

اثرات کاربرد زغال زیستی و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه ذرت در یک خاک آهکی

* حمیدرضا بوستانی^۱، مهدی زارعی^۲ و وحید براتی^۳

^۱ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، آدانشیار گروه علوم خاک،
دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، آستادیار گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از زغال زیستی و کودهای آلی اثرات مثبتی بر حاصلخیزی خاک، تولید محصول و ترسیب کربن در خاک دارد. با این حال، اثرات آن‌ها بستگی به ویژگی‌های خاک، گونه گیاهی و نوع ماده اولیه مورد استفاده در تولید زغال زیستی دارد. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد کود آلی (گوسفندی و مرغی) و زغال زیستی حاصل از آن، دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه، درصد کلنیزاسیون ریشه، شاخص کلروفیل و جذب برخی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف توسط گیاه ذرت در یک خاک آهکی در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این پژوهش مقدار مناسبی خاک از افق سطحی (۰-۳۰) یک خاک آهکی برداشته و سپس هواخشک نموده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل کود آلی در پنج سطح (بدون کود آلی (CI)، کود گوسفندی (SM)، کود مرغی (PM)، زغال زیستی کود گوسفندی (SMB) و زغال زیستی کود مرغی (PMB) هر کدام ۲ درصد وزنی) و فاکتور دوم تلقیح قارچی در سه سطح (عدم تلقیح (NG)، تلقیح با قارچ فونلیفورمیس موسه (FM)، تلقیح با قارچ گلوبوسورسیرم (GV)) بود. زغال‌های زیستی با استفاده از گرماکافت کودهای آلی (دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت) در شرایط اکسیژن محدود تولید شد. پس از اعمال تیمارها، کشت گیاه به تعداد ۵ بذر ذرت رقم سینگل‌گراس ۷۰۴ در عمق حدود ۲ سانتی‌متری در گلدان‌های پلاستیکی انجام شد. در طول دوره رشد گیاه، رطوبت خاک با استفاده از آب مقطر در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. پس از ۱۰ هفته از رشد گیاه، عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل، درصد کلنیزاسیون ریشه و غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی اندام هوایی اندازه‌گیری شد. میزان جذب عناصر نیز از طریق ضرب غلظت عناصر در عملکرد ماده خشک اندام هوایی، محاسبه شد.

یافته‌ها: بیش‌ترین افزایش کلنیزاسیون ریشه در تیمار قارچ GV به میزان ۱۱۲ درصد مشاهده شد. کاربرد تیمارهای آلی نیز (به جز SMB) درصد کلنیزاسیون ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. افزودن هر چهار نوع تیمار آلی سبب

* مسئول مکاتبه: hr.boostani@shirazu.ac.ir

افزایش معنی دار شاخص کلروