فراهمی برخی عناصر کم‌مصرف تحت تأثیرکاربرد بیوچار و قارچ میکوریز آربوسکولار در یک خاک آهکی پس از کشت ذرت

حمیدرضا بوستانی، مهدی نجفی‌قیری و علیرضا صالحی‌فرد
گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد کودهای‌آلی (گوسفندی و مرغی) و بیوچار آن‌ها، دو گونه قارچ میکوریزآربوسکولار و برهمکنش آن‌ها بر فراهمی برخی عناصر کم‌مصرف در یک خاک آهکی پس از کشت ذرت بود. آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل کود آلی در پنج سطح (بدون کودآلی، کودگوسفندی، کودمرغی، بیوچار کودگوسفندی و بیوچار کودمرغی هر کدام ۲ درصد وزنی) و فاکتور دوم تلقیح‌قارچی در سه سطح (عدم-تلقیح، قارچ *فونلیفورمیس‌موسه* و قارچ *گلوموس‌ورسیفرم*) بود. نتایج نشان داد که تأثیرکاربرد کودمرغی در افزیش غلظت روی، منگنز و مس قابل استفاده (عصاره‌گیری‌شده توسط DTPA) نسبت به سایر تیمارهای آلی بیشتر بود. همچنین تأثیر قارچ *گلوموس‌ورسیفرم* در افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف نسبت به قارچ *فونلیفورمیس‌موسه* به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تأثیر قارچ‌های میکوریز بر تغییر غلظت شکل قابل‌استفاده عناصر کم‌مصرف در هر تیمار آلی متفاوت و به نوع کود آلی کاربردی بستگی داشت.

واژه های کلیدی: کود مرغی، بیوچار کود گوسفندی، *گلوموس‌ورسیفرم*، *فونلیفورمیس‌موسه*،

مقدمه

طی سالیان اخیر استفاده از کودهای شیمیایی در جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی، سبب کاهش میزان باروری خاک، کاهش تنوع زیستی، افت کیفیت محصولات کشاورزی، بروز مشکلات زیست محیطی مانند آلودگی منابع آب و خاک و انتقال به زنجیره غذایی انسان و تهدید سلامت جامعه بشری شده است (امیدی و همکاران، ۱۳۸۸). کاهش مخاطرات زیست محیطی همگام با افزایش عملکرد گیاهان زراعی نیازمند بکارگیری تکنیک‌های نوین از جمله استفاده از کودهای آلی و زیستی جهت دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و ارگانیک می‌باشد (آقاعلیخانی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از ابزارهای زیستی جهت کاهش کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف استفاده از همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار است. همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار خصوصیات بیوشیمیایی خاک را از طریق افزایش آنزیم فسفاتاز و دهیدروژناز، افزایش محتوای کربن توده زنده و ترشح گلومالین در محیط ریزوسفر تغییر داده و قابلیت زیست‌فراهمی عناصر کم‌مصرف را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Balakrishnan and Sabramanian, 2012). Subramanian et al., (2009) گزارش کردند که همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با ریشه گیاه ذرت در یک خاک آهکی سبب اسیدی شدن محیط ریزوسفر و حل شدن شکل‌های نامحلول روی و افزایش زیست‌فراهمی روی در خاک شد. همچنین بوستانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش کردند که تلقیح قارچ *گلوموس اینترارادیسس* سبب تبدیل شکل‌های پایدار روی به شکل‌هایی با زیست‌فراهمی بیشتر در خاک آهکی شد. اخیراً، تبدیل کودهای آلی به بیوچار جهت کاربرد در زمین‌های کشاورزی، به عنوان یک کود آلی جایگزین و با پایداری بیشتر، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (Abbasi and Anwar, 2015). بیوچار یک ترکیب آلی سیاه غنی از کربن است که در شرایط اکسیژن محدود از گرماکافت ضایعات آلی گیاهی یا حیوانی تولید می‌شود (Lehman and Joseph, 2009). بیوچار به-وسیله راه‌های متعددی از جمله بهبود خصوصیات کیفی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش میزان ترسیب کربن در خاک، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و تحریک فعالیت ریزجانداران خاک سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Ippolito et al., 2012). زلفی‌باوریانی و همکاران (۱۳۹۵) افزایش فراهمی برخی عناصر کم‌مصرف را در اثر کاربرد کود مرغی و بیوچار حاصل از آن را گزارش کردند. با توجه به پژوهش‌های اندک در زمینه تأثیر بیوچار و برهمکنش آن با قارچ میکوریز

