

بررسی اثر مصرف مس بر عملکرد و ترکیب شیمیایی برنج و تعیین حد بحرانی مس در تعدادی از خاک های آهکی استان فارس

لیلا تابنده،^{۱*} منوچهر مفتون، نجفعلی کریمیان و یحیی امام

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی استان قم؛ Tabandeh2000@yahoo.com؛

استاد بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ mmaftoon@hotmail.com؛

استاد بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ nkarimian@yahoo.com؛

استاد بخش زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ yaemam@shirazu.ac.ir؛

چکیده

در خاک های آهکی ایران، اطلاعات کمی در رابطه با مس قابل استفاده در دسترس است. از آنجا که قابلیت استفاده این عنصر غذایی، معمولاً در این خاک ها کم می باشد و با غرقاب شدن خاک تشدید می یابد. لذا ارزیابی اثر کاربرد مس، برای گیاه برنج بسیار مهم و ضروری است. در این تحقیق، تعداد ۱۹ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری نقاط مختلف استان فارس با دامنه وسیعی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برگزیده شد. برای تعیین مس قابل استفاده از عصاره گیر دی تی پی ۱ (DTPA-TEA) استفاده شد. به علاوه، اثرات دو سطح مس (۰ و ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک به صورت سولفات مس) بر رشد، غلظت و جذب مس در دو مرحله رشد رویشی و زایشی برنج در یک طرح کامل تصادفی و با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک نیز تعیین گردید. میانگین وزن خشک شاخسار، عملکرد دانه و کاه و کلس، غلظت و جذب مس و همچنین وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک به طور معنی داری در خاک های تیمار شده با مس بیش از خاک های شاهد بودند. کاربرد مس، منجر به کاهش غلظت آهن، منگنز و روی در گیاه گردید. به علاوه، با استفاده از روش تصویری کیت و نلسون، حد بحرانی مس در خاک با عصاره گیر دی تی پی ۱ ۱ میکرو گرم در گرم خاک و به روش میچرلیخ-بری، برای دستیابی به ۸۵،۸۰ و ۹۰ درصد عملکرد نسبی دانه برنج به ترتیب ۱/۴۰، ۱/۶۵ و ۲ میکروگرم در گرم خاک تعیین گردید. و حد بحرانی مس در گیاه ۵/۹۳ میکرو گرم در گرم ماده خشک گیاهی بدست آمد.

واژه های کلیدی: برنج، مس، حد بحرانی و خاکهای آهکی.

مقدمه

(کردوانی، ۱۳۶۸). طبق گزارش فائو (۲۰۰۱)، سطح زیر کشت این گیاه در جهان ۱۵۱/۵ میلیون هکتار با تولید ۵۹۲/۸ میلیون تن و در ایران ۴۸۰/۰۰۰ هکتار و تولید ۲/۲ میلیون تن برآورد شده است. بنابراین با توجه به روند افزایش جمعیت در دنیا، افزایش تولید محصول از اهمیت خاصی برخوردار است.

برنج (*Oryza sativa* L.) مهمترین غله قاره قاره آسیا و نام آن در این قاره مترادف با کلمه زندگی است (امام، ۱۳۸۲). این گیاه بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.) مهمترین گیاه زراعی است و غذای ۴۰ تا ۵۰ درصد مردم جهان را تشکیل می دهد. هر کیلوگرم برنج حاوی ۳۶۰۰ کالری انرژی، هشت درصد پروتئین و بیش از ۷۵ درصد کربوهیدرات می باشد.

۱- نویسنده مسئول، آدرس: قم، خیابان ایران مریوس- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

* دریافت: ۸۵/۲/۵ و پذیرش: ۸۶/۶/۴

Black (۱۹۳۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم Chapman (۱۹۶۵)، کربنات کلسیم معادل با استفاده از اسید کلریدریک Allison و Moodie (۱۹۶۵)، پ هاش در خمیر اشباع با الکتروود شیشه ای Peech (۱۹۶۵) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع بوسیله دستگاه هدایت سنج تعیین گردید. سپس ۱۹ سری از خاک ها که از نظر مس قابل عصاره گیری با دی تی پی ۱ و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی دارای دامنه وسیعی بودند جهت مطالعه آزمایشگاهی و گلخانه ای انتخاب شدند.

آزمایش گلخانه‌ای

مقدار ۳ کیلوگرم از هر کدام از ۱۹ خاک انتخاب شده، داخل کیسه های ۵ کیلوگرمی ریخته شد. جهت بررسی تأثیر مس بر پارامترهای رشد رویشی و زایشی از دو سطح مس (۰ و ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک) به صورت سولفات مس استفاده گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی برای مرحله رشد رویشی و زایشی به صورت مجزا و با سه تکرار انجام گرفت و به تمام کیسه ها به طور یکنواخت نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک (در دو نوبت، ۱/۲ نیتروژن قبل از کاشت و بقیه ۳۰ روز پس از کاشت) و فسفر، آهن، منگنز و روی به ترتیب به میزان ۴۰، ۱۰، ۱۰ و ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک اضافه شد. همه عناصر غذایی ذکر شده در بالا بصورت محلول به ترتیب از منابع منوفسفات پتاسیم، FeEDDHA و سولفات منگنز و روی تأمین گردید. سپس رطوبت کیسه ها با آب مقطر به حدود ظرفیت مزرعه رسانده شد. و خاک هر کیسه به خوبی مخلوط و داخل گلدان ۳ کیلوئی ریخته شد. تعداد ۱۲ عدد بذر برنج (*Oryza sativa* L.) رقم قصرالدشتی در عمق ۱ سانتی متری خاک کاشته شد و رطوبت خاک تمام گلدانها با آب مقطر به حد ظرفیت مزرعه رسانده و در حدود ۲ هفته پس از کاشت، تعداد بوته های مربوط به مرحله رویشی و زایشی به ترتیب ۵ و ۲ عدد در هر گلدان تقلیل داده شد. سپس گلدان ها را به حالت ماندابی درآورده بنحوی که ارتفاع آب در سطح ۳ سانتیمتری در طول مدت آزمایش باشد. پس از ۸ هفته گیاهان مربوط به مرحله رویشی از محل طوقه قطع شده و پس از شستشو با آب مقطر در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. نمونه ها پس از توزین، آسیاب شدند. سه تکرار مربوط به مرحله رشد زایشی تا مرحله به دانه رفتن گیاه در هر گلدان در شرایط ماندابی نگهداری شدند. پس از مشاهده زردی کامل خوشه ها، آبیاری قطع و اجازه داده شد که خاک درون گلدانها خشک شود. سپس خوشه ها از محل ساقه جدا گشته و در پاکت های کاغذی

مس یکی از عناصر غذایی کم مصرف ضروری است که گیاهان به غلظت های مختلفی از آن برای رشد بهینه نیاز دارند. و اغلب به حالت یون دو ظرفیتی و یا کلات جذب گیاه می شود. این عنصر در تشکیل دانه و میوه، عمل لیگنینی شدن، فتوسنتز، تشکیل کلروفیل، تولید دانه گرده، افزایش مقاومت به بلاست در برنج و تبدیل نیتريت به هیدروکسیل آمین نقش مهمی بعهده دارد (Tisdale و همکاران، ۱۹۸۵). بنابراین کمبود مس در تشکیل دانه بیش از رشد رویشی اثر داشته و قسمت های زایشی به کاربرد مس جواب بهتری می دهند. Marschner (۱۹۹۵) برای اکثر گیاهان زراعی، دامنه سمیت و کمبود مس را به ترتیب در حدود ۲۰ تا ۳۰ و ۳ تا ۵ میکروگرم در گرم وزن خشک گیاه گزارش نموده است. غلظت مس در گیاه به فاکتورهایی مانند نوع گیاه، مرحله رشد، اندام گیاه و غلظت سایر عناصر غذایی ضروری بستگی دارد. Ponnampetuma (۱۹۷۲) و Kausar و همکاران (۱۹۷۶) کمبود مس را در خاک های ماندابی گزارش نموده اند. آنها عقیده دارند که دلیل کمبود مس، کاهش سولفات به سولفید و تشکیل سولفید مس با حلالیت کم بوده که منجر به کاهش حلالیت این عنصر می گردد.

در شالیزارهای استان های جنوبی ایران به علت بالا بودن پ هاش، بافت ریز، حضور مقدار قابل توجه کربنات کلسیم و ماندابی شدن خاک احتمال کمبود مس وجود دارد. و با توجه به اهمیت موضوع، انجام آزمایشهایی جهت بررسی تأثیر کاربرد مس در این اراضی از اولویت و اهمیت خاصی برخوردار می باشد. لذا هدف های این تحقیق عبارتند از:

- تأثیر مس بر رشد رویشی (وزن خشک شاخسار، غلظت و جذب مس) و رشد زایشی (عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلس، غلظت و جذب مس، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت).

- تعیین غلظت بحرانی مس در خاک و گیاه.

- تأثیر مس بر غلظت آهن، منگنز و روی در برنج.

مواد و روش ها

انتخاب خاک های مورد نظر

تعداد ۹۷ نمونه خاک از افق سطحی ۰-۳۰ سانتیمتری از سری های عمده شلتوک کاری استان فارس جمع آوری شد و پس از خشک کردن نمونه ها در هوا، از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های انتخاب شده در جدول ۱ نشان داده شده است. مس قابل استفاده توسط عصاره گیری با دی تی پی ۱ Lindsay و Norvell (۱۹۷۸)، تجزیه مکانیکی به روش هیدرومتر Bouyoucos (۱۹۶۲)، ماده آلی Walkley و

تخمین حدود بحرانی مس در خاک و گیاه

حد بحرانی را به منظور تفکیک پاسخهای گیاهی به کاربرد کود و در نهایت توصیه صحیح و مناسب کودی تعیین می کنند. از آنجا که طبق جدول ۴ در اکثر قریب به اتفاق خاکهای به کار رفته، مصرف ۲/۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک با افزایش عملکرد دانه برنج همراه بوده است. لذا در این تحقیق، حد بحرانی مس در خاک و گیاه فقط با در نظر گرفتن عملکرد نسبی دانه بدست آمد.

۱- حد بحرانی مس خاک به روش تصویری کیت و نلسون (۱۹۷۱)

در این روش مس عصاره گیری شده توسط دی تی پی ا به عنوان متغیر مستقل بر محور X و عملکرد نسبی دانه به عنوان متغیر وابسته بر محور Y در نظر گرفته شد. سپس پراکندگی نقاط در محور مختصات رسم و حد بحرانی مس خاک با ۱۵ درصد کاهش عملکرد تقریباً در حدود ۱ میکروگرم در گرم خاک تعیین گردید (شکل ۱). همچنین درصد پاسخ مثبت برنج به کاربرد این عنصر در خاکهایی با مقدار مس کمتر از سطح بحرانی، محاسبه گردید. بنابراین طبق محاسبات انجام شده، ۱۰۰ درصد از خاکها به کاربرد کود پاسخ مثبت داده اند.

۲- حد بحرانی مس به روش بازرسی چشمی

در این روش میزان عنصر استخراج شده به وسیله عصاره گیر DTPA در خاکهای مختلف به صورت نمودار ستونی رسم و به ترتیب صعودی مرتب می شود به طوری که خاک دارای کمترین میزان عنصر استخراج شده در ابتدا و بیشترین میزان عنصر قابل استخراج در انتها قرار می گیرد. در این شرایط ارتفاع ستون، مقدار عنصر استخراج شده می باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). همانطور که ملاحظه می شود با استفاده از این روش، حد بحرانی مس خاک ۱ میکروگرم در گرم می باشد (شکل ۲).

۳- حد بحرانی مس به روش میچرلیخ-بری در خاک

A عملکرد دانه در تیمار ۲/۵ میکروگرم مس در گرم خاک، Y عملکرد دانه در تیمار شاهد (گرم در گلدان)، b مس قابل استفاده خاک (میکروگرم در گرم) و C ضریب میچرلیخ و بری می باشد در صورتیکه حداکثر عملکرد ۱۰۰ فرض شود این معادله به صورت زیر در می آید.

$$\text{Log}(A-Y) = \text{log } A - Cb$$

$$\text{Log}(100-y) = \text{log } 100 - Cb$$

که در آن y عملکرد نسبی دانه برنج (نسبت وزن خشک تولید شده در تیمار صفر به وزن خشک تولید شده در تیمار مصرف مس به مقدار ۲/۵ میکروگرم در گرم) خواهد بود. بدین منظور ضریب C در معادله میچرلیخ-بری برای هر

نگهداری شدند. از طرفی کل گیاه از محل طوقه قطع شده و همراه با خوشه ها دردمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید. سپس تعداد دانه های مربوط به دو بوته گلدانهای مرحله زایشی شمارش شدند. و پس از توزین، دانه ها و کاه و کلش بطور جداگانه در آسیاب برقی پودر شدند.

تجزیه های آزمایشگاهی

وزن خشک قسمت شاخسار در مرحله رشد رویشی و عملکرد دانه، کاه و کلش، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک (Biological yield) و شاخص برداشت (Harvest index) در مرحله رشد زایشی تعیین گردید.

عملکرد بیولوژیک، برابر با حاصل جمع عملکرد دانه و کاه و کلش است و درصد شاخص برداشت با استفاده از معادله زیر بدست می آید:

عملکرد دانه

$$100 \times \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{شاخص برداشت}}$$

عملکرد بیولوژیک

یک گرم از نمونه های گیاهی شاخسار، دانه و کاه و کلش برنج بوسیله خشک سوزانی (Dry ashing) در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد خاکستر شده و پس از حل کردن در اسید کلریدریک ۲ نرمال، غلظت مس، آهن، منگنز و روی در آنها بوسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. غلظت بحرانی مس در خاک و گیاه با استفاده از روش های مختلف بدست آمد. در پایان، مقادیر عددی حاصل از تجزیه گیاه با کمک نرم افزار کامپیوتری نظیر MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج

پاسخ برنج به مس مصرفی در مرحله رشد رویشی و زایشی

نتایج مربوط به تأثیر کاربرد مس بر وزن خشک، غلظت و جذب مس بوسیله شاخسار، دانه و کاه و کلش در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می گردد، با کاربرد ۲/۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، میانگین وزن خشک شاخسار، دانه و کاه و کلش برنج افزایش معنی داری یافته است. و افزودن مس، اثر معنی داری بر غلظت و جذب کل مس در قسمت های مختلف گیاه نشان داد.

طبق جدول ۳، مصرف ۲/۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک منجر به افزایش معنی دار میانگین وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به ترتیب به میزان ۸/۱۸، ۸/۳۴ و ۱۹/۷۷ درصد نسبت به شاهد گردید.

خشک شاخسار، عملکرد کاه و کلش و دانه برنج شده است. از تأثیر مثبت مس بر تشکیل پروتئین، کربوهیدرات، دانه گرده و در نهایت عمل گرده افشانی، می توان چنین استنباط کرد که مس نقش عمده ای در افزایش عملکرد دانه برنج بر عهده دارد بنحویکه کاربرد مس، بیشترین تأثیر را در مرحله رشد زایشی برنج داشته است. Nambiar (۱۹۷۶)، Krahmer و Podlesak (۱۹۸۵) و Agrawal و Gupta (۱۹۹۴) نشان دادند که مصرف مس سبب افزایش عملکرد دانه برنج شده است. Marschner (۱۹۹۵) عقیده دارد که عکس العمل قسمت های زایشی گندم به کاربرد مس در مقایسه با رشد رویشی بیشتر است. Reith (۱۹۶۸) ملاحظه کرد که تأثیر مصرف مس، بر افزایش عملکرد دانه جو دو سر بیشتر از مقدار کاه و کلش بوده است. Dwivedi و Shanker (۱۹۷۶) با کاربرد ۵ کیلوگرم مس در هکتار، درصد افزایش عملکرد دانه و کاه را به ترتیب ۱۹/۶ و ۱۶/۶ گزارش کردند.

تأثیر مثبت مصرف مس بر افزایش غلظت و جذب مس در شاخسار، دانه و کاه و کلش برنج توسط دیگران نیز گزارش شده است (Agrawal و Gupta، ۱۹۹۴؛ Patra و همکاران، ۱۹۸۲؛ Gangwar و همکاران، ۱۹۸۹). Patra و همکاران (۱۹۸۲) و Gangwar (۱۹۸۹) نشان دادند که افزودن مس تا ۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک منجر به افزایش غلظت و جذب کل مس در برنج شده است. علی نژاد (۱۳۸۱) با افزودن ۲ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک به افزایش ۱۹ درصدی غلظت مس در برنج دست یافت. Choudhary و همکاران (۱۹۷۳) افزایش ۹۳/۲ درصدی را در جذب کل مس در اثر کاربرد ۸ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک مشاهده کردند. نتایج مشابهی توسط Kausar و همکاران (۱۹۷۶) و Agrawal و Gupta (۱۹۹۴) گزارش شده است.

طبق نتایج بدست آمده، کاربرد مس علاوه بر افزایش معنی دار عملکرد دانه، با افزایش معنی دار میانگین وزن هزار دانه و همینطور عملکرد بیولوژیک و درصد شاخص برداشت برنج نیز همراه بوده است. Nambiar (۱۹۷۶) و Krahmer و Podlesak (۱۹۸۵) نشان دادند که کاربرد مس سبب افزایش تعداد دانه در خوشه، تعداد خوشه و وزن هزار دانه شده است.

مصرف ۲/۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، منجر به کاهشی به ترتیب معادل ۶/۳۴، ۴/۱۹ و ۵/۳۶ درصد در غلظت آهن شاخسار، دانه و کاه و کلش گردیده است و همچنین غلظت منگنز در رشد رویشی (شاخسار) و زایشی (دانه و کاه و کلش) کاهشی برابر با ۵/۴۴ و ۹/۷۷ و ۸/۳۵ درصد را نشان می دهد. بدیهی است که روند

خاک محاسبه و مقایسه گردید (جدول ۴). میانگین ضریب C در این خاک ها برای عصاره گیر DTPA برابر ۰/۵۰ می باشد که بدین ترتیب حد بحرانی مس قابل استفاده خاک با ۸۰ درصد عملکرد نسبی برای عصاره گیر DTPA برابر ۱/۴۰ میکرو گرم در گرم خاک بود. ولی اگر عملکرد نسبی ۸۵ و ۹۰ درصد در نظر گرفته شود، تحت چنین شرایطی حد بحرانی مس به ترتیب برابر ۱/۶۵ و ۲ میکروگرم در گرم خواهد بود (شکل ۳).

تخمین حد بحرانی مس در گیاه

یکی دیگر از روشهای تعیین وضعیت عناصر غذایی در گیاه، محاسبه رابطه میان عملکرد نسبی با غلظت عنصر مورد نظر در گیاه می باشد. بدین ترتیب که با قراردادن تغییرات عملکرد نسبی دانه در محور Y و غلظت مس دانه در شاهد بر محور X حد بحرانی مس در گیاه محاسبه گردید (شکل ۴). با در نظر گرفتن ۹۰ درصد عملکرد نسبی دانه، حد بحرانی مس برنج در حدود ۵/۹۳ میکرو گرم در گرم ماده خشک می باشد. بنابراین می توان استنباط کرد که در غلظت های کمتر از این حد، افزودن کود به خاک می تواند موجب افزایش عملکرد گیاه شود و در بالاتر از آن، گیاه به کاربرد کود عکس عملی نشان نمی دهد.

تأثیر مس بر غلظت آهن، منگنز و روی در اندام های رویشی و زایشی برنج

تأثیر مس بر غلظت آهن، منگنز و روی در رشد رویشی و رشد زایشی برنج در جدول ۵ نشان داده شده است. همانطور که نتایج این جدول نشان می دهد، مصرف مس با کاهش غلظت آهن، منگنز و روی همراه بوده است.

بحث

همانطور که انتظار می رفت، با توجه به کمبود مس در خاک های آهکی غرقاب، کاربرد مس، منجر به افزایش معنی دار میانگین کلیه پاسخ های گیاهی (عملکرد، غلظت و جذب) در دو مرحله رشد رویشی و زایشی برنج گردید.

Singh و Nongkynrih (۲۰۰۰) نشان دادند که کاربرد ۱/۲۵ میلی گرم مس بر کیلوگرم خاک منجر به حداکثر مقدار وزن خشک شاخسار برنج شده است. افزایش وزن خشک شاخسار برنج با کاربرد مس توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (DeDatta و همکاران، ۱۹۸۷؛ Eun، ۱۹۸۱). در این تحقیق، تأثیر مثبت مس در عملکرد دانه بیشتر از وزن کاه و کلش و وزن خشک شاخسار است. بطوریکه مصرف مس منجر به افزایش ۴/۶۴، ۵/۶۲ و ۲۹/۵۷ درصد به ترتیب در میانگین وزن

دست یابی به ۸۵ درصد حداکثر عملکرد نسبی دانه برنج در مناطق مورد مطالعه، نباید میزان مس خاک کمتر از ۱ میکروگرم در گرم خاک باشد (شکل ۱). همچنین نتایج حاصل از روش ستونی نشان داد که برنج تا ۱ میکروگرم در گرم خاک به کاربرد کود مس از لحاظ افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد پاسخ معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داده است. و در کلیه خاک های مورد مطالعه با مقدار مس کمتر از حد بحرانی بدست آمده به روش های کیت و نلسون و ستونی (۱ میکروگرم در گرم خاک) به کاربرد کود پاسخ مثبت نشان داده اند. همچنین با استفاده از معادله میچرلیخ - بری نشان دادند که برای رسیدن به ۸۰٪ حداکثر عملکرد دانه برنج در این مناطق باید ۱/۴۰ میکروگرم مس در گرم خاک و در عمق مورد مطالعه وجود داشته باشد (شکل ۳). با توجه به اینکه در روش میچرلیخ - بری یکی از عوامل مهم تعیین کننده میزان حد بحرانی، دستیابی به مقدار عملکرد مورد نظر می باشد، لذا در این تحقیق با افزایش عملکرد مورد نظر از ۸۰ درصد به ۸۵ و ۹۰ درصد حداکثر عملکرد دانه، حد بحرانی مس در خاک نیز از ۱/۴۰ میکرو گرم در گرم به ترتیب به ۱/۶۵ و ۲ میکرو گرم در گرم خاک افزایش یافت. اگر چه در اغلب موارد به منظور توجیه اقتصادی حد بحرانی به دست آمده، عملکرد مورد انتظار را در حد مشخصی از حداکثر عملکرد ثابت نگه می دارند و معمولاً این حد بین ۹۰ تا ۹۵ درصد حداکثر عملکرد در نظر گرفته می شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

لذا پیشنهاد می شود که به منظور تخمین حد بحرانی مس خاک، خاکهایی بادامنه وسیعتر، بخصوص با مقدار مس کمتر از حدود بحرانی بدست آمده در این تحقیق استفاده شود و با توجه به حداکثر پاسخ کودی در خاک هایی با مقدار مس کمتر از ۱ میکروگرم در گرم خاک (طبق روش کیت و نلسون و ستونی) و همچنین با توجه به ضرورت اقتصادی کردن تولید، حد بحرانی مس در شرایط گلخانه ای خاک های آهکی استان فارس ۱ میکروگرم در گرم خاک انتخاب شد.

تغییرات غلظت روی در گیاه عیناً مشابه با آهن و منگنز است. Lidon و Henriques (۱۹۹۲) گزارش کردند که مصرف مس، منجر به کاهش غلظت آهن و روی در برنج گردید، که آن را معلول کاهش نفوذپذیری غشاء سلولی ریشه دانستند. Haldor و Mandal (۱۹۸۲) عقیده دارند که آهن، روی و منگنز در محلول خاک به حالت کمپلکس وجود دارند. بنابراین افزودن مس، سبب جایگزینی مس با عناصر مذکور شده که پیامد آن خارج شدن این عناصر از کمپلکس و در نتیجه جذب سطحی و یا رسوب آنها خواهد بود. Foy و همکاران (۱۹۷۸) عقیده دارند که علت بروز نشانه های کمبود آهن و روی در شرایط فراوانی مس، ناشی از جایگزینی مس در واکنش های بیوشیمیایی می باشد Bowen (۱۹۸۷) علت کاهش جذب روی در اثر کاربرد مس را وجود ناقل های یکسان در غشاء سلولی می داند. بسیاری از محققان معتقدند که تأثیر منفی مس در غلظت روی می تواند ناشی از اختلال در انتقال روی از ریشه به اندام هوایی گیاه و همچنین جلوگیری از جذب روی به محل های جذبی سطح ریشه باشد.

(Choudhary و همکاران، ۱۹۷۳؛ Choudhary و Lonergan، ۱۹۷۲؛ Larry و Schmid، ۱۹۶۷؛ Schmid و همکاران، ۱۹۶۵). زلفی و باوریانی (۱۳۷۷) مشاهده کردند که با افزودن ۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، غلظت روی در برنج ۷/۵۷ درصد کاهش یافته است. Choudhary و همکاران (۱۹۷۳) با کاربرد ۸ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، کاهش غلظت روی برنج را به میزان ۳۲ درصد گزارش نموده اند. اسدی کنگرشاهی (۱۳۷۶) نشان داد که با مصرف ۲ میکروگرم مس در گرم خاک، غلظت آهن، روی و منگنز برنج از ۱۲۴، ۲۵/۳ و ۳۰۲ در شاهد به ۱۱۸، ۲۳/۶ و ۲۶۹ کاهش یافته است که مشابه با نتایج Patra و همکاران (۱۹۸۲)، Gangwar و همکاران (۱۹۸۹) و (۱۹۸۸) و علی نژاد (۱۳۸۱) می باشد.

سپس با در نظر گرفتن ۹۰ درصد عملکرد نسبی دانه، حد بحرانی مس برنج در حدود ۵/۹۳ میکرو گرم در گرم ماده خشک بدست آمد. Borkert و همکاران (۱۹۹۸) و Singh و Nongkynrih (۲۰۰۰) تحت شرایط گلخانه ای، غلظت بحرانی مس در شاخسار برنج را به ترتیب ۶ و ۷ میکروگرم در گرم ماده خشک گیاهی گزارش کردند.

همانطور که اشاره گردید، حد بحرانی مس در خاک و گیاه فقط با در نظر گرفتن عملکرد نسبی دانه در مقادیر مختلف غلظت مس در خاک و گیاه بدست آمد که می توان آن را معلول پاسخ بیشتر دانه به کاربرد مس نسبت داد که بالتبع منجر به پراکندگی بیشتر نقاط گردید. با توجه به حد بحرانی مس خاک به روش کیت و نلسون، برای

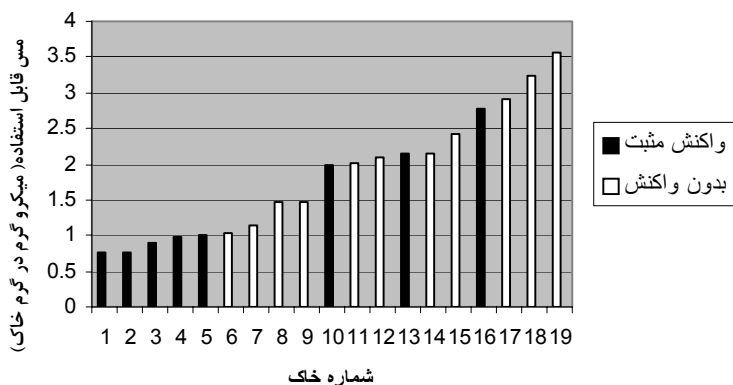
جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

شماره خاک	مس قابل استفاده (میکروگرم در گرم خاک)	تجزیه مکانیکی (درصد)		pH	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار در کیلوگرم)	ماده آلی (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربنات کلسیم معادل (درصد)
		سیلت	رس					
۱	۱/۴۸	۳۸/۷۲	۲۰/۰۴	۸/۰۳	۱۲/۹۰	۲/۱۵	۰/۲۱	۴۷/۰۰
۲	۱/۴۸	۱۲/۷۲	۲۲/۰۴	۸/۱۲	۱۲/۲۰	۱/۹۷	۰/۱۵	۴۳/۲۵
۳	۰/۷۶	۳۰/۷۲	۱۴/۰۴	۸/۱۱	۱۰/۲۰	۱/۷۰	۰/۲۳	۵۷/۵۰
۴	۰/۷۷	۱۸/۷۲	۱۴/۰۴	۸/۱۰	۹/۶۰	۰/۴۸	۰/۵۳	۵۲/۷۵
۵	۲/۹۲	۳۲/۷۲	۴۰/۰۴	۷/۸۰	۲۴/۶۰	۳/۷۸	۰/۶۲	۴۸/۵۰
۶	۲/۱۴	۶۰/۷۲	۲۰/۰۴	۷/۸۹	۲۲/۰۰	۲/۳۸	۱/۷۴	۳۷/۱۳
۷	۱/۰۰	۳۴/۷۲	۳۲/۰۴	۸/۰۳	۱۰/۲۰	۱/۲۱	۱/۰۰	۵۶/۲۵
۸	۲/۰۰	۱۴/۷۲	۴۸/۰۴	۷/۸۵	۱۵/۷۰	۱/۶۳	۰/۴۲	۴۳/۷۵
۹	۳/۵۶	۴۲/۷۲	۳۸/۰۴	۸/۱۳	۱۸/۰۰	۲/۰۴	۰/۷۱	۴۱/۵۰
۱۰	۲/۴۱	۴۲/۷۲	۳۲/۰۴	۷/۷۴	۱۶/۵۰	۲/۷۶	۰/۴۱	۴۴/۰۰
۱۱	۳/۳۴	۳۸/۷۲	۴۰/۰۴	۷/۸۳	۱۳/۶۰	۲/۷۲	۰/۸۷	۳۸/۲۵
۱۲	۰/۹۱	۲۰/۷۲	۵۱/۳۲	۸/۱۳	۱۰/۹۰	۱/۰۹	۰/۲۲	۵۲/۸۸
۱۳	۲/۱۴	۵۶/۷۲	۲۷/۳۲	۸/۶۴	۲۳/۷۰	۱/۲۶	۰/۹۵	۳۸/۸۸
۱۴	۲/۷۸	۴۶/۷۲	۱۷/۳۲	۷/۷۵	۱۲/۲۰	۱/۹۷	۰/۸۴	۵۷/۰۰
۱۵	۱/۰۳	۴۴/۷۲	۱۳/۳۲	۷/۷۴	۱۰/۹۰	۱/۵۷	۰/۸۷	۶۲/۷۵
۱۶	۱/۱۴	۲/۷۲	۳۷/۳۲	۸/۰۰	۷/۸۰	۰/۱۰	۰/۵۴	۵۲/۲۵
۱۷	۲/۰۲	۶۲/۷۲	۱۳/۳۲	۷/۷۷	۱۰/۸۸	۱/۴۳	۰/۴۲	۵۹/۷۵
۱۸	۰/۹۹	۲۴/۷۲	۳۳/۳۲	۷/۹۱	۸/۴۰	۱/۳۳	۰/۷۹	۵۷/۸۸
۱۹	۲/۱۰	۳۲/۷۲	۴۵/۳۲	۷/۷۴	۱۵/۷۰	۰/۷۸	۰/۴۲	۳۹/۱۳
دامنه	تا	تا	تا	تا	تا	تا	تا	تا
	۳/۵۶	۶۲/۷۲	۵۱/۳۲	۸/۶۴	۲۴/۶۰	۳/۷۸	۱/۷۴	۶۲/۷۵

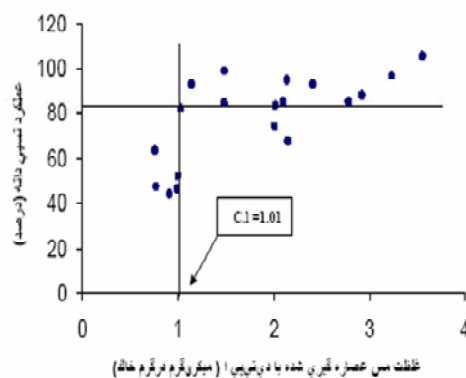
جدول ۲- تأثیر مصرف مس بر عملکرد، غلظت و جذب کل مس در قسمت های مختلف گیاه

جذب کل مس میکروگرم در گلدان		غلظت مس میکروگرم در گرم		عملکرد گرم در گلدان		
سطوح مس (میکروگرم در گرم)		سطوح مس (میکروگرم در گرم)		سطوح مس (میکروگرم در گرم)		
۲/۵	۰	۲/۵	۰	۲/۵	۰	
۷۸/۶***	۶۳/۹	۸/۸۸***	۷/۳۰	۹/۲۵**	۸/۸۴	شاخسار
۲۸/۵۵***	۱۷/۴۹	۶/۵۵***	۵/۱۸	۴/۴۷***	۳/۴۵	دانه
۱۳۷/۵۴***	۱۰۵/۱۲	۴/۹۰***	۳/۹۸	۲۸/۰۱***	۵۲/۲۶	کاه و کلش

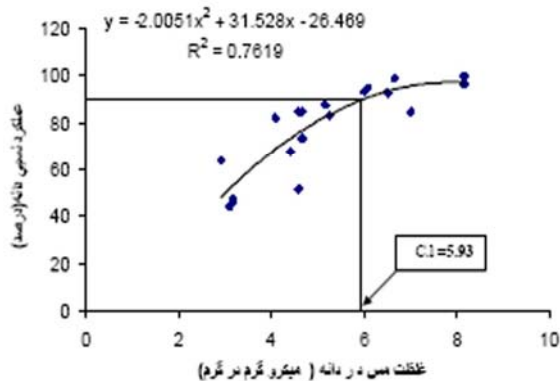
** و *** به ترتیب در سطح یک و یک دهم درصد معنی دار است.



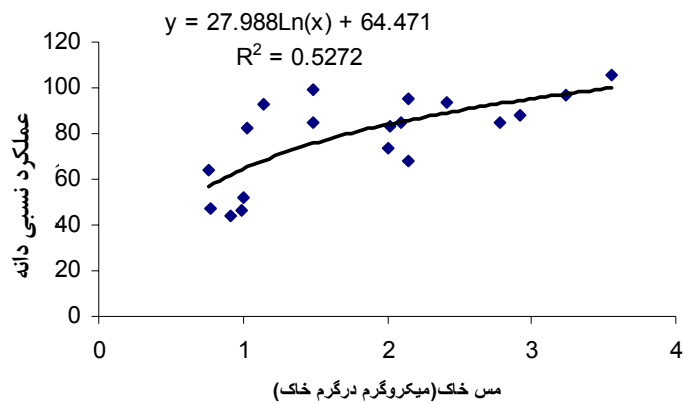
شکل ۲- تعیین حد بحرانی مس به روش ستونی (چشمی)



شکل ۱- تعیین حد بحرانی مس به روش تصویری کیت و نلسون



شکل ۴- عملکرد نسبی دانه برنج و غلظت مس در دانه



شکل ۳- تعیین حد بحرانی مس به روش میجرلیخ و بری

جدول ۳- تأثیر مس بر وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

شاخص برداشت (درصد)	عملکرد بیولوژیک (گرم در گلدان)	وزن هزار دانه (گرم در گلدان)	سطوح مس (میکروگرم در گرم)
۱۲	۳۰	۱۴/۴	۰
۱۴/۴***	۳۲/۵***	۱۵/۶***	۲/۵

*** در سطح یک دهم درصد معنی دار است.

جدول ۴- تأثیر مس بر عملکرد، غلظت و جذب کل مس دانه (هر عدد میانگین سه تکرار است)

ضریب متغییر میچرلیخ	جذب کل (میکروگرم در گلدان)		غلظت (میکروگرم در گرم)		عملکرد نسبی (درصد)		عملکرد دانه (گرم در گلدان)		میانگین
	سطوح مس		سطوح مس		سطوح مس		سطوح مس		
	۲/۵	.	۲/۵	.	۲/۵	.	۲/۵	.	
C ₁									
۱/۳۵	۳۱/۵۹a	۲۶/۳۹b	۷/۹۲A	۶/۶۷b	۹۹	۴/۰۰a	۳/۹۶a*	۱	
۰/۵۵	۴۰/۵۶a	۳۰/۳۲b	۸/۰۰A	۷/۰۰b	۸۴/۹۱	۵/۱۰a	۴/۳۳a	۲	
۰/۵۸	۳۹/۱۵a	۱۷/۲۱b	۳/۲۵A	۲/۹۲a	۶۴/۰۲	۴/۶۱a	۲/۹۵b	۳	
۰/۳۶	۲۱/۱۲a	۷/۱۶b	۴/۳۳A	۳/۱۷b	۴۷/۳۵	۴/۹۱a	۲/۳۳b	۴	
۰/۳۱	۲۹/۳۴a	۱۸/۱۰b	۷/۳۳A	۵/۱۷b	۸۷/۹۳	۴/۰۰a	۳/۵۲a	۵	
۰/۲۳	۲۸/۷۹a	۱۳/۴۵b	۶/۴۲A	۴/۴۲b	۶۸/۰۳	۴/۴۷a	۳/۰۴b	۶	
۰/۳۲	۲۲/۶۸a	۱۰/۵۵b	۵/۰۸A	۴/۵۸a	۵۲/۱	۴/۴۵a	۲/۳۲b	۷	
۰/۲۹	۲۰/۷۳a	۱۱/۸۵b	۶/۰۰A	۴/۶۷b	۷۳/۹۲	۳/۴۸a	۲/۵۷b	۸	
-	۴۷/۱۳a	۱۶/۴۱b	۹/۳۳A	۸/۱۷b	۱۰۵/۳۲	۵/۰۷a	۵/۳۴a	۹	
۰/۴۹	۱۶/۳۶a	۱۳/۵۱a	۸/۵A	۶/۰۰b	۹۳/۴۷	۵/۰۰a	۴/۶۷a	۱۰	
۰/۴۶	۳۲/۲۶a	۲۶/۰۶b	۹/۷۵A	۸/۱۷b	۹۶/۶۹	۳/۳۲a	۳/۲۱a	۱۱	
۰/۲۸	۲۳/۲۴a	۱۷/۹۲b	۴/۶۷A	۳/۰۸b	۴۴/۱۳	۵/۰۰a	۲/۲۱b	۱۲	
۰/۶۲	۱۹/۹۱a	۱۴/۵۷b	۷/۹۶A	۶/۰۹b	۹۵/۳۲	۲/۴۹a	۲/۳۸a	۱۳	
۰/۳۰	۳۷/۱۷a	۲۷/۷۳b	۵/۲۵A	۴/۵۸a	۸۵/۰۷	۷/۱۲a	۶/۰۵b	۱۴	
۰/۷۳	۱۸/۷۱a	۱۱/۹۶b	۵/۲۵A	۴/۰۸b	۸۲/۴	۳/۵۶a	۲/۹۳a	۱۵	
۱/۰۲	۳۲/۵۳a	۲۴/۰۳b	۸/۱۷A	۶/۵۰b	۹۳/۰۸	۴/۰۰a	۳/۷۲a	۱۶	
۰/۳۹	۲۹/۵۰a	۱۷/۴۵b	۷/۴۲A	۵/۲۵b	۸۳/۴۳	۳/۹۸a	۳/۳۲a	۱۷	
۰/۲۷	۲۴/۹۱a	۷/۹۴b	۴/۵۸A	۳/۱۷b	۴۶/۳۲	۵/۳۹a	۲/۵۰b	۱۸	
۰/۳۹	۲۶/۶۷a	۱۹/۷۰b	۵/۳۳a	۴/۶۷a	۸۵/۰۷	۵/۰۰a	۴/۲۵a	۱۹	
-	۲۸/۵۵ A	۱۷/۴۹ B	۶/۵۵ A	۵/۱۸ B	-	۴/۴۷ A	۳/۴۵ B		

* برای هر پارامتر رشد، میانگین‌هایی که در هر ردیف در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک می‌باشند طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۵- تأثیر مس بر غلظت آهن، منگنز و روی در برنج

کاه و کلش			دانه			شاخسار			سطوح مس
Zn	Mn	Fe	Zn	Mn	Fe	Zn	Mn	Fe	(میکروگرم در گرم)
(میکروگرم در گرم)			(میکروگرم در گرم)			(میکروگرم در گرم)			
۲۷/۳	۴۷۹	۳۳/۶	۳۷/۱	۴۸/۱	۱۹/۱	۵۹/۵	۴۷۸	۸۵/۳	.
۲۳/۷	۴۳۹	۳۱/۸	۳۵/۳	۴۳/۴	۱۸/۳	۵۲/۵	۴۵۲	۷۹/۹	۲/۵

فهرست منابع:

۱. اسدی کنگر شاهی، ص. ۱۳۷۶. برهمکنش مس و ماده آلی در خاک های غرقابی و غیرغرقابی و تأثیر آن در رشد گیاه. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. امام، ی. ۱۳۸۲. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز. ص ۹۷.
۳. زلفی باورینی، م. ۱۳۷۷. تأثیر ازت، روی و مس بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج و ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۴. علی نژاد، ز. ۱۳۸۱. تأثیر شوری و مس بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم برنج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بخش خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
۵. کردوانی، پ. ۱۳۶۸. جغرافیای خاک‌ها. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۳۵۷-۲۵۷
۶. ملکوتی، م. ج.، ن.ع. کریمیان و پ. کشاورز. ۱۳۸۴. روش جامع تشخیص و مصرف بهینه کود های شیمیایی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ص ۲۰۱.
7. Agrawal, H. P., and M. L. Gupta. 1994. Effect of copper and zinc on copper nutrition to rice. *Annals Agric. Res.* 15:162-166.
8. Allison, L. E., and C. D. Moodie. 1965. Carbonate . p.1379 – 1396. In C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. part 2*, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
9. Borkert, C. M., F. R. Cox, and M. R. Tucker. 1998. Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice, and corn in soil mixtures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:2991-3005.
10. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method improvement for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54 : 464- 465 .
11. Bowen, J. E. 1987. Physiology of genotypic differences in zinc and copper uptake in rice and tomato. *Plant Soil* 99: 115-125.
12. Cate, R. B., Jr., and L. A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:658-660.
13. Chapman, H. D. 1965. Cation-exchange capacity. p. 891-901. In C. A. Black. et al.(ed.) *Methods of soil analysis. part 2*, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
14. Choudhary, F. M., and J. F. Loneragan. 1972. Zinc absorption by wheat seedling: II. Inhibition by hydrogen ions and by micronutrient cations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:327-331.
15. Choudhary, F. M., M. Sharif, and A. Latif. 1973. Zinc- copper antagonism in the nutrition of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil* 38: 573-580.
16. DeDatta, S. K., , W. N. Obcemea, R. Y. Chen, J. C. Calabio, and R. C. Evangelista. 1987. Effect of water depth on nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balance in lowland rice. *Agron. J.* 79:210-216.
17. Dwivedi, K. N., and H. Shanker. 1976. Copper and zinc status of Bundelkhand soils. *Indian J. Agric. Res.* 10:43-47.
18. Eun, M. Y. 1981. Influence of flooding, soil pH and zinc on growth and chemical composition of rice plant. *Diss. Abs. International B.* 41:39-71.
19. FAO. 2001. *Production Yearbook*. Rome, Italy.
20. Foy, C. D., R. L. Chaney, and M. C. White. 1978. The physiology of metals toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 511-566.
21. Gangwar, M. R., M. S. Gangwar, and P. C. Srivastava. 1988. Effect of Zn - Cu interaction on growth parameters and grain yield of rice. *Oryza* 25:409-412.
22. Gangwar, M. R., M. S. Gangwar, and P. C. Srivastava. 1989. Effect of Zn and Cu on growth and nutrition of rice. *Int. Rice Res. Newslet.* 14:30-35.
23. Haldor, M., and L. N. Mandal. 1982. Cu-Mn interaction and the availability of Zn, Cu, Fe, Mn, and P in waterlogged rice soils. *Plant Soil* 69: 131-134.
24. Kausar, M. A., F. M. Chaudhry, A. Rashid, A. Latif, and S. M. Alam. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. I. Comparative Zn and Cu deficiency and their mutual interaction in rice and wheat. *Plant Soil* 45:397-410.
25. Krahmer, R., and W. Podlesak. 1985. Studies on the copper nutrition of cereals. *Tagungsbericht* 237:129-132.
26. Larry, R. H., and W. E. Schmid. 1967. Uptake and translocation of zinc by intact plants. *Plant Soil* 27: 249-260.

27. Lidon, F. C., and F. S. Henriques. 1992. Effects of increasing concentrations of Cu on metal uptake kinetics and biomass yields. *Soil Sci.* 154: 44-49.
28. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
29. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2 nd ed., Academic Press. NY., p.890.
30. Nambiar, E. K. S. 1976. Genetic differences in the copper nutrition of cereals. I. Differential responses of genotypes to copper. *Aust. J. Agric. Res.* 27:453-463.
31. Patra, D., M. Haldar, and L. N. Mandal. 1982. Effect of P, Cu and Zn application on the growth and Zn, Cu, Fe, Mn and P nutrition of rice in waterlogged soil. *Indian Agric.* 26:229-235.
32. Peech, M. 1965. Hydrogen ion activity. p. 922-923. In C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis . part2*, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
33. Ponnampereuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24: 29-96.
34. Reith, J. W. S. 1968. Copper deficiency in crops in north- east Scotland. *J. Agric. Sci., Camb.* 70: 39-45.
35. Schmid, W. E., H. P. Haag, and E. Epstein. 1965. Absorption of zinc by excised roots. *Physiol. Plant.* 18: 860-869.
36. Singh, A. K., and P. Nongkynrih. 2000. Critical limit of copper for predicting response of rice to copper application on wetland rice soils of Meghalaya. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 48:406-408.
37. Tisdale, S. L., W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizer*. 4 th ed., Collier McMillan. NY. P. 62-66, 386-387.
38. Walkley, A., and I. A. Black. 1934. An examination of the Deglijareff method for determining soil organic matter as a proposed modification of the chromic acid titration method *Soil Sci .* 37:29-38.