

رشد و عدم تعادل عناصر غذایی در ذرت علوفه ای در اثر کاربرد مس و منگنز در یک خاک آهکی

زهرا حاتم^{۱*} و عبدالمجید رونقی

دانشجوی اسبق کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی بخش علوم خاک؛ Hatam_Za@yahoo.com

استاد دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش علوم خاک؛ mronaghi@lycos.com

چکیده

گزارش هایی مبنی بر کمبود مس و منگنز در خاک های آهکی ایران در دست است. این کمبودها می تواند به دلیل پ هاش بالا و یا عدم تعادل میان مس و منگنز با سایر عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم، آهن و روی در خاک های آهکی باشد. به منظور آگاهی از اثر مس، منگنز و بر همکنش آنها بر رشد و عدم توازن بین عناصر غذایی در ذرت علوفه ای (*Zea mays L.*) آزمایشی به صورت فاکتوریل ۴×۴ در شرایط گلخانه ای در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در یک خاک آهکی با بافت لوم رسی (fine, mixed (calcareous,) mesic Typic) انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح مس (صفر، ۲/۵، ۵، و ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم از منبع Calcixerepts و چهار سطح منگنز (صفر، ۱۰، ۲۰، و ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم از منبع $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) در سه تکرار بود. نتایج نشان داد که کاربرد منگنز سبب افزایش معنی دار وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت شد. اما کاربرد مس در بالاترین سطح سبب کاهش معنی دار وزن ماده خشک گیاه شد و در سایر سطوح اختلاف معنی داری با گیاه شاهد نداشت. دلیل کاهش عملکرد ماده خشک ذرت می تواند اثر ضدیتی مس با آهن و همچنین نا مناسب بودن نسبت های مس به منگنز، مس به آهن و مس به منگنز + آهن + روی باشد. کاربرد مس سبب افزایش معنی دار غلظت و جذب مس در گیاه شد، اما اثری بر غلظت و جذب منگنز نداشت. افزودن منگنز غلظت مس را کاهش ولی جذب آن را توسط گیاه افزایش داد. کاربرد منگنز سبب افزایش غلظت و جذب منگنز در ذرت شد. غلظت و جذب آهن با کاربرد مس در ذرت کاهش یافت. منگنز غلظت آهن را کاهش ولی جذب آن را به وسیله گیاه افزایش داد. افزودن مس و منگنز اثری بر غلظت روی در ذرت نداشت ولی کاربرد منگنز سبب افزایش جذب روی به وسیله گیاه شد. مصرف مس و منگنز اثری بر نسبت ریشه به اندام هوایی ذرت نداشت. حداکثر عملکرد ماده خشک با کاربرد ۵ یا ۱۰ میلی گرم مس در کیلوگرم و ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز در کیلوگرم خاک به دست آمد. گستره بسندگی برای مس در گستره ۶ تا ۷ میکروگرم و برای منگنز در گستره ۵۰ تا ۵۵ میکروگرم در گرم ماده خشک بود. قبل از هر توصیه کودی، نتایج این پژوهش بایستی در شرایط مزرعه نیز تأیید شود.

واژه های کلیدی: مس، منگنز، ذرت علوفه ای، خاک آهکی

^۱ نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، دانشگاه شیراز، کد پستی، ۷۱۷۵۷۵۵۸۴

* دریافت: تیر ۱۳۸۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۰

مقدمه

مس و منگنز از عناصر ضروری کم مصرف گیاهان عالی می باشند (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹). غلظت کل مس در خاک ها متفاوت است ولی به طور میانگین از ۲ تا ۲۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک های مختلف وجود دارد. غلظت بحرانی مس با دی تی پی ۱ در خاک های ایران برای اکثر محصولات زراعی حدود ۱ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. حد بحرانی مس در برگ ذرت حدود ۱۰ میکروگرم در گرم گزارش شده است. گستره بسندگی مس در برگ ذرت ۱۰ تا ۲۰ میکروگرم و در دانه ذرت در حدود ۳ تا ۵ میکروگرم در گرم می باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). فعالیت یون مس با افزایش پ هاش و کربنات کلسیم کاهش می یابد (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹). به طور میانگین غلظت کل منگنز در خاک های زراعی بین ۲۰ تا ۳۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک است. غلظت بحرانی منگنز با دی تی پی ۱ در خاک های ایران برای اکثر محصولات زراعی حدود ۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). حد بحرانی منگنز در برگ ذرت حدود ۳۰ میکروگرم در گرم است. گستره بسندگی منگنز در برگ ذرت ۵۰ تا ۱۰۰ میکروگرم و در دانه در حدود ۲۵ تا ۳۰ میکروگرم در گرم می باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). قابلیت دسترسی منگنز برای گیاه می تواند در پ هاش بالا و مقادیر زیاد کربنات کلسیم محدود شود (هیتولت و همکاران، ۲۰۰۲). علاوه بر بالا بودن پ هاش خاک، حضور عناصری مانند آهن، کلسیم و منیزیم در غلظت های بالا، با وجود غلظت های کافی مس و منگنز، می تواند منجر به کمبود این عناصر در گیاه شود (هاولین و همکاران، ۱۹۹۹). از آنجا که غلظت عناصر غذایی در اندام های گیاهی با سن فیزیولوژیکی تغییر می کند، مناسب ترین محل نمونه برداری از ذرت، برگ روبروی بلال و بهترین زمان نمونه برداری هنگام تشکیل گل آذین است. هالدر و مانال (۱۹۸۲) گزارش کردند که کاربرد منگنز سبب کاهش غلظت مس، آهن و فسفر در برنج شد، ولی غلظت روی در گیاه را افزایش داد. والاس (۱۹۸۲) بیان کرد که غلظت های زیاد کادمیم سبب کاهش غلظت مس در لوبیا شد. جارویس و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که سطوح بالای مس و منگنز، غلظت آهن و کادمیم را در چاودار کاهش داد. لویز و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که افزایش غلظت روی محلول در خاک منجر به افزایش غلظت منگنز در برگ و ریشه گیاه شد. قاسمی فسایی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کاربرد آهن به صورت برگپاشی، غلظت مس و منگنز را در نخود فرنگی کاهش داد. نیرمالا

و چیتراکها (۲۰۰۲) نشان دادند که در حضور گوگرد و سطوح بالای مولیبدن کمبود مس در گیاه اتفاق می افتد که دلیل آن تشکیل کمپلکس مس-مولیبدن-گوگرد در خاک می باشد. نتایج اندکی درباره اثر برهمکنش مس و منگنز در ذرت علوفه ای گزارش شده است. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی گلخانه ای اثر مس، منگنز و برهمکنش آنها بر رشد، غلظت و جذب برخی عناصر غذایی ضروری در ذرت علوفه ای در یک خاک آهکی اجرا گردید.

مواد و روشها

مقدار کافی خاک از افق سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی متری) از سری دانشکده واقع در ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، جمع آوری شد. نام علمی خاک در سیستم جدید طبقه بندی (fine, mixed (calcareous, mesic Typic Calcixerepts می باشد (Soil Survey Staff, ۱۹۹۸). پس از هوا خشک کردن خاک و عبور از الک دو میلی متری برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر، ۱۹۸۶)، ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک و سپس تیتره کردن با فرو آمونیوم سولفات (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶)، پ هاش خاک در خمیر اشباع به وسیله الکتروود شیشه ای (توماس، ۱۹۹۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی (رودز، ۱۹۹۶)، نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر، ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (لوپرت و سارز، ۱۹۹۶)، فسفر قابل استفاده به وسیله عصاره گیر بی کربنات سدیم (واناتاب و اولسن، ۱۹۶۵) و غلظت آهن، منگنز، مس و روی عصاره گیری شده با دی تی پی. ا (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) با دستگاه جذب اتمی تعیین شد (جدول ۱).

سه کیلوگرم خاک در گلدان های پلاستیکی ریخته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک و به منظور جلوگیری از کمبود احتمالی ۱۰ میلی گرم آهن به صورت $CaHPO_4 \cdot 5H_2O$ ، ۱۰ میلی گرم فسفر به صورت $CaHPO_4 \cdot 5H_2O$ ، ۸۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک به صورت اوره در دو قسط مساوی (قبل از کاشت و چهار هفته پس از جوانه زنی) به طور یکنواخت به همه گلدان ها افزوده شد. تیمارها شامل چهار سطح مس (صفر، ۲/۵، ۵، و ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم از منبع $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) و چهار سطح منگنز (صفر، ۱۰، ۲۰، و ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم از منبع $4H_2O$. $MnSO_4$) بود. شش عدد بذر ذرت علوفه ای (رقم ۷۰۴) در عمق حدود دو سانتی متری کاشته و یک هفته بعد از جوانه زنی تعداد نهال ها به سه عدد کاهش داده شد. در

طول مدت آزمایش، رطوبت خاک با آب مقطر و با روش توزین در حدود ظرفیت مزرعه حفظ شد. دو ماه پس از کاشت، اندام‌های هوایی از نزدیکی محل طوقه قطع و ریشه‌ها نیز از خاک جدا شدند. نمونه‌های گیاهی بعد از شستشو با آب مقطر، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون ثابت شدن وزن، خشک شدند. سپس آسیاب و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تبدیل به خاکستر شدند. غلظت مس، منگنز، آهن و روی در گیاه به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل عناصر غذایی ضروری به عنوان پاسخ‌های گیاهی در نظر گرفته شدند. داده‌های به دست آمده، با استفاده از نرم افزار آماری MSTATC با آزمون F مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و میانگین مربوط به اثر هر یک از تیمارها به صورت جداگانه محاسبه و با آزمون دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کاربرد مس تنها در بالاترین سطح سبب کاهش معنی دار وزن ذرت به میزان ۱۴ درصد نسبت به گیاه شاهد شد و در سایر سطوح اختلاف معنی داری با گیاه شاهد مشاهده نشد (جدول ۲). حد بحرانی مس قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی ۱ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷) که با توجه به سطح مس در خاک مورد آزمایش (۱/۳۸ میلی گرم در کیلوگرم) عدم پاسخ گیاه به افزودن مس دور از انتظار نبود. هم‌چنین این امر می‌تواند به دلیل اثر ضدیتی مس با منگنز و نیز بر هم خوردن تعادل عناصر در گیاه باشد (جدول‌های ۳، ۵ و ۶). به طور مثال با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز میانگین غلظت مس در اندام هوایی ذرت به ترتیب به میزان ۱۸ و ۱۷/۷ در صد نسبت به گیاه شاهد کاهش یافت که این امر بیانگر اثر ضدیتی منگنز با مس در ذرت علوفه‌ای می‌باشد (جدول ۳). علی‌نژاد (۱۳۸۱) گزارش کرد کاربرد ۲ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک تأثیری بر وزن ماده خشک هوایی برنج نداشت، اما رشد گیاه با مصرف بیشتر مس کاهش یافت. وی علت را بر هم خوردن تعادل میان عناصر غذایی بیان کرد. با افزایش سطوح منگنز، وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت نسبت به گیاه شاهد به طور معنی داری افزایش یافت، هر چند بین سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز اختلاف معنی داری وجود ندارد (جدول ۲). با کاربرد ۱۰ و ۲۰ میلی گرم منگنز وزن ماده خشک به ترتیب ۱۸ و ۴۶ در صد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. غلظت اولیه منگنز در خاک مورد آزمایش (۶/۳ میلی گرم در کیلوگرم) از حد بحرانی (۵ میلی گرم در کیلوگرم) (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷) بیشتر بود، اما افزودن منگنز به خاک سبب افزایش

رشد ذرت شد، که این امر بیانگر این مطلب است که حد بحرانی منگنز در خاک آهکی برای ذرت علوفه‌ای نیاز به مطالعه و پژوهش بیشتری دارد. در حالی که غفاری نژاد و کریمیان (۱۳۷۷) حد بحرانی منگنز قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی ۱ در خاک‌های آهکی استان فارس را، ۱۳ میلی گرم در کیلوگرم خاک به دست آوردند. قاسمی فسایی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کاربرد منگنز اثر معنی داری بر میانگین وزن ماده خشک اندام هوایی نخود فرنگی نداشت. کاربرد مس تنها در بالاترین سطح سبب افزایش معنی دار غلظت مس در اندام هوایی ذرت علوفه‌ای در مقایسه با گیاه شاهد شد (جدول ۳). این افزایش معادل ۲۳ در صد بود. کاربرد مس اثری بر جذب مس توسط ذرت نداشت (جدول ۴). اما کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز سبب افزایش جذب مس توسط گیاه شد که علت این امر افزایش وزن ماده خشک ذرت به دنبال کاربرد منگنز در خاک می‌باشد (جدول ۲). کاربرد مس اثر معنی داری بر غلظت منگنز در اندام هوایی ذرت نداشت، اما کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز، غلظت منگنز ذرت به ترتیب به میزان ۲۳ و ۲۲ درصد نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد مس تأثیری بر جذب منگنز نداشت، اما با افزایش سطوح منگنز جذب منگنز توسط ذرت نسبت به گیاه شاهد به طور معنی داری افزایش یافت، هر چند اختلاف معنی داری بین سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز مشاهده نشد (جدول ۴). علت این امر افزایش غلظت منگنز و نیز وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت بود. با کاربرد ۵ و ۱۰ میلی گرم مس غلظت آهن در ذرت به ترتیب به میزان ۱۵/۶ و ۱۶/۴ در صد نسبت به گیاه شاهد کاهش یافت. هم‌چنین با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز غلظت آهن گیاه به میزان ۱۸ در صد نسبت به گیاه شاهد کاهش یافت. این نتایج بیانگر اثر ضدیتی مس و منگنز با آهن در ذرت می‌باشد (جدول ۳). رومی زاده و کریمیان (۱۹۹۶) نشان دادند با کاربرد آهن در یک خاک آهکی غلظت منگنز در سویا به طور معنی داری کاهش یافت که بیانگر اثر ضدیتی آهن و منگنز در گیاه می‌باشد. قاسمی فسایی و رونقی (۲۰۰۸) گزارش کردند که با کاربرد آهن، عملکرد سویا افزایش پیدا نکرد. آنان علت را کاهش غلظت منگنز و افزایش نسبت آهن به منگنز بیان کردند. آنان برای توصیه کود آهن پیشنهاد کردند که در آزمون خاک علاوه بر اندازه‌گیری غلظت آهن، غلظت منگنز نیز اندازه‌گیری و ارزیابی شود. کاربرد مس به دلیل ایجاد کاهش در وزن ماده خشک و غلظت آهن اندام هوایی ذرت سبب کاهش معنی دار جذب آهن در مقایسه با گیاه شاهد شد، هر چند اختلاف معنی داری در بین سطوح

کاربرد ۰/۱۶ تا ۰/۲۳ بود. کاربرد ۵ و ۱۰ میلی گرم مس سبب افزایش نسبت معنی دار مس به (منگنز + آهن + روی) به میزان ۲۰ در صد شد. از طرفی با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز این نسبت به میزان ۱۶/۷ در صد نسبت به گیاه شاهد کاهش یافت (جدول ۶). بنابراین می توان نتیجه گرفت که بر هم خوردن تعادل میان نسبت های مس به منگنز، مس به آهن و مس به (منگنز + آهن + روی) ممکن است یکی از دلایل کاهش وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت در بالاترین سطح کاربردی مس باشد. با کاربرد ۲۰ و ۴۰

میلی گرم منگنز نسبت منگنز به مس به ترتیب به میزان ۴۷/۳ و ۴۶/۳ درصد نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت. با کاربرد مس در تمام سطوح، نسبت منگنز به مس نسبت به گیاه شاهد اختلاف معنی داری نداشت. کاربرد منگنز و مس در تمام سطوح سبب افزایش معنی دار نسبت منگنز به آهن در ذرت علوفه ای شد (جدول ۶). بیشترین میزان عملکرد ذرت علوفه ای هنگامی به دست آمد که نسبت منگنز به مس در گستره ۷/۲۹ تا ۹/۳۸ و در مورد منگنز به آهن ۰/۹۸ تا ۱/۴۹ بود. افزودن ۵ و ۱۰ میلی گرم مس، نسبت منگنز به روی ۱۷/۹ و ۱۹/۹ درصد نسبت به گیاه شاهد کاهش یافت (جدول ۶). از طرفی با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز نسبت منگنز به روی به طور معنی داری در مقایسه با گیاه شاهد افزایش نشان داد. بیشترین میزان عملکرد ذرت علوفه ای هنگامی به دست آمد که نسبت منگنز به روی در گستره ۱/۴۱ تا ۱/۷۹ بود. افزودن مس تأثیر معنی داری بر نسبت منگنز به (آهن + روی + مس) نداشت. اما با افزودن ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز این نسبت به ترتیب به میزان ۴۴/۴ و ۴۰ در صد نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت (جدول ۶). بنابر نتایج به دست آمده، کاربرد مس و منگنز سبب ایجاد تغییر در نسبت های منگنز به مس، منگنز به آهن و منگنز به روی شده است که می تواند از دلایل کاهش وزن ماده خشک ذرت به ویژه در بالاترین سطح کاربردی مس باشد. قاسمی فسایی و رونقی (۲۰۰۷) گزارش کردند که دلیل عدم افزایش وزن ماده خشک اندام هوایی گندم عدم تعادل نسبت های آهن به (منگنز + روی + مس) و نیز اثر ضدیتی آهن با منگنز، یا روی و مس بود. کاربرد مس و منگنز تأثیر معنی داری بر نسبت ریشه به اندام هوایی ذرت نداشت (جدول ۷).

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که کاربرد منگنز سبب افزایش معنی دار وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت علوفه ای شد. هر چند که در خاک مورد آزمایش غلظت اولیه منگنز (۶/۳ میلی گرم در کیلوگرم) در خاک مورد آزمایش از حد

کاربردی مشاهده نشد (جدول ۴). با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز، جذب آهن توسط ذرت به ترتیب به میزان ۲۳ و ۲۹ در صد نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت (جدول ۴) که دلیل آن افزایش وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت به دنبال کاربرد منگنز بود (جدول ۲). برنل و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند مس و آهن در جذب توسط سویا با هم رقابت می کنند. پاتسیکا و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کردند که کاربرد بیش از ۵ میلی گرم مس در کیلوگرم در محیط آبکشتی، کمبود آهن در گیاه برنج را افزایش داد. چن و همکاران (۲۰۰۴) و رومرا و همکاران (۲۰۰۳) نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. کاربرد مس و منگنز تأثیر معنی داری بر غلظت روی در اندام هوایی ذرت نداشت (جدول ۳). همچنین مصرف مس تأثیری بر جذب روی در ذرت نداشت، اما با کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۴۰ گرم منگنز جذب روی در ذرت نسبت به گیاه شاهد به ترتیب به میزان ۲۱/۶، ۴۹/۵ و ۵۲/۷ درصد افزایش یافت (جدول ۴) که علت این امر افزایش وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت بود (جدول ۲). لویز و همکاران (۲۰۰۵) نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. دومینگ و برتلینگ (۲۰۰۴) گزارش کردند افزودن منگنز، جذب روی توسط خیار را افزایش داد. در حالی که هریک و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که بر همکنش میان مس و روی منفی بود. قاسمی فسایی و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که کاربرد منگنز تأثیر معنی داری بر غلظت و جذب روی در نخود فرنگی نداشت. پاترا و همکاران (۱۹۸۲) گزارش کردند که با به کارگیری ۵ میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، غلظت مس و منگنز در برنج افزایش یافت ولی مقدار فسفر، روی و آهن کاهش یافت. همچنین سدبری و همکاران (۱۹۸۰) نشان دادند کاربرد مس سبب افزایش معنی دار غلظت مس و روی در برگ برنج شد اما بر غلظت منگنز تأثیری نداشت. با کاربرد ۵ و ۱۰ میلی گرم مس نسبت مس به منگنز به میزان ۲۳ در صد افزایش یافت (جدول ۵). اما با افزودن ۲۰ و ۴۰ میلی گرم منگنز، نسبت مس به منگنز در مقایسه با گیاه شاهد به میزان ۳۳/۳ در صد کاهش یافت. کاربرد منگنز تأثیر معنی داری بر نسبت مس به آهن نداشت. بیشترین میزان عملکرد ذرت علوفه ای هنگامی به دست آمد که منگنز مس به نسبت در گستره ۰/۱۱ تا ۰/۱۳ و در مورد مس به آهن ۰/۱۲ تا ۰/۱۹ بود (جدول ۵).

افزودن ۵ و ۱۰ میلی گرم مس سبب افزایش معنی داری نسبت مس به آهن به میزان ۴۶ در صد شد. کاربرد مس و منگنز تأثیر معنی داری بر نسبت مس به روی نداشت (جدول ۵). بیشترین میزان عملکرد ذرت علوفه ای هنگامی به دست آمد که نسبت مس به روی در گستره

+ منگنز)، منگنز به مس، منگنز به آهن و منگنز به روی باشد. در پژوهش حاضر، با توجه به بیشترین میزان عملکرد ذرت علوفه ای گستره کفایت برای مس ۶ تا ۷ و برای منگنز ۵۰ تا ۵۵ میکروگرم در گرم وزن ماده خشک ذرت علوفه ای است. قبل از هر توصیه کودی، نتایج این پژوهش بایستی در شرایط مزرعه نیز تأیید شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه شیراز برای تأمین وسایل و امکانات و ایجاد تسهیلات لازم، و همچنین از کارکنان بخش علوم خاک در اجرای این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌گردد.

بحرانی (۵ میلی گرم در کیلوگرم) (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷) بیشتر بود، اما افزودن ۴۰ میلی گرم منگنز به خاک سبب افزایش وزن ماده خشک به میزان ۲/۹۶ برابر بیشتر از گیاه شاهد شد. در حالی که غفاری نژاد و کریمیان (۱۳۷۷) حد بحرانی منگنز قابل عصاره گیری با دی.تی.پی.ا در خاک های آهکی استان فارس را، ۱۳ میلی گرم در کیلوگرم خاک به دست آوردند. این امر بیانگر این مطلب است که حد بحرانی منگنز در خاک آهکی برای ذرت علوفه ای نیاز به مطالعه و پژوهش بیشتری دارد. کاربرد مس در بالاترین سطح سبب کاهش معنی دار وزن خشک گیاه نسبت به گیاه شاهد شد. دلیل این امر ممکن است اثر ضدیتی مس با آهن و منگنز با مس یا آهن و همچنین بر هم خوردن تعادل بین نسبت های مس به منگنز، مس به (آهن + روی

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی ها	
شن (درصد)	۲۵
سیلت (درصد)	۴۰
رس (درصد)	۳۵
کربن آلی (درصد)	۰/۵
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۴۳
نیتروژن نیتراتی (میلی گرم در کیلوگرم)	۳/۴
فسفر عصاره گیری شده با بی کربنات سدیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۰/۶۰
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۵۳
پ هاش خمیر اشباع	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	۰/۵۷
مس عصاره گیری شده با دی تی پی ا (میلی گرم در کیلوگرم)	۱/۳۸
منگنز عصاره گیری شده با دی تی پی ا (میلی گرم در کیلوگرم)	۶/۳
روی عصاره گیری شده با دی تی پی ا (میلی گرم در کیلوگرم)	۰/۷۶
آهن عصاره گیری شده با دی تی پی ا (میلی گرم در کیلوگرم)	۵/۴

جدول ۲- اثر مس و منگنز بر وزن ماده خشک اندام هوایی ذرت علوفه ای (گرم در گلدان)

سطوح مس (mg kg^{-1})	سطوح منگنز (mg kg^{-1})				میانگین
	۴۰	۲۰	۱۰	۰	
۰	۱۲/۸۳ ^a	۱۰/۵ ^a	۸/۰۸ ^b	۵/۰۳ ^{d*}	۰
۲/۵	۱۰/۴۶ ^a	۱۰/۴۷ ^a	۷/۵ ^{cd}	۶/۴۳ ^d	۲/۵
۵	۹/۱۳ ^{ab}	۹/۰۹ ^{ab}	۷/۶۶ ^{cd}	۷/۲۸ ^{cd}	۵
۱۰	۷/۵۱ ^{cd}	۸/۵۳ ^b	۷/۸۲ ^{cd}	۷/۲۷ ^{cd}	۱۰
	۹/۶۷ ^A	۹/۶۵ ^A	۷/۷۶ ^B	۶/۶ ^C	میانگین

*اعدادی که در هر ستون یا در هر ردیف در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۳- اثر مس و منگنز بر غلظت برخی عناصر غذایی (میکروگرم در گرم) در اندام هوایی ذرت علوفه ای

میانگین	سطوح منگنز (mg kg^{-1})				سطوح مس (mg kg^{-1})
	۴۰	۲۰	۱۰	۰	
مس (میکروگرم در گرم)					
۶/۵۴ ^B	۶/۶۴ ^c	۶/۳۵ ^c	۶/۵۲ ^c	۶/۶۴ ^{c*}	۰
۶/۵ ^B	۶/۱۰ ^c	۶/۰۸ ^{bc}	۶/۳۱ ^c	۷/۵۲ ^{bc}	۲/۵
۷/۹ ^{AB}	۶/۹۳ ^c	۷/۱۲ ^{ab}	۸/۶ ^{ab}	۸/۹۵ ^{ab}	۵
۸/۰۷ ^A	۷/۲۴ ^{bc}	۷/۲۳ ^a	۸/۱۷ ^{ab}	۹/۶۴ ^a	۱۰
	۶/۷۳ ^B	۶/۷ ^B	۷/۴ ^{AB}	۸/۱۸ ^A	میانگین
منگنز (میکروگرم در گرم)					
۴۸/۸۱ ^A	۵۵/۴ ^{bc}	۵۰/۲۷ ^{ab}	۴۸/۱۷ ^{abc}	۴۵/۴ ^{bc}	۰
۴۸/۳۸ ^A	۵۵/۱۶ ^{bc}	۵۷/۰۷ ^{abc}	۴۵/۸۵ ^{bc}	۴۵/۱۶ ^{bc}	۲/۵
۵۰/۸۱ ^A	۵۵/۱۱ ^{bc}	۵۷/۲ ^{ab}	۴۵/۸۴ ^{bc}	۴۵/۱۱ ^{bc}	۵
۵۰/۱۸ ^A	۵۴/۵۷ ^c	۵۶/۵ ^{abc}	۴۵/۱۷ ^{ab}	۴۴/۴۷ ^c	۱۰
	۵۵/۰۶ ^A	۵۵/۲۶ ^A	۴۵/۷۶ ^B	۴۵/۰۳ ^B	میانگین
آهن (میکروگرم در گرم)					
۵۱/۰۶ ^A	۵۱/۳۳ ^a	۵۱/۱۲ ^{ab}	۵۰/۳۸ ^{ab}	۵۱/۴۱ ^a	۰
۴۴/۶۳ ^{AB}	۴۱/۱۸ ^{abc}	۴۰/۵۳ ^c	۴۵/۶۱ ^{bc}	۵۱/۱۵ ^{abc}	۲/۵
۴۳/۰۷ ^B	۳۷/۴ ^{abc}	۳۸/۳۳ ^c	۴۵/۶۴ ^{bc}	۵۰/۹۵ ^{abc}	۵
۴۲/۷۱ ^B	۳۷/۱۴ ^{bc}	۳۷/۶۴ ^C	۴۵/۱۴ ^{bc}	۵۰/۹۱ ^{bc}	۱۰
	۴۱/۷۶ ^B	۴۱/۹ ^{AB}	۴۶/۶۹ ^{AB}	۵۱/۱ ^A	میانگین
روی (میکروگرم در گرم)					
۳۷/۶۳ ^A	۳۷/۶۶ ^a	۳۸/۰۶ ^a	۳۷/۱۳ ^a	۳۷/۶۶ ^a	۰
۳۸/۷ ^A	۳۸/۷۳ ^a	۳۸/۲۳ ^a	۳۹/۰۸ ^a	۳۸/۷۳ ^a	۲/۵
۳۹/۶۴ ^A	۳۹/۱۴ ^a	۴۰/۱۳ ^a	۴۰/۱۵ ^a	۳۹/۱۴ ^a	۵
۴۰/۱۱ ^A	۳۹/۲۴ ^a	۴۰/۲۲ ^a	۴۱/۷۳ ^a	۳۹/۲۴ ^a	۱۰
	۳۸/۶۹ ^A	۳۹/۱۶ ^A	۳۹/۵۲ ^A	۳۸/۶۹ ^A	میانگین

* اعدادی که در هر ستون یا در هر ردیف در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۴- اثر مس و منگنز بر جذب برخی عناصر غذایی (میکروگرم در گلدان) در اندام هوایی ذرت علوفه ای

میانگین	سطوح منگنز (mg kg^{-1})				سطوح مس (mg kg^{-1})
	۴۰	۲۰	۱۰	۰	
مس (میکروگرم در گلدان)					
۵۹/۴۸ ^{AB}	۸۵/۱۹ ^a	۶۶/۶۷ ^b	۵۲/۶۸ ^c	۳۳/۴۰ ^{d*}	۰
۵۵/۷۸ ^B	۶۳/۸۱ ^c	۶۳/۶۶ ^b	۴۷/۳۳ ^c	۴۸/۳۵ ^c	۲/۵
۶۴/۷۴ ^A	۶۳/۲۰ ^a	۶۴/۷۲ ^b	۶۵/۸۸ ^b	۶۵/۱۵ ^b	۵
۶۲/۵ ^A	۵۴/۳۷ ^a	۶۱/۶۷ ^b	۶۸/۸۸ ^b	۷۰/۰۸ ^{ab}	۱۰
	۶۶/۶۴ ^A	۶۴/۱۸ ^A	۵۷/۴۴ ^{AB}	۵۴/۲۴ ^B	میانگین
منگنز (میکروگرم در گلدان)					
۴۶۴/۰۴ ^A	۷۱۰/۷۸ ^a	۵۲۷/۸۴ ^b	۳۸۹/۲۱ ^d	۲۲۸/۳۶ ^e	۰
۴۵۲/۱۸ ^A	۵۷۶/۹۷ ^b	۵۹۷/۵۲ ^b	۳۴۳/۸۷ ^d	۲۹۰/۳۸ ^{de}	۲/۵
۴۲۵/۵۲ ^A	۵۰۲/۶۰ ^b	۵۱۹/۹۵ ^b	۳۵۱/۱۳ ^d	۳۳۸/۴ ^d	۵
۳۹۶/۱۸ ^A	۴۰۹/۸۲ ^c	۴۸۱/۹۴ ^{cb}	۳۵۳/۲۳ ^d	۳۳۹/۷۵ ^d	۱۰
	۵۵۰/۰۴ ^A	۵۳۱/۸۱ ^A	۳۵۹/۳۶ ^B	۲۹۶/۷۳ ^C	میانگین
آهن (میکروگرم در گلدان)					
۴۶۵/۲۱ ^A	۶۵۸/۴۳ ^a	۵۳۶/۷۶ ^b	۴۰۷/۱ ^c	۲۵۸/۶ ^e	۰
۳۸۱/۵۱ ^B	۴۳۰/۷۳ ^d	۴۲۴/۳۵ ^c	۳۴۲/۱ ^d	۳۲۸/۹ ^d	۲/۵
۳۵۲/۵۱ ^B	۳۴۱/۰۸ ^d	۳۴۸/۴۲ ^c	۳۴۹/۶ ^d	۳۷۰/۹۲ ^d	۵

۳۳۰/۷۷ ^B	۲۸۷/۹۲ ^c	۳۲۱/۰۷ ^d	۳۵۳ ^d	۳۷۰/۱۱ ^d	۱۰
	۴۲۷/۲۸ ^A	۴۰۷/۶۵ ^A	۳۶۲/۹۳ ^B	۳۳۲/۱۳ ^B	میانگین
روی (میکروگرم در گلدان)					
۳۴۳/۰۴ ^A	۴۸۳/۱۸ ^a	۳۹۹/۶۳ ^{ab}	۲۹۹/۹۲ ^{bc}	۱۸۹/۴۳ ^d	.
۳۳۶/۴۳ ^A	۴۰۵/۱۱ ^a	۴۰۰/۲۷ ^a	۲۹۳/۱ ^c	۲۴۹/۰۳ ^b	۲/۵
۳۲۸/۵۶ ^A	۳۵۶/۹۶ ^b	۳۶۴/۷۸ ^b	۳۰۷/۵۵ ^b	۲۸۴/۹۴ ^b	۵
۳۱۲/۳۴ ^A	۲۹۴/۶۹ ^c	۳۴۳/۰۸ ^b	۳۲۶/۳۳ ^b	۲۸۵/۲۷ ^b	۱۰
	۳۸۴/۹۸ ^A	۳۷۶/۹۴ ^A	۳۰۶/۷۲ ^A	۲۵۲/۱۷ ^B	میانگین

* اعدادی که در هر ستون یا در هر ردیف در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۵- اثر مس و منگنز بر نسبت مس به منگنز، مس به آهن، مس به روی، مس به منگنز و آهن و روی در اندام هوایی ذرت علوفه ای

سطوح مس (mg kg ⁻¹)	۰	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
نسبت مس : منگنز					
۰	۰/۱۵ ^{bcd*}	۰/۱۳ ^d	۰/۱۳ ^d	۰/۱۲ ^d	۰/۱۳ ^B
۲/۵	۰/۱۷ ^b	۱/۱۴ ^d	۰/۱۱ ^d	۰/۱۲ ^d	۰/۱۳ ^B
۵	۰/۲۰ ^{ab}	۰/۱۹ ^a	۰/۱۳ ^d	۰/۱۳ ^d	۰/۱۶ ^A
۱۰	۰/۲۳ ^a	۰/۱۸ ^{ab}	۰/۱۳ ^d	۰/۱۳ ^d	۰/۱۶ ^A
میانگین	۰/۱۸ ^A	۰/۱۶ ^A	۰/۱۲ ^B	۰/۱۲ ^B	
نسبت مس : آهن					
۰	۰/۱۳ ^b	۰/۱۳ ^b	۰/۱۲ ^b	۰/۱۳ ^b	۰/۱۳ ^B
۲/۵	۰/۱۵ ^b	۰/۱۴ ^b	۰/۱۵ ^b	۰/۱۵ ^b	۰/۱۵ ^B
۵	۰/۱۸ ^a	۰/۱۹ ^a	۰/۱۹ ^a	۰/۱۹ ^a	۰/۱۹ ^A
۱۰	۰/۱۹ ^a	۰/۱۸ ^a	۰/۱۹ ^a	۰/۱۹ ^a	۰/۱۹ ^A
میانگین	۰/۱۶ ^A	۰/۱۶ ^A	۰/۱۶ ^A	۰/۱۷ ^A	
نسبت مس : روی					
۰	۰/۱۸ ^b	۰/۲۳ ^a	۰/۲۳ ^a	۰/۲۱ ^A	۰/۲۱ ^A
۲/۵	۰/۱۹ ^b	۰/۱۶ ^b	۰/۱۶ ^b	۰/۱۷ ^A	۰/۱۷ ^A
۵	۰/۲۳ ^a	۰/۲۱ ^a	۰/۱۸ ^b	۰/۱۸ ^b	۰/۲۰ ^A
۱۰	۰/۲۵ ^a	۰/۱۹ ^b	۰/۱۸ ^b	۰/۱۸ ^b	۰/۲۰ ^A
میانگین	۰/۲۱ ^A	۰/۲۰ ^a	۰/۱۹ ^A	۰/۱۸ ^A	
نسبت مس : (منگنز + آهن + روی)					
۰	۰/۰۵ ^c	۰/۰۵ ^c	۰/۰۵ ^c	۰/۰۵ ^c	۰/۰۵ ^B
۲/۵	۰/۰۵ ^c	۰/۰۵ ^c	۰/۰۴ ^d	۰/۰۵ ^c	۰/۰۵ ^B
۵	۰/۰۷ ^{ab}	۰/۰۷ ^{ab}	۰/۰۵ ^c	۰/۰۶ ^A	۰/۰۶ ^A
۱۰	۰/۰۸ ^a	۰/۰۶ ^b	۰/۰۵ ^c	۰/۰۶ ^b	۰/۰۶ ^A
میانگین	۰/۰۶ ^A	۰/۰۶ ^A	۰/۰۵ ^B	۰/۰۵ ^B	

* اعدادی که در هر ستون یا در هر ردیف در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۶- اثر مس و منگنز بر نسبت منگنز به مس، منگنز به آهن، منگنز به روی، منگنز به مس و آهن و روی در اندام هوایی ذرت علوفه ای

سطوح مس (mg kg ⁻¹)	۰	۱۰	۲۰	۴۰	میانگین
نسبت منگنز : مس					
۰	۶/۸۴ ^{cd*}	۷/۳۹ ^{bc}	۷/۹۲ ^b	۸/۳۴ ^{ab}	۷/۶۲ ^A
۲/۵	۶ ^{cd}	۷/۲۶ ^{bc}	۹/۳۸ ^a	۹/۰۴ ^a	۷/۹۲ ^A
۵	۵/۰۴ ^d	۵/۳۳ ^d	۸/۰۳ ^{ab}	۷/۹۵ ^{bc}	۶/۵۹ ^A

۶/۳۷ ^A	۷/۵۴ ^{bc}	۷/۸۱ ^b	۵/۵۳ ^d	۴/۶۱ ^d	۱۰
	۸/۲۳ ^A	۸/۲۸ ^A	۶/۳۸ ^{BC}	۵/۶۲ ^d	میانگین
نسبت منگنز : آهن					
۰/۹۷ ^B	۱/۰۸ ^{cd}	۰/۹۸ ^{cd}	۰/۹۶ ^{cd}	۰/۸۸ ^d	۰
۱/۱۵ ^A	۱/۳۴ ^b	۱/۴۰ ^{ab}	۱ ^{cd}	۰/۸۸ ^d	۲/۵
۱/۱۸ ^A	۱/۳۶ ^b	۱/۴۹ ^{ab}	۱ ^{cd}	۰/۸۸ ^d	۵
۱/۱۸ ^A	۱/۳۵ ^b	۱/۵ ^a	۱ ^{cd}	۰/۸۷ ^d	۱۰
	۱/۲۸ ^A	۱/۳۴ ^A	۰/۹۹ ^B	۰/۸۸ ^C	میانگین
نسبت منگنز : روی					
۱/۵۶ ^A	۱/۴۷ ^b	۱/۷۹ ^a	۱/۷۸ ^a	۱/۲۰ ^c	۰
۱/۳۱ ^{AB}	۱/۴۳ ^b	۱/۴۹ ^b	۱/۱۷ ^c	۱/۱۷ ^c	۲/۵
۱/۲۸ ^B	۱/۴۱ ^b	۱/۴۷ ^b	۱/۱۴ ^c	۱/۱۵ ^c	۵
۱/۲۵ ^B	۱/۴۰ ^b	۱/۴۰ ^b	۱/۰۸ ^c	۱/۱۳ ^c	۱۰
	۱/۴۳ ^A	۱/۵۲ ^A	۱/۲۹ ^B	۱/۱۶ ^B	میانگین
نسبت منگنز : (مس + آهن + روی)					
۰/۵۵ ^A	۰/۵۸ ^{ab}	۰/۵۹ ^b	۰/۵۷ ^{ab}	۰/۴۷ ^b	۰
۰/۵۷ ^A	۰/۶۴ ^a	۰/۶۷ ^a	۰/۵۰ ^{ab}	۰/۴۶ ^b	۲/۵
۰/۵۶ ^A	۰/۶۶ ^a	۰/۶۷ ^a	۰/۴۸ ^b	۰/۴۱ ^b	۵
۰/۵۶ ^A	۰/۶۵ ^a	۰/۶۶ ^a	۰/۴۷ ^b	۰/۴۸ ^b	۱۰
	۰/۶۳ ^A	۰/۶۵ ^A	۰/۵۰ ^{AB}	۰/۴۵ ^B	میانگین

* اعدادی که در هر ستون یا در هر ردیف در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۷- اثر مس و منگنز بر نسبت وزن ماده خشک ریشه ذرت علوفه ای به اندام هوایی (وزنی /وزنی)

سطوح منگنز (mg kg^{-1})					
میانگین	۴۰	۲۰	۱۰	۰	سطوح مس (mg kg^{-1})
۰/۵۱۳ ^A	۰/۵۵۵ ^a	۰/۵۶۵ ^a	۰/۴۹۵ ^a	۰/۴۳۸ ^{a*}	۰
۰/۵۱۴ ^A	۰/۵۷۹ ^a	۰/۵۶۷ ^a	۰/۴۵۹ ^a	۰/۴۵۱ ^a	۲/۵
۰/۵۰۶ ^A	۰/۵۰۶ ^a	۰/۵۶۰ ^a	۰/۴۸۳ ^a	۰/۴۷۵ ^a	۵
۰/۴۹۷ ^A	۰/۴۸۵ ^a	۰/۵۳۳ ^a	۰/۴۸۷ ^a	۰/۴۸۴ ^a	۱۰
	۰/۵۳۱ ^A	۰/۵۵۶ ^A	۰/۴۸۱ ^A	۰/۴۶۳ ^A	میانگین

* اعدادی که در هر ستون یا در هر ردیف در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

فهرست منابع:

۱. علی نژاد، ز. ۱۳۸۱. تأثیر شوری و مس بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
۲. غفاری نژاد شهر بابکی، ع، و کریمیان، ن. همبستگی بین منگنز عصاره گیری شده به وسیله پنج روش با خصوصیات خاک و پاسخهای گیاه سویا در خاکهای آهکی استان فارس. مجله علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶۵ - ۷۶: ۲ (۴)، ۱۳۷۷.
۳. ملکوتی، م. ج، کشاورز، پ و کریمیان، ن. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
4. Bernal, M., R. Cases, R. Picorel, and I. Yruela. 2007. Foliar and root Cu supply affect Fe deficiency and Zn uptake and photosynthetic activity in soybean plants. *Environ. Exp. Bot.* 60: 145-150.

5. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-Total. PP. 1082-1122. *In*: D. L. Sparks et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. Chen, Y., J. Shi, G. Jian, S. Zheng, and Q. Lin. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelina communis*. *Plant Sci.* 166: 1371-1377.
7. Doming, A., and I. Bertling. 2004. Manganese, zinc, and silicon studies of cucumber (*Cucumis sativa*) using a miniature hydroponics system, International Symposium on Growing Media and Hydroponics, ISHS, Acta Hort. 644.
8. Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, hydrometer method. PP. 404-408. *In*: A. Klute et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
9. Ghasemi-Fasaee, R., A. Ronaghi, M. Maftoun, A. Karimian, P. N. Soltanpour. 2005. Iron-manganese interaction in chickpea as affected by foliar and soil application in a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 31: 839-848.
10. Ghasemi-Fasaee, R., and A. Ronaghi. 2007. Interaction of Fe with Cu, Zn, Mn in wheat as affected by Fe and Mn in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 31: 839-848.
11. Ghasemi-Fasaee, R., and A. Ronaghi. 2008. Field evaluations of yield, iron-manganese relationship, and chlorophyll meter readings in soybean genotypes as affected by iron-ethylenediamine di-o-hydroxyphenylacetic acid in a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 31: 81-89.
12. Halder, M., and L. N. Mandal. 1982. Cu \times Mn interaction and availability of Zn, Cu, Fe, Mn, and P in waterlogged rice soils. *Plant Soil.* 69: 131-134.
13. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tidale, and W. L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management, 6th Edition, Prantice Hall: Upper Saddle River, NJ.
14. Heitholt, J. J., J. J. Solan, and C. T. Mackown. 2002. Copper, manganese, and zinc fertilization effects on growth of soybean on a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 25: 1727-1740.
15. Herbi, A., C. Boiling, and C. Buckhout. 2002. The involvement of a multicopper oxidase in iron uptake by the green algae *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiol.* 130: 2039-2048.
16. Jarvis, S. C., L. H. P. Jones, and M. J. Hopper. 1998. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from root to shoot. *Plant Soil.* 44: 179-191.
17. Leoppert, R. H., and D. L. Saurez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In*: D. L. Sparks et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. Am. Soc. Agron. J., Madison, WI.
18. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
19. Lopez, M. A. F., D. R. Ellis, and M. A. Grusak. 2005. Effect of zinc, and manganese supply on the activity of superoxidase dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and *raz* mutant plants. *Plant Sci.* 168: 1015-1022.
20. Mengel, K., and E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Ed. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.
21. Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 961-1010. *In*: D. L. Sparks et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
22. Nirmala, N., and C. Chitralkha. 2002. Copper-manganese interaction in cauliflower. *J. Plant Nutr.* 25: 1701-1707.
23. Patra, D., M. Halder, 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.

24. Patsikka, E., M. Kairavuo, F. Seren, E. Aro, and E. Tyystjarvi. 2002. Excess copper predisposes photosystem II to photoinhibition *in vivo* outcompeting iron, and causing decrease in leaf chlorophyll. *Plant Physiol.* 129: 1359-1367.
25. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved salts. PP. 417-436. *In: D. L. Sparks et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
26. Romera, F. J., V. M. Frejo, and E. Alcantara. 2003. Simultaneous Fe and Cu deficiency accelerates the incubation of several Fe-deficiency stress responses in strategy plants. *Plant Physiol. Biochem.* 41: 8221-827.
27. Roomizadch, S., Karimian, N. 1996. Manganese-iron relationship in soybean grown in calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 19: 397-406.
28. Sedberry, J. E., J. R. Eun, M. Y. Wilson, F. E. Barndon, and D. M. Bligh. 1980. Effect of application of copper and zinc on yield of Satarn rice grown on Crowley silt loam and on chemical composition of rice-leaf tissue. *Ann. Prog. Rice Exper. Sta., Crowley, Louisiana. USA. Louisiana Stat. Univ.* PP. 91-95.
29. Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy, 8th Edition; U. S. Government Printing Office, Washington, DC.
30. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP.475-490. *In: D. L. Sparks et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
31. Wallace, A. 1982. Additive protective and synergistic effect on plant with excess trace elements. *Soil Sci.* 133: 319-323.
32. Watanabe, F. S., and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid for determining phosphorous in water and NaHCO₃-extracted from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 677-678.