آربوسکولار بر فراهمی عناصر کم‌مصرف در خاک‌های آهکی، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد کود حیوانی (گوسفندی و مرغی) و بیوچار حاصل از آن‌ها، دو گونه قارچ مایکوریز آربوسکولار و برهمکنش آن‌ها بر فراهمی عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، مس و روی (عصاره‌گیری شده توسط DTPA) در یک خاک غیر استریل آهکی پس از کشت ذرت بود.

مواد و روش‌ها

تهیه کودهای آلی و بیوچار آن‌ها

کودهای مرغی و گوسفندی از دامپروری‌ها و مرغداری‌های فعال منطقه داراب (جنوب‌شرقی استان فارس) تهیه گردید. نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند و سپس آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. جهت تهیه بیوچار، مقداری از نمونه‌های کود مرغی و گوسفندی در بشر شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتر قرار داده شده و به‌وسیله ورقه‌های آلومینیمی پوشانده شدند تا شرایط دسترسی اکسیژن محدود ایجاد گردد. گرماکافت نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت صورت گرفت. برخی از خصوصیات کودهای آلی و بیوچار آن‌ها به روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی و بیوچار آن‌ها

خصوصیت	کود گوسفندی (SM)	بیوچار کود گوسفندی (SMB)	کود مرغی (CM)	بیوچار کود مرغی (CMB)
قابلیت هدایت الکتریکی(۱:۱۰) ($dS\ m^{-1}$)	۱۰/۹۲	۱۲/۶۰	۶/۸۰	۸/۸۰
پهاش (۱:۲۰)	۸/۰۸	۱۰/۲۱	۸/۴۲	۱۰/۲۶
کربن (٪)	۳۱/۸۹	۳۴/۱۱	۱۸/۸۱	۲۷/۰۷
نیتروژن (٪)	۲/۰۱	۱/۸۴	۲/۶۱	۲/۵۶
روی کل ($mg\ kg^{-1}$)	۲۲/۹۵	۳۶/۵۰	۱۵۶/۵۰	۲۱۰/۵۰
مس کل ($mg\ kg^{-1}$)	۸/۲۵	۱۵/۷۵	۱۲/۸۵	۲۲/۳۵
منگنز کل ($mg\ kg^{-1}$)	۱۱۳/۵۰	۱۸۵/۱۵	۱۸۳/۸۵	۲۶۲/۷۰
آهن کل ($mg\ kg^{-1}$)	۲۰۷۹/۵۰	۲۴۳۳/۰۰	۱۳۵۸/۵۰	۲۷۶۰/۰۰

نمونه‌برداری خاک و آزمایش گلخانه‌ای

جهت انجام این پژوهش مقدار مناسبی خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از مزارع دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب واقع در ۲۶۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز واقع در استان فارس برداشته شد. پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Page, 1982). بافت خاک لومی، پهاش گل اشباع ۷/۸ ، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر، کربنات کلسیم معادل ۴۲ درصد، مقدار ماده آلی ۱ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۶ میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک، پتاسیم قابل استفاده ۲۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، روی، مس، منگنز و آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA به ترتیب، ۰/۴۵، ۰/۶، ۵/۲ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتور اول شامل کود آلی در پنج سطح (بدون کاربرد کود آلی (C) ، کود گوسفندی (SM)، کود مرغی (CM) ، بیوچار کود گوسفندی (SMB) و بیوچار کود مرغی (CMB) هر کدام ۲ درصد وزنی) و فاکتور دوم شامل تلقیح قارچی در سه سطح (عدم تلقیح (N)، تلقیح با قارچ *فونلیفورمیس‌موسه* (FM) و تلقیح با قارچ *گلوموس‌ورسیفرم* (GV)) بود. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از آزمایشگاه بیولوژی پخش علوم خاک دانشگاه شیراز تهیه شد. در آغاز طبق طرح آزمایشی تیمارهای آلی به ۲ کیلوگرم خاک افزوده شده و به مدت ۱۵ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در حدود رطوبت مزرعه توسط آب مقطر نگهداری شده و سپس به گلدان‌های پلاستیکی انتقال داده شدند. برای اعمال تیمارهای قارچی، در گلدان‌های مربوط به تیمارهای قارچی قبل از کشت، مقداری از خاک سطحی (۱ الی ۵ سانتی‌متری) را برداشته و به آن مقدار ۵۰ گرم از مایه قارچی (۱۱-

۱۰ اسپور در هر گرم بستر، هیف و قطعات کلنیزه شده (۸۵-۸۰٪) و کلنیزه نشده ریشه‌ای) افزوده و با خاک مخلوط شد. تیمارهای فاقد قارچ نیز به همان اندازه از زادمایه قارچی سترون شده (اتوکلاو شده در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۲۵ دقیقه) دریافت کردند. پس از اعمال تیمارهای میکروبی، کشت گیاه به تعداد ۵ بذر ذرت ضد عفونی شده رقم سینگل گراس ۷۰۴ در عمق حدود ۲ سانتی‌متری انجام‌شد. در هفته دوم رشد گیاه در هر گلدان فقط دو بوته نگهداری شد. در طول دوره رشد، رطوبت گلدان‌ها روزانه بصورت وزنی با استفاده از آب مقطر در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداشته شدند. پس از ۱۰ هفته، گیاهان برداشت شده و ریشه گیاه از خاک گلدان‌ها جدا شد. پس از هوا خشک شدن خاک و عبور از الک ۲ میلی-متری، مقداری از آن جهت تعیین مقدار آهن، منگنز، مس و روی قابل عصاره‌گیری توسط محلول DTPA به آزمایشگاه منتقل شد. تجزیه‌های آماری داده‌ها، به وسیله نرم افزار MSTATC انجام و میانگین‌های مربوط به اثرهای اصلی هر یک از عامل‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کاربرد قارچ میکوریز و کود آلی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت روی عصاره‌گیری شده توسط DTPA از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲ - میانگین مربعات زیست فراهمی آهن، منگنز، مس و روی تحت تأثیرکاربرد کود آلی و تلقیح توسط قارچ میکوریز آربوسکولار در یک خاک آهکی

منابع تغییر	درجه آزادی	Zn-DTPA	Fe-DTPA	Mn-DTPA	Cu-DTPA
کود آلی	۴	۰/۹۸۴ **	۰/۱۲۴ **	۱۰/۲۰۷ **	۰/۰۱۹ **
تلقیح قارچ	۲	۰/۰۳۱ **	۰/۰۲۳ ns	۰/۱۶۵ *	۰/۰۰۱ ns
کودآلی × تلقیح قارچ	۸	۰/۰۱۲ **	۰/۰۱۱ ns	۵/۳۷۴ **	۰/۰۰۲ **
خطا	۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰۱

**و * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

مقایسه میانگین اثرات اصلی قارچ میکوریز نشان داد که کاربرد هر دو گونه قارچی سبب افزایش مقدار روی قابل استفاده (عصاره‌گیری شده توسط DTPA) در خاک نسبت به تیمار شاهد شد، اما فقط تأثیرکاربرد قارچ GV در افزایش روی قابل استفاده معنی‌دار و به میزان ۸/۵ درصد بود (جدول ۳). Sbramanian et al., (2009) گزارش کردند که همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با ریشه گیاه ذرت در یک خاک آهکی سبب اسیدی شدن محیط ریزوسفر و حل شدن شکل‌های نامحلول روی و افزایش زیست‌فراهمی روی در خاک شد. همچنین Balakrishnan and Sabramanian (2012) اسیدی شدن محیط ریزوسفر، ترشح سیدروفرها و موجنیک اسید توسط قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را دلیل افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف بخصوص در خاک‌های آهکی دانستند. در مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد تیمارهای آلی نیز نشان داد که کاربرد هر چهار نوع کود آلی غلظت روی قابل استفاده خاک را به طور معنی‌داری افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین و کمترین افزایش نسبت به تیمار شاهد مربوط به تیمارهای CM و SM به ترتیب به میزان ۱۶۳ و ۱۸/۲ درصد بود (جدول ۳). تاثیر کود دامی (SM) نسبت به بیوچار آن (SMB) در افزایش زیست فراهمی روی در خاک کمتر بود، درحالی‌که تاثیر کود مرغی (CM) نسبت به بیوچار آن (CMB) بیشتر بود (جدول ۳). حسینی و آستارایی (۱۳۸۹) گزارش کردند که افزودن ۲۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار فراهمی عناصر آهن، روی و مس در خاک شد. همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد قارچ میکوریز و کود آلی نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت روی قابل استفاده در خاک به ترتیب در تیمارهای CM+GV و Cl+NG به مقدار ۱/۳۱۸ و ۰/۴۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول ۳). اثرات متقابل تیمارها نشان داد که

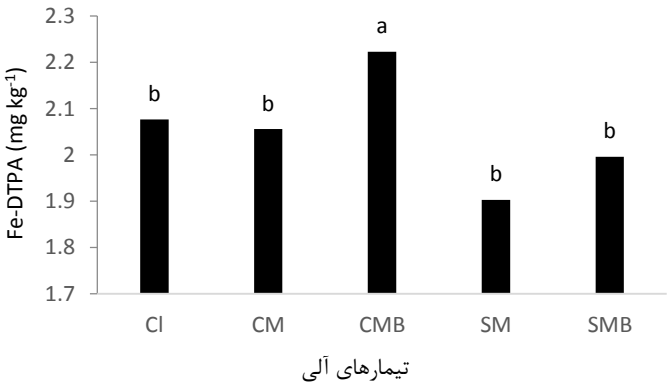
تأثیر قارچ میکوریز در تغییر غلظت روی قابل استفاده در خاک بستگی به نوع کود آلی کاربردی در خاک داشت. به طور مثال در تیمارهای Cl و SM کاربرد هر دو گونه قارچی تأثیر معنی‌داری را در افزایش غلظت روی قابل استفاده در خاک نداشت درحالی که در تیمارهای CM و SMB کاربرد هر دو گونه قارچی سبب افزایش روی قابل استفاده در خاک شد (جدول ۳) .

جدول ۳- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر غلظت روی عصاره‌گیری شده توسط DTPA در یک خاک آهکی

	SMB	CMB	SM	CM	CL	
۰/۷۵۵ B	۰/۵۱۶ gh	۱/۰۰۹ c	۰/۵۵۳ fg	۱/۲۲۲ b	۰/۴۷۶ h	NG
۰/۷۷۱ B	۰/۵۹۲ f	۰/۹۰۹ d	۰/۵۶۰ fg	۱/۲۸۲ a	۰/۵۱۰ gh	FM
۰/۸۴۱ A	۰/۷۸۴ e	۱/۰۳۲ c	۰/۶۰۴ f	۱/۳۱۸ a	۰/۴۶۸ h	GV
	۰/۶۳۱ C	۰/۹۸۳ B	۰/۵۷۲ D	۱/۲۷۴ A	۰/۴۸۴ E	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ یا کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات اصلی کاربرد قارچ میکوریز و اثرات متقابل کود آلی و قارچ میکوریز بر غلظت آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثرات اصلی کاربرد تیمار کود آلی بر غلظت آهن قابل استفاده در خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد تیمارهای آلی نشان داد که در بین تیمارهای کاربردی، تیمار CMB بیشترین تأثیر را در افزایش آهن قابل استفاده در خاک نسبت به تیمار شاهد به میزان ۷ درصد داشت. همچنین تیمارهای CM، SMB و SM تأثیر معنی-داری را بر غلظت آهن قابل استفاده در خاک نداشتند (شکل ۱). بیوچار کودمرغی (CMB) نسبت به تیمارهای دیگر حاوی آهن بیشتری بود، به‌همین دلیل افزودن این کود به خاک سبب افزایش بیشتر میزان آهن قابل‌جذب خاک شد. خادم و همکاران (۱۳۹۳) با افزایش کاربرد سطوح مود مرغی و گاوی از ۰ به ۲۰ تن در هکتار در یک خاک آهکی تحت کشت ذرت، افزایش معنی‌دار غلظت قابل جذب عناصر آهن، مس و روی را گزارش کردند.



شکل ۱. اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA در یک خاک آهکی پس از برداشت ذرت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کود دامی و همچنین برهمکنش کود آلی و قارچ میکوریز آربسکولار بر غلظت منگنز عصاره‌گیری شده توسط DTPA از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثرات اصلی کاربرد تیمار کود آلی بر غلظت منگنز قابل استفاده در خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای آلی نشان داد که هر چهار نوع کود آلی سبب افزایش معنی‌دار غلظت منگنز قابل استفاده در خاک نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین افزایش غلظت منگنز قابل استفاده در تیمار CM به میزان ۴۷/۲ درصد و کمترین میزان افزایش در تیمار SMB به میزان ۱۵/۲ درصد مشاهده شد (جدول ۴). کاربرد تیمارهای کود حیوانی (SM و CM) نسبت به بیوچار حاصله از آن‌ها (SMB و CMB) تأثیر بیشتری را در افزایش منگنز قابل استفاده در خاک داشتند (جدول ۴). زلفی-

باوریانی و همکاران (۱۳۹۵) با افزودن کود مرغی و بیوچار حاصل از آن (دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس) (۲ درصد وزنی) به یک خاک آهکی در مدت ۴۵ روز گزارش کردند که افزودن هر دو نوع ماده آلی سبب افزایش فراهمی عناصر روی، مس و منگنز در خاک شد ولی تأثیرکاربرد کود مرغی نسبت به بیوچارش بیشتر بود. آنان دلیل این امر را افزایش بیشتر پهاش خاک در اثر افزودن بیوچار نسبت به ماده اولیه دانستند. کاربرد هر دو گونه قارچی نیز سبب افزایش غلظت منگنز قابل استفاده در خاک شد ولی از نظر آماری فقط تأثیر قارچ GV معنی‌دار بود (جدول ۴). Habashy and Abozeid (2005) نیز نشان دادند که قابلیت استفاده منگنز در خاک تحت تأثیرتلقیح توسط قارچ *گلوموس اینترارادیسس* به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین غلظت منگنز قابل استفاده در تیمار مرکب SM+GV به مقدار ۹/۷۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد که حدود ۷۸/۵ درصد افزایش نسبت به تیمار مرکب Cl+NG بود. همچنین تأثیر قارچ‌های میکوریز در افزایش غلظت منگنز قابل استفاده خاک در تیمارهای آلی مختلف متفاوت بود (جدول ۴).

جدول ۴- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر غلظت منگنز عصاره‌گیری شده توسط DTPA در یک خاک آهکی

	SMB	CMB	SM	CM	CL	
۶/۷۳۹ B	۶/۳۴۳ f	۶/۹۸۹ e	۸/۰۷۱ c	۶/۸۳۶ e	۵/۴۵۷ hi	NG
۶/۷۴۵ B	۶/۰۰۱ g	۷/۳۳۴ d	۵/۴۴۶ hi	۹/۴۱۷ b	۵/۵۲۷ hi	FM
۶/۹۲۴ A	۶/۳۲۹ f	۵/۷۲۳ gh	۹/۷۳۹ a	۷/۶۰۷ d	۵/۲۲۱ i	GV
	۶/۲۲۵ D	۶/۶۸۲ C	۷/۷۵۲ B	۷/۹۵۳ A	۵/۴۰۲ E	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ یا کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کاربرد تیمارهای آلی و همچنین برهمکنش تیمارهای آلی و تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار بر غلظت مس عصاره‌گیری شده توسط DTPA از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثرات اصلی کاربرد تیمار تلقیح قارچی بر غلظت منگنز قابل استفاده در خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای آلی نشان داد که فقط کاربرد تیمار CM سبب افزایش معنی‌دار غلظت مس قابل استفاده خاک شد درحالی که کاربرد تیمارهای SM و CMB سبب کاهش معنی‌دار غلظت مس قابل استفاده در خاک شدند. تیمار SMB نیز تأثیر معنی‌داری را بر غلظت مس قابل استفاده نداشت (جدول ۵). نقش مواد آلی در نگهداری فلزات در خاک، برحسب اینکه ماده آلی خاک دارای جز محلول یا نامحلول بیشتری باشد، می‌تواند متفاوت باشد (Harter, 1991). همچنین رفتار ماده آلی با فلزات سنگین متفاوت بوده، به‌طوری‌که کمپلکس ماده آلی با مس موجب کاهش قابلیت جذب آن می‌شود (Zalidis et al., 1999). احتمالاً در اثر کاربرد تیمارهای SM و CMB، مس کمپلکس‌های پایدار و نامحلولی را با این نوع مواد آلی برقرار کرده و به‌همین دلیل میزان مس قابل استفاده در خاک کاهش یافته است. البته نوع ماده آلی و درجه تجزیه آن نیز می‌تواند بر کمپلکس مس با ماده آلی (محلول یا نامحلول) موثر باشد. نتایج برهمکنش تیمارها نیز نشان داد که بیشترین غلظت مس قابل استفاده در خاک در تیمار مرکب CM+GV به مقدار ۰/۶۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر غلظت مس عصاره‌گیری شده توسط DTPA در یک خاک آهکی

	SMB	CMB	SM	CM	CL	
۰/۶۳۰ A	۰/۶۵۴ bc	۰/۵۴۸ fg	۰/۵۶۰ f	۰/۶۳۳ d	۰/۶۶۶ b	NG
۰/۶۲۳ A	۰/۶۴۹ bcd	۰/۶۰۸ e	۰/۵۶۲ f	۰/۶۶۶ b	۰/۶۳۱ d	FM
۰/۶۱۲ A	۰/۶۵۸ bc	۰/۶۳۱ d	۰/۵۳۶ g	۰/۶۸۴ a	۰/۶۴۲ cd	GV
	۰/۶۵۴ AB	۰/۵۹۶ C	۰/۵۵۳ D	۰/۶۶۱ A	۰/۶۴۶ B	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ یا کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

به‌طورکلی نتایج نشان داد که تأثیرکاربرد کودمرغی در افزایش غلظت روی، منگنز و مس قابل استفاده (عصاره‌گیری‌شده توسط DTPA) نسبت به سایر تیمارهای آلی بیشتر بود. همچنین تأثیر قارچ *گلوموس‌ورسیفرم* در افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف نسبت به قارچ *فونلیفورمیس‌موسه* به‌طور محسوسی بیشتر بود.

منابع

آقاعلیخانی، م.، ایرانپور، ا. و نقدی‌بادی، ح. ۱۳۹۲. تغییرات عملکرد زراعی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.)) تحت تأثیر اوره و کود زیستی. مجله گیاهان دارویی، جلد دوازدهم، شماره ۲، صفحه‌های ۱۲۱ تا ۱۳۶.

امیدی، ح.، نقد بادی،ح.، گلزاد، ع.، ترابی، ح. و فتوکیان، م .۱۳۸۸ . تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.). فصلنامه گیاهان دارویی، جلد هشتم، شماره ۲، صفحه‌های ۹۸ تا ۱۰۸.

بوستانی، ح. ر.، چرم، م.، معزی، ع.، کریمیان، ن.، عنایتی‌ضمیر، ن. و زارعی، م. ۱۳۹۵. اثر کاربرد باکتری های محرک رشد گیاه و قارچ میکوریز آرباسکولار بر توزیع شکل های شیمیایی روی در یک خاک آهکی با سطوح مختلف شوری. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ششم، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۲۴.

نژادحسینی، ط. و آستارایی، ع. ۱۳۸۹. مطالعه اثر باقیمانده کودهای آلی، عناصر بر و روی بر ویژگی‌های خاک، وزن خشک و ترکیب شیمیایی گندم. مجله بوم‌شناسی کشاورزی، جلد دوم، شماره ۲، صفحه‌های ۲۱۵-۲۲۴.

خادم، ۱.، گلچین، ا.، شفیعی، س. و زارع، ا. ۱۳۹۳. تأثیر کودهای دامی و گوگرد بر میزان جذب عناصر غذایی توسط ذرت. مجله زراعت، جلد صدوسوم، صفحه‌های ۱۰ تا ۲۱.

زلفی باوریانی، م.، رونقی، ع.، کریمیان، ن.، قاسمی، ر. و یثربی، ج. ۱۳۹۵. اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگیهای شیمیایی یک خاک آهکی. مجله علوم آب و خاک، جلد بیستم، صفحه‌های ۷۳ تا ۸۶.

Abbasi M.K. and Anwar A.A. 2015. Ameliorating effects of biochar derived from poultry manure and white clover residues on soil nutrient status and plant growth Promotion - greenhouse experiments. PLoS ONE, 10(6): 1-18.

Balakrishnan N. and Subramanian K.S. 2012. Mycorrhizal symbiosis and bioavailability of micronutrients in maize grain. Maydica, 57: 129-138.

Habashy N.R. and Abo-Zied M.M.A. 2005. Impact of Cd-Pb polutted water on growth and elemental composition of onion plants growth on a calcareous soil inoculated with mycorrhiza. Egypt J App. Sci., 20: 586-590

Harter R.D. 1991. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. *In*: Mortvedt JJ *et al.* (Ed.). Micronutrients in Agriculture. 2nded., SSSA, Madison, WI. pp. 59-87

Ippolito J.A., Laird D.A. and Busscher W.J. 2012. Environmental benefits of biochar. Journal of Environmental Quality, 41: 967-972.

Lehmann J. and Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. P1-12, In: Lehmann J., and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London.

Page A.L. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods. Agronomy No.9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Subramanian K.S., Tenshia V., Jayalakhshmi K. and Ramachandran V. 2009. Role of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*)- (fungus aided) in zinc nutrition of maize. J Agric Biotech Sustainable Dev., 1: 29-38.

Zalidis G., Barbayiarinis N. and Matsi T. 1999. Forms and distribution of heavy metals in soils of the axios delta of northern Greece. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 30: 817-827.

Availability of some micronutrients as affected by biochar and arbuscular mycorrhiza fungi in a calcareous soil after corn cultivation

H. R. Boostani, M. Najafi-Ghiri, Al. Salehifard

Department of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

Abstract

The objective of present research was to evaluate the effect of organic manure (sheep and chicken) and their biochars, two types of arbuscular mycorrhizae fungi and their interactions on availability of some micronutrients in a calcareous soil after corn cultivation. A factorial experiment as a completely randomized

design was conducted with three replications. The first factor including organic manure at five levels (without organic manure, sheep manure, chicken manure, sheep manure biochar and chicken manure biochar each at 2 % w/w) and the second factor was fungal inoculation (non-inoculation, *Funneliformis mosseae* and *Glomus versiform*). The results showed that the effect of chicken manure application on increasing the bioavailable concentration of zinc, manganese and copper (extracted by DTPA) was higher than other organic treatments. Also, the effect of *Glomus versiform* fungi on enhancement of available micronutrient concentration in soil was considerably more than *Funneliformis mosseae* fungi. The effect of mycorrhizae fungous on change of micronutrients concentration in available form were different and depended on type of organic manure applied.

Key words: chicken manure, sheep manure biochar, *Funneliformis mosseae*, *Glomus versiform*