhi.

Slaton NA, Wilson Jr, CE, Norman RJ, Ntamatungiro S and Frizzell DL, 2002. Rice response to phosphorus fertilizer application rate and timing on alkaline soils in Arkansas. Agronomy Journal 94: 1393-1399.

Turk MA, 1998. Effect of nitrogen and phosphorous levels on barley cultivars grown in semiarid conditions Journal of Agronomy & Crop Science 181:257-262

Umrani NK and Narkhede PL, 1982. Influence of nitrogen fertilization on moisture utilization by winter sorghum. Sorghum News 25:61-65

Wang J, Liao Z and Shuman LM, 1994. Interaction of silicon, iron, and manganese in rice (*Oryza sativa* L.) rhizosphere at low pH in relation to rice growth. Journal of Plant Nutrition 17: 775-785.

Waling I, Vark WV, Houba VJG and Van der lee JJ 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland.