اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، ماده آلی و سطوح روی بر شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی زیر کشت گیاه ذرت

لیلا غلامی[۱*]، جعفر یثربی[۱]، نجفعلی کریمیان[۱]، مهدی زارعی[۱] و عبدالمجید رونقی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۴)

چکیده

به منظور بررسی اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، ماده آلی و سطوح روی بر شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی، آزمایشی گلخانه‌ای با گیاه ذرت به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها عبارت بودند از روی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک)، دو نوع ماده آلی (کود گوسفندی و کمپوست زباله شهری، هر یک در دو سطح صفر و ۱٪ وزنی) و قارچ در دو سطح (بدون قارچ و مایه‌زنی با قارچ *Rhizophagus intraradices*) که به یک خاک آهکی افزوده شدند. پس از گذشت ۸ هفته، گیاهان برداشت شده و در خاک گلدان‌ها شکل‌های شیمیایی روی به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای اندازه‌گیری شدند. ریشه‌ها نیز جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که همزیستی میکوریز آربوسکولار سبب افزایش شکل‌های کربناتی، آلی و متصل به اکسیدهای آهن بلورین و کاهش شکل‌های متصل به اکسیدهای منگنز، متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و باقی مانده شد. با افزایش روی کاربردی، همه شکل‌های روی (غیر از شکل محلول و تبادلی) افزایش یافتند. کاربرد هر دو نوع ماده آلی شکل‌های روی را افزایش داد. همزیستی میکوریز آربوسکولار و کاربرد ماده آلی و روی سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه ذرت شد.

واژه‌های کلیدی: میکوریزآربوسکولار، ماده آلی، روی، شکل های شیمیایی.

مقدمه

قارچ‌های میکوریزی از مهمترین ریزجانداران موجود در اغلب خاک‌ها می‌باشند، که تقریباً با اکثر گیاهان رابطه همزیستی دارند (۱۸). در شرایطی که غلظت عناصر قابل دسترس گیاه کم باشد، ریشه‌های دارای همزیستی میکوریزی ممکن است مقدار بیشتری از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف نسبتاً کم‌تحرک را جذب کنند (۲۰). مانکوسو و رینالدلی (۱۲) نشان دادند که تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر رشد گیاه از طریق افزایش جذب مواد معدنی، به‌ویژه مواد معدنی کم‌تحرک (روی، فسفر و مس) است. این موضوع می‌تواند نتیجه افزایش قابلیت دسترسی به یون‌ها یا افزایش انتقال آنها به گیاه به‌وسیله هیف قارچی باشد. میر انصاری مهابادی و همکاران (۳) نشان دادند که همزیستی میکوریز آربوسکولار سبب افزایش روی در گیاه ذرت گردیده و یافته‌های آنان با پژوهش‌های چن و همکاران (۸) مطابقت دارد.

روی از جمله عناصر کم‌مصرفی است که کمبود آن در خاک های آهکی گزارش شده است. برخی گیاهان، از جمله ذرت، به کمبود روی حساسند. بنابراین، کاربرد روی می‌تواند در افزایش عملکرد آنها مؤثر باشد (۱۹). در بسیاری از خاک‌های ایران، به دلیل پ- هاش زیاد و فراوانی یون کلسیم، مقدار قابل جذب روی کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاه است.

۱. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Leila.gholami63@gmail.com

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

خصوصیت	مقدار
بافت	لوم
پ- هاش (خمیر اشباع)	۷/۹
ماده آلی (٪)	۱/۲
کربنات کلسیم معادل (٪)	۴۵/۲
قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۵
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک)	۱۰/۲
فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۵/۴
مس قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۱/۰۶
روی قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۰/۷۱
منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۴/۳۰
آهن قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۶/۴۹

جدول ۲. برخی ویژگی‌های مواد آلی مورد استفاده

	ماده آلی	
ویژگی اندازه‌گیری شده	کمپوست زباله اصفهان	کود گوسفندی
پ- هاش (عصاره ۱:۵ ماده آلی به آب)	۷/۳	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۶/۱	۱۷
آهن کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۱۱۳۷	۲۰۳۴
منگنز کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۱۷۱	۲۶۱
مس کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۱۶/۲	۲۷
روی کل (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۷۱۶	۱۲۲

مواد آلی، با کلاته کردن عناصر غذایی، آنها را به شکل قابل جذب در خاک نگه می‌دارند (۴). کودهای دامی علاوه بر اینکه باعث بهبود وضعیت فیزیکی خاک می‌شوند، دارای عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، گوگرد و عناصر کم‌مصرفی چون آهن، روی و مس می‌باشند که در نتیجه تجزیه میکروبی آنها، این عناصر غذایی به صورت معدنی و قابل جذب در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (۷). کمپوست زباله شهری در زمان کوتاهی عناصر قابل دسترس را فراهم می‌کند و فعالیت میکروبی را تحریک نموده و در درازمدت موجب حفظ مخازن عناصر غذایی و مواد آلی خاک می‌شود (۶).

مواد آلی یکی از عوامل مؤثر بر تغییر مقدار نسبی شکل‌های مختلف روی در خاک است (۱۶). کلمنت و همکاران (۹) گزارش کردند که دو تیمار ماده آلی (کود گاوی و کمپوست) سبب کاهش معنی‌دار شکل کربناتی روی در مقایسه با خاک شاهد شدند. مندال و مندال (۱۳) نشان دادند که افزودن ماده آلی، شکل آلی و تبادلی روی در خاک را افزایش می‌دهد. سینگانیا و همکاران (۱۶) نیز گزارش کردند که کودهای دامی شکل محلول در آب روی را افزایش می‌دهند.

در سال‌های اخیر از عصاره‌گیری دنباله‌ای برای تعیین شکل‌های شیمیایی فلزات در خاک‌های ایران استفاده شده است (۱، ۵ و ۲۳). عصاره‌گیری دنباله‌ای فلزات سنگین در خاک‌ها و رسوبات، روش مفیدی برای تعیین شکل‌های شیمیایی این عناصر در خاک می‌باشد. اساس این روش، کاربرد متوالی عصاره‌گیرهای انتخابی در یک نمونه واحد خاک می‌باشد. قدرت عصاره‌گیر از مرحله‌ای به مرحله‌ی بعد افزایش یافته و در نهایت به عصاره‌گیرهای بسیار قوی و به‌شدت اسیدی می‌رسد که قادر به تخریب شبکه بلوری کانی‌ها می‌باشند. به‌عبارتی، هر عصاره‌گیر به طور انتخابی شکل معدنی یا آلی خاصی از خاک را حل کرده و سبب رهاسازی عناصر متصل به آن می‌شود.

روش عصاره‌گیری دنباله‌ای به عنوان ابزاری نیرومند در تعیین شکل‌های شیمیایی عناصر به کار می‌رود (۲۱). با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با تأثیر همزیستی میکوریزی، ماده آلی و روی بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های ایران صورت نگرفته است، این پژوهش با هدف مطالعه تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار، ماده آلی و سطوح مختلف روی بر شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این آزمایش، مقدار مناسبی خاک از افق سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) سری چیتگر از محلی واقع در ۹ کیلومتری جنوب شرقی روستای نظر آباد شهرستان سروستان استان فارس، گردآوری شد. پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

نمونه‌های ماده آلی از دو منبع مختلف شامل کمپوست زباله اصفهان و کود گوسفندی، انتخاب شدند. برخی ویژگی‌های مواد آلی مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح روی (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) از منبع سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$)، دو نوع ماده آلی (کود گوسفندی و کمپوست زباله اصفهان) هر یک در دو سطح صفر و ۱٪ وزنی و قارچ در دو سطح (بدون قارچ و مایه‌زنی با قارچ Rhizophagus intraradices) در سه تکرار اجرا شد. در هرگلدان، مقداری از خاک سطحی (۵-۱ سانتی‌متری) برداشته شد. در تیمارهای قارچ، ۵۰ گرم از زاد مایه (مایه تلقیح) قارچ Rhizophagus intraradices (۱۲گرم اسپور در هر گرم بستره و کلونیزاسیون ریشه ۸۰٪) افزوده و با خاک مخلوط شد. در تیمارهای شاهد نیز به مقدار مساوی از بسترهای بدون قارچ تهیه شده استفاده شد. مقداری از خاک برداشته شده بر سطح زاد مایه افزوده و سپس در هر گلدان ۸ عدد بذر گیاه ذرت (Zea mays L.) رقم Maxima قرار داده شد. در ادامه، ۱-۱/۵ سانتی‌متر از خاک باقی مانده روی بذرهای ذرت افزوده شد.

بعد از طی دوره رشد گیاه به مدت ۸ هفته، قسمتی از خاک گلدان‌ها پس از جدا نمودن ریشه‌ها و عبور از الک دو میلی‌متری جهت تجزیه‌های آزمایشگاهی و تعیین شکل‌های شیمیایی روی در خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد. همچنین، ریشه‌ها از گلدان‌ها جدا شدند و بعد از شستشو جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه به روش کرومانیک و مک‌گرا (۱۱) مورد آزمایش قرار گرفتند.

اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی روی

شکل‌های شیمیایی روی به روش سینگ و همکاران (۱۷) اندازه‌گیری شد. این روش، روی را به شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی‌شکل، اکسیدهای آهن بلورین و باقی مانده جدا می‌کند. خلاصه‌ی این روش و علامت‌های اختصاری شکل‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

پس از عصاره‌گیری روی توسط مواد یاد شده، در هر مرحله غلظت روی به وسیله دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA -۶۷۰ اندازه‌گیری و مقدار روی استخراج شده به‌وسیله هر عصاره‌گیر از معادله زیر محاسبه شد:

جدول ۳. روش عصاره‌گیری دنباله‌ای سینگ و همکاران (۱۷)

شکل‌های شیمیایی روی	علامت اختصاری	مدت تکان دادن (ساعت)	عصاره‌گیر مورد استفاده	جرم ویژه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
محلول و تبادلی	WsEx-Zn	۲	1M $Mg(NO_3)_2$	۱/۱۰۴
کربناتی	Car-Zn	۵	1M NaOAc(pH=5)	۱/۰۴۵
آلی	OM-Zn	۰/۵	0.7M NaOCl (pH=8.5)	۱/۰۰۸۴
متصل به اکسیدهای منگنز	MnOx-Zn	۰/۵	0.1M $NH_2OH.HCl$ (pH=2, HNO_3)	۱/۰۰۳۲
متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل	AFeOx-Zn	۰/۵	0.25 M $NH_2OH.HCl$ +0.25M HCl	۱/۰۱۴
متصل به اکسیدهای آهن بلورین	CFeOx-Zn	۰/۵	0.2M $(NH_4)_2 C_2O_4$+ 0.2M $H_2C_2O_4$ +0.1M $C_6H_8O_6$	۱/۰۲۶
باقی مانده	Res-Zn		Conc.HNO_3,Conc. HF,Conc.$HClO_4$, Conc.H_2SO_4	

$$Zn = (C \times V) - (C' \times V')/ W \qquad [۱]$$

که Zn میزان روی استخراج شده (میکروگرم در گرم خاک)، C غلظت روی برحسب میکروگرم در میلی‌لیتر در محلول عصاره‌گیری شده، 'C غلظت روی برحسب میکروگرم در میلی‌لیتر در محلولی که از مرحله قبل مانده، V حجم محلول به کار رفته در مراحل مختلف، W وزن نمونه به‌کار رفته برحسب گرم (۲/۵ گرم) و ' V حجم باقی‌مانده بر حسب میلی‌لیتر از عصاره قبلی است که در نمونه باقی مانده و به مرحله بعدی منتقل شده و به روش زیر تعیین می‌شود:

پس از هر مرحله عصاره‌گیری، خاک درون ظرف همراه با باقی‌مانده محلول عصاره‌گیر توزین و پس از کسر وزن خاک و ظرف، وزن محلول باقی‌مانده (M) برحسب گرم مشخص شده، با اندازه‌گیری جرم ویژه عصاره‌گیر (d) برحسب گرم بر میلی‌لیتر در آزمایشگاه، حجم محلول باقی مانده برحسب میلی‌لیتر مشخص شد.

$$V' = M/d \qquad [۲]$$

تجزیه آماری داده‌ها به وسیله برنامه کامپیوتری MSTATC انجام گردید و میانگین‌های مربوط به اثرهای اصلی هریک از عامل ها با آزمون دانکن مقایسه شد.

نتایج و بحث

شکل محلول و تبادلی روی

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، در سطح کمتر روی، شکل محلول و تبادلی روی خاک افزایش یافته و با افزایش سطح روی، این شکل روی به طور معنی‌داری کاهش یافته است. یثربی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که با افزایش سطح روی، میانگین شکل تبادلی روی افزایش معنی‌داری نسبت به خاک شاهد پیدا کرد. در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ، روی محلول و تبادلی خاک در تیمار کمپوست زباله شهری از ۰/۳۶ به ۰/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید که افزایش معنی‌داری برابر ۵۸/۳۳ درصد را نشان می‌دهد. در تیمار کود گوسفندی این شکل روی از ۰/۳۶ به ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید که افزایش معنی‌داری برابر با ۳۸/۸۸ درصد را نشان می‌دهد. هارگریوز و همکاران (۱۰) مشاهده کردند که با افزودن کمپوست زباله شهری به خاک، روی محلول غیر متحرک گردید که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت دارد. کاربرد قارچ در هر دو تیمار کمپوست زباله شهری و کود گوسفندی اثر معنی‌داری بر شکل روی محلول و تبادلی خاک نسبت به تیمار مایه‌زنی نشده با قارچ نداشته است.

جدول ۴. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی محلول و تبادلی خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۰/۱۸h	۰/۳۴fg	۰/۴۴de	۰/۳۲C
کمپوست زباله شهری	۰/۳۷ef	۰/۶۳b	۰/۷۶a	۰/۵۹A
کود گوسفندی	۰/۳۱fg	۰/۵۱cd	۰/۷۱a	۰/۵۱B
میانگین	۰/۲۹D	۰/۴۹B	۰/۶۴A	۰/۴۷A
	با قارچ			
شاهد	۰/۲۷g	۰/۴۷cd	۰/۳۵fg	۰/۳۶C
کمپوست زباله شهری	۰/۴۵de	۰/۷۴a	۰/۵۴c	۰/۵۷A
کود گوسفندی	۰/۳۸ef	۰/۶۳b	۰/۴۸cd	۰/۵B
میانگین	۰/۳۶C	۰/۶۱A	۰/۴۶B	۰/۴۸A

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

شکل کربناتی روی

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۵ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، در هر سه سطح روی، افزایش معنی‌داری در میانگین روی کربناتی خاک نسبت به خاک مایه‌زنی نشده با قارچ رخ داده است. شیانگ و همکاران (۲۲) با بررسی توزیع شکل‌های روی در خاک‌های اسیدی، خنثی و آهکی چین گزارش کردند که با افزایش سطح روی، روی کربناتی افزایش معنی‌داری پیدا کرد. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش روی کربناتی خاک به‌میزان ۰/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۱۸/۶۸ درصد) و در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش روی کربناتی خاک به‌میزان ۰/۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۲۲/۴۵ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ شد. مقایسه میانگین‌ها در تمام تیمارها نشان می‌دهد که شکل کربناتی روی از ۳/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه بدون قارچ به ۴/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک درنمونه حاوی قارچ رسیده که افزایش معنی‌دار ۲۱٪ را نشان می‌دهد.

شکل آلی روی

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین غلظت روی آلی خاک در هر سه سطح روی مصرفی در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ افزایش معنی‌دار یافت. یثربی و همکاران (۲۳) بیان کردند که با افزایش سطح روی، میانگین شکل آلی روی به طور معنی‌داری نسبت به خاک شاهد افزایش پیدا کرد. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش روی آلی خاک به میزان ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۲۲/۷۲ درصد) و در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش روی آلی خاک به‌میزان ۰/۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۲۵/۷۱ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ شد. شومن (۱۴) با بررسی تأثیر ماده آلی (کاه و کلش آسیاب شده) بر شکل‌های شیمیایی روی دریافت که کاربرد ماده آلی سبب افزایش غلظت روی در شکل آلی گردید. به‌طور کلی، شکل آلی روی از ۰/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه بدون قارچ به ۰/۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه حاوی قارچ رسیده که افزایش معنی‌دار ۲۵/۸۰٪ را نشان می‌دهد.

جدول ۵. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی کربناتی خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۱/۶۱k	۳/۳۹h	۴/۴۲ef	۳/۱۴D
کمپوست زباله شهری	۲/۹۱i	۴/۶۸de	۶/۰۸b	۴/۵۵B
کود گوسفندی	۲/۴۵j	۳/۹۲g	۵/۱۴cd	۳/۸۳C
میانگین	۲/۳۲F	۳/۹۹D	۵/۲۱B	۳/۸۴B
	با قارچ			
شاهد	۲/۶۴ij	۴/۰۹fg	۴/۸۶d	۳/۸۶C
کمپوست زباله شهری	۳/۹۸fg	۵/۱۰cd	۷/۱۲a	۵/۴۰A
کود گوسفندی	۳/۶۸gh	۴/۸۷d	۵/۵۲c	۴/۶۹B
میانگین	۳/۴۳E	۴/۶۹C	۵/۸۳A	۴/۶۵A

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند. از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۶. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی آلی خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۰/۰۸l	۰/۱۲kl	۰/۲۶gh	۰/۱۵E
کمپوست زباله شهری	۰/۲۰hig	۰/۴۴de	۰/۷۰b	۰/۴۴B
کود گوسفندی	۰/۱۶jk	۰/۳۳f	۰/۵۶c	۰/۳۵C
میانگین	۰/۱۴F	۰/۳۰D	۰/۵۰B	۰/۳۱B
	با قارچ			
شاهد	۰/۱۲kl	۰/۱۹ij	۰/۳۰fg	۰/۲۰D
کمپوست زباله شهری	۰/۲۸fg	۰/۴۹d	۰/۸۴a	۰/۵۴A
کود گوسفندی	۰/۲۲hi	۰/۴۱e	۰/۶۹b	۰/۴۴B
میانگین	۰/۲۰E	۰/۳۶C	۰/۶۱A	۰/۳۹A

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

روی متصل به اکسیدهای منگنز

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۷ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین غلظت روی متصل به اکسیدهای منگنز خاک در هر سه سطح روی نسبت به خاک مایه‌زنی نشده با قارچ کاهش معنی‌دار یافت. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب کاهش روی متصل به اکسیدهای منگنز خاک شده است، به طوری که مقدار این شکل از ۰/۵ به ۰/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید، که کاهش ۲۶ درصدی را نسبت به تیمار بدون قارچ نشان می‌دهد. افزودن قارچ در تیمار کود گوسفندی نیز سبب کاهش روی متصل به اکسیدهای منگنز

جدول ۷. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی متصل به اکسیدهای منگنز خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۰/۱۴mn	۰/۳۳gh	۰/۴۰ef	۰/۲۹D
کمپوست زباله شهری	۰/۲۵ij	۰/۴۹cd	۰/۷۶a	۰/۵۰A
کود گوسفندی	۰/۱۹klm	۰/۲۹hi	۰/۵۴bc	۰/۳۴C
میانگین	۰/۱۹E	۰/۳۷C	۰/۵۶A	۰/۳۷A
	با قارچ			
شاهد	۰/۱۱n	۰/۲۴ijk	۰/۳۳gh	۰/۲۲E
کمپوست زباله شهری	۰/۱۷lmn	۰/۳۷fg	۰/۵۸b	۰/۳۷B
کود گوسفندی	۰/۱۵mn	۰/۲۲jkl	۰/۴۴de	۰/۲۷D
میانگین	۰/۱۴F	۰/۲۸D	۰/۴۵B	۰/۲۹B

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

خاک به میزان ۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۲۰/۵۸ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ شد. شومن (۱۴) با بررسی اثر ماده آلی (کاه و کلش گندم) بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک دریافت که ماده آلی سبب افزایش روی متصل به اکسیدهای منگنز و آهن بی‌شکل خاک می‌گردد. به طور کلی، شکل روی متصل به اکسیدهای منگنز خاک از ۰/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه بدون قارچ به ۰/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه حاوی قارچ رسیده که کاهش معنی‌دار ۲۱/۶۲٪ را نشان می‌دهد.

روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۸ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین غلظت روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل خاک در هر سه سطح روی نسبت به خاک مایه‌زنی نشده با قارچ کاهش معنی‌دار یافت. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب کاهش روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل خاک به میزان ۰/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۱۴/۲۱ درصد) و در تیمار کود گوسفندی سبب کاهش شکل روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل خاک به میزان ۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۱۶/۷۷ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ گردید. شومن و همکاران (۱۵) نشان دادند که افزودن کمپوست زباله شهری به خاک سبب توزیع مجدد روی از شکل تبادلی به شکل‌های متصل به اکسیدهای منگنز و آهن بی‌شکل می‌شود. شکل روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل خاک از ۱/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه بدون قارچ به ۱/۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه حاوی قارچ رسیده که کاهش معنی‌دار ۱۷/۶۴٪ را نشان می‌دهد.

روی متصل به اکسیدهای‌آهن بلورین

مقایسه میانگین‌ها در جدول ۹ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین غلظت روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک در تیمارهای صفر و ۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ به‌ترتیب افزایش معنی‌دار ۳۵/۶۰ و ۱۸/۱۸ درصدی را نشان می‌دهد. میانگین روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک در

جدول ۸. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلو گرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۰/۶۱l	۱/۲۲h	۱/۷۵e	۱/۱۹D
کمپوست زباله شهری	۱/۳۲gh	۱/۹۴d	۲/۴۶a	۱/۹۰A
کود گوسفندی	۱/۰۲ig	۱/۳۴g	۲/۱۱c	۱/۴۹C
میانگین	۰/۹۸E	۱/۵۰C	۲/۱۰A	۱/۵۳A
	با قارچ			
شاهد	۰/۴۶m	۰/۹۴j	۱/۳۸g	۰/۹۳E
کمپوست زباله شهری	۱/۰۶i	۱/۵۰f	۲/۳۲b	۱/۶۳B
کود گوسفندی	۰/۸۱k	۱/۱۰i	۱/۸۰e	۱/۲۴D
میانگین	۰/۷۸F	۱/۱۸D	۱/۸۳B	۱/۲۶B

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۹. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۰/۹۰k	۱/۹۲g	۲/۴۸e	۱/۷۷F
کمپوست زباله شهری	۱/۶۹h	۲/۵۵e	۴/۸۳a	۳/۰۲B
کود گوسفندی	۱/۳۸i	۲/۱۲f	۳/۳۴c	۲/۲۸D
میانگین	۱/۳۲E	۲/۲۰C	۳/۵۵A	۲/۳۶B
	با قارچ			
شاهد	۱/۲۱j	۲/۱۳f	۳/۱۳d	۲/۱۶E
کمپوست زباله شهری	۲/۲۲f	۳/۱۱d	۴/۰۵b	۳/۱۳A
کود گوسفندی	۱/۹۵g	۲/۵۵e	۳/۰۶d	۲/۵۲C
میانگین	۱/۷۹D	۲/۶۰B	۳/۴۱A	۲/۶۰A

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

سطح ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ نسبت به تیمار مایه‌زنی نشده با قارچ روند کاهشی را نشان داد ولی این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. ریحانی تبار (۲) با کاربرد ورمی‌کمپوست و سولفات روی در کشت گیاه ذرت و مطالعه‌ی شکل‌های شیمیایی روی در خاک دریافت که سولفات روی، شکل متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش شکل روی

جدول ۱۰. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر غلظت روی باقی مانده خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۳۷/۴۸h	۳۹/۰۴fg	۴۱/۳۷bcd	۳۹/۳۰C
کمپوست زباله شهری	۴۰/۸۹de	۴۲/۱۰bc	۴۳/۲۵a	۴۲/۰۸A
کود گوسفندی	۳۸/۹۸fg	۴۰/۲۵de	۴۲/۳۹ab	۴۰/۵۴B
میانگین	۳۹/۱۱C	۴۰/۴۶B	۴۲/۳۴A	۴۰/۶۴A
	باقارچ			
شاهد	۳۵/۳۶j	۳۷/۳۹h	۳۸/۸۵g	۳۷/۲۰E
کمپوست زباله شهری	۳۷/۱۷hi	۴۰/۰۹ef	۴۱/۲۵bcde	۳۹/۵۱C
کود گوسفندی	۳۶/۲۸ij	۳۸/۹۷fg	۴۰/۶۶de	۳۸/۶۴D
میانگین	۳۶/۲۷D	۳۸/۸۱C	۴۰/۲۵B	۳۸/۴۴B

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک به میزان ۰/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۳/۶۴ درصد) و در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک به میزان ۰/۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۱۰/۵۲ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ شد. شکل روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین خاک از ۲/۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه بدون قارچ به ۲/۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه حاوی قارچ رسیده که افزایش معنی‌دار ۱۰/۱۷٪ را نشان می‌دهد.

شکل باقی مانده

مقایسه میانگین‌ها در جدول۱۰ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، میانگین غلظت روی باقی مانده در هر سه سطح روی در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ کاهش معنی‌دار یافت. کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب کاهش روی باقی مانده به میزان ۲/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۶/۱ درصد) و در تیمار کود گوسفندی سبب کاهش غلظت این شکل روی به میزان ۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (معادل ۴/۶۸ درصد) نسبت به تیمار بدون قارچ گردید. زیناتی و همکاران (۲۴) با بررسی اثر کمپوست لجن فاضلاب بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک نشان دادند که بیشترین مقدار روی در شکل باقی مانده وجود دارد. مقایسه میانگین‌ها در تمام تیمارها نشان می‌دهد که شکل باقی مانده روی از ۴۰/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه بدون قارچ به ۳۸/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نمونه حاوی قارچ رسیده که کاهش معنی‌دار ۵/۴۱٪ را نشان می‌دهد.

درصد کلونیزاسیون ریشه

مقایسه میانگین‌ها در جدول۱۱ نشان می‌دهد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ، درصد کلونیزاسیون ریشه در هر سه سطح روی در مقایسه با خاک مایه‌زنی نشده با قارچ به ترتیب ۶۳/۶۸، ۶۶/۸۶ و ۷۰/۲ درصد افزایش معنی‌دار یافت. همانگونه که مشاهده می‌شود، کاربرد قارچ در تیمار کمپوست زباله شهری سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان ۹/۳ برابر نسبت به تیمار بدون قارچ شده است. کاربرد قارچ در تیمار کود گوسفندی سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان ۸/۵۲ برابر نسبت به تیمار بدون قارچ شده

جدول ۱۱. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر درصدکلونیزاسیون ریشه گیاه ذرت

مواد آلی	سطح روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	۰	۵	۱۰	
	بدون قارچ			
شاهد	۷/۲۲n	۷/۷۷klm	۸/۰۴jkl	۷/۶۸F
کمپوست زباله شهری	۷/۷۲lmn	۸/۲۸jk	۸/۵۴ij	۸/۱۸E
کود گوسفندی	۸/۹۲i	۹/۴۷h	۹/۶۶h	۹/۳۵D
میانگین	۷/۹۵E	۸/۵۰D	۸/۷۴D	۸/۴۰B
	با قارچ			
شاهد	۶۷/۶۰g	۷۰/۶۸f	۷۳/۱۹d	۷۰/۵۰C
کمپوست زباله شهری	۷۱/۸۹e	۷۵/۸۴c	۷۹/۵۷b	۷۵/۷۷B
کود گوسفندی	۷۵/۴۱c	۷۹/۵۴b	۸۴/۰۷a	۷۹/۶۷A
میانگین	۷۱/۶۳C	۷۵/۳۶B	۷۸/۹۴A	۷۵/۳۱A

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

است. مقایسه میانگین‌ها در تمام تیمارها نشان می‌دهد که میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه از ۸/۴۰ درصد در نمونه بدون قارچ به ۷۵/۳۱ درصد در نمونه حاوی قارچ رسیده که افزایش معنی‌دار ۹ برابری را نشان می‌دهد.

درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک

اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک در جدول ۱۲ ارائه شده است. از جداسازی شکل‌های شیمیایی روی در خاک شاهد مشاهده می‌شود که ۹۱/۳۵ درصد روی بومی خاک به صورت باقی مانده می‌باشد که برای گیاه قابل استفاده نیست.

نتیجه‌گیری

همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با ذرت سبب افزایش غلظت شکل‌های کربناتی، آلی، متصل به اکسیدهای آهن بلورین و کاهش شکل‌های متصل به اکسیدهای منگنز، متصل به اکسیدهای آهن بی شکل و باقی مانده روی در خاک شد.

کاربرد هر دو نوع ماده آلی (کمپوست زباله شهری و کود گوسفندی) سبب افزایش همه شکل‌های روی شد. با افزایش سطوح روی تا سطح ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک همه‌ی شکل‌های روی، بجز شکل محلول و تبادلی، افزایش یافتند.

سپاسگزاری

از اساتید گرانقدرم در بخش علوم خاک دانشگاه شیراز که در طول مدت انجام این تحقیق، از ایشان بسیار آموختم و کمک‌های بی‌دریغ و دلسوزانه ایشان نقش به‌سزایی در ارائه این تحقیق داشته است سپاسگزاری می‌کنم.

جدول ۱۲. اثر همزیستی میکوریز آربوسکولار، مواد آلی و سطوح روی بر درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک به روش سینگ و همکاران (۱۷)

ماده آلی	روی مصرفی	محلول و تبادلی	کربناتی	آلی	متصل به اکسیدهای منگنز	متصل به اکسیدهای آهن بی شکل	متصل به اکسیدهای آهن بلورین	باقی‌مانده
				بدون قارچ				
	۰	۰/۴۵	۳/۹۵	۰/۱۹	۰/۳۵	۱/۵۰	۲/۲۱	۹۱/۳۵
شاهد	۵	۰/۷۴	۷/۳۱	۰/۲۷	۰/۷۲	۲/۶۳	۴/۱۵	۸۴/۱۸
	۱۰	۰/۸۷	۸/۶۵	۰/۵۱	۰/۷۹	۳/۴۳	۴/۸۶	۸۰/۸۹
	۰	۰/۷۷	۶/۱۱	۰/۴۳	۰/۵۴	۲/۷۸	۳/۵۶	۸۵/۸۱
کمپوست زباله	۵	۱/۲۰	۸/۸۷	۰/۸۳	۰/۹۳	۳/۶۹	۴/۸۳	۷۹/۶۵
	۱۰	۱/۳۲	۱۰/۳۴	۱/۲۰	۱/۲۹	۴/۱۸	۸/۲۱	۷۳/۴۶
	۰	۰/۷۱	۵/۵۲	۰/۳۶	۰/۴۳	۲/۳۱	۳/۱۱	۸۷/۵۶
کود گوسفندی	۵	۱/۰۶	۸/۰۵	۰/۶۹	۰/۵۹	۲/۷۵	۴/۳۶	۸۲/۵۰
	۱۰	۱/۳۰	۹/۳۸	۱/۰۳	۰/۸۹	۳/۸۶	۶/۱۰	۷۷/۳۴
	میانگین	۰/۹۳	۷/۵۷	۰/۶۱	۰/۷۲	۳/۰۱	۴/۵۹	۸۲/۵۲
				با قارچ				
	۰	۰/۶۷	۶/۵۸	۰/۳۱	۰/۲۸	۱/۱۵	۳/۰۳	۸۷/۹۸
شاهد	۵	۱/۰۲	۸/۹۶	۰/۴۳	۰/۵۳	۲/۱۰	۴/۶۷	۸۲/۳۱
	۱۰	۰/۶۸	۹/۸۹	۰/۶۱	۰/۶۸	۲/۸۲	۶/۳۷	۷۸/۹۵
	۰	۰/۹۹	۸/۷۹	۰/۶۳	۰/۳۸	۲/۳۵	۴/۹۰	۸۱/۹۶
کمپوست زباله	۵	۱/۳۴	۹/۹۳	۰/۹۵	۰/۷۳	۲/۹۳	۶/۰۵	۷۷/۹۷
	۱۰	۰/۹۶	۱۲/۵۵	۱/۴۹	۱/۰۳	۴/۱۰	۷/۱۵	۷۲/۷۲
	۰	۰/۸۸	۸/۴۸	۰/۵۱	۰/۳۴	۱/۸۷	۴/۵۱	۸۳/۴۱
کود گوسفندی	۵	۱/۲۹	۹/۹۹	۰/۸۴	۰/۴۶	۲/۲۷	۵/۲۲	۷۹/۹۳
	۱۰	۰/۹۲	۱۰/۵۰	۱/۳۲	۰/۸۴	۳/۴۲	۵/۸۱	۷۷/۱۹
	میانگین	۰/۹۷	۹/۵۱	۰/۷۸	۰/۵۸	۲/۵۵	۵/۳۰	۸۰/۲۷

منابع مورد استفاده

۱. حسینی، س. م. ط. و ش. حاج رسولیها. ۱۳۷۴. تعیین فرم‌های شیمیایی غالب عناصر سنگین در خاک اطراف کارخانه ذوب آهن اصفهان و رسوبات تبخیری به دو روش عصاره‌گیری متوالی. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحات ۱۶۸-۱۶۹.

۲. ریحانی تبار، ع. ۱۳۸۵. سرنوشت روی کاربردی، اثر اوره، ورمی‌کمپوست و گیاه ذرت بر شکل‌های مختلف روی در خاک و تعیین خصوصیات جذب سطحی روی در خاک‌های آهکی. رساله دکتری، بخش مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۳. میر انصاری مهابادی، م. ر.، ح. بهرامی، ف. رجالی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تراکم خاک. علوم خاک و آب ۲۰(۱): ۱۰۶-۱۲۱.

۴. نجف زاده نوبر، ز.، م. شعبانپور و آ. کریمی نیا .۱۳۸۴. بررسی تأثیر کاربرد ماده آلی و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در خاک. خلاصه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، صفحات ۲۴۳-۲۴۵.

۵. یثربی، ج. ۱۳۷۰. تأثیر سولفات روی باقی مانده بر شکل‌های روی در خاک‌های آهکی زیر سد درودزن استان فارس و رابطه این شکل‌ها با رشد و غلظت روی در ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بخش خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

6. Bhattacharyya, P., K. Chakrabarti, A. Chakraborty and D.C. Nayak. 2005. Effect of municipal solid waste compost on phosphorous content of rice straw and grain under submerged condition. Arch. Agron. Soil Sci. 51: 363-370.
7. Chen, J. H and A. Stanley. 1999. Effects of liming and adding phosphate on predicted phosphorous uptake by maize on acid soil of three soil orders. Soil Sci. 150: 844-850.
8. Chen, B., P. Chrisite and X. Li. 2001. A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza. Chemosphere 42: 185-192.
9. Clemente, R., A. Escolar and M. Bernal. 2006. Heavy metals fractionation and organic matter mineralization in contaminated calcareous soil amended with organic materials. Bioresour. Technol. 97 :1894-1901.
10. Hargreaves, J.C., M.S. Adl and P.R. Warme. 2008. A review of use of composted municipal solid waste in agriculture. Agric. Ecosys. Environ. 123: 1-14.
11. Koromanik, P.P. and A.C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. PP. 36-37. *In:* Schenck, N.C. (Ed.), Methods and Principles of Mycorrhizal Research, The American Phyto Pathological Society.
12. Mancuso, S. and E. Rinaldelli. 1996. Response on young mycorrhizal and nonmycorrhizal plants of olive tree (*Olea europaea* L.) to saline conditions. II. Dynamics of electrical impedance parameters of shoots and leaves. Adv. Hort. Sci. 10: 135-145.
13. Mandal, L.N. and B. Mandal. 1987. Transformation of zinc fractions in rice soils. Soil Sci. 143: 205-212.
14. Shuman, L.M. 1988. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. Soil Sci. 146: 192-198.
15. Shuman, L.M., S. Dudks and K. Das. 2001. Zinc forms and plant availability in a compost amended soil. Water Air Soil Pollut. 128: 1-11.
16. Singhania, R. A., E. Reitz, H. Sochtig and D. R. Sauerbeak. 1983. Chemical transformation and plant availability of zinc salts added to organic manure. Plant Soil. 73: 337-344.
17. Singh, J. P., S. P. S. Karwarsa and M. Singh. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils of India. Soil Sci. 146: 359-366.
18. Smith, S.E. and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Third Ed., Academic Press, London, UK.
19. Srinivasan, K. 1992. Effect of amendment and zinc level on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). Indian J. Agron. 37: 246-249.
20. Subramanian, K.S. and C. Charest. 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. Mycorrhiza 9: 69-75.
21. Tessier, A., P.G.C. Campbell and M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace elements. Anal. Chem. 51: 844-851.

22. Xiang, H.F., H.A. Tang and Q.H. Ying. 1995. Transformation and distribution of forms of zinc in acid, neutral and calcareous soils of China. Geoderma 66: 121-135.
23. Yasrebi, J., N. Karimian, M. Maftoun, A. Abtahi and A.M. Sameni. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as affected by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2133-2145.
24. Zinati, G.M., Y. Li and H.H. Bryan. 2001. Accumulation and fractionation of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils amended with compost. J. Environ. Sci. Health 36: 229-243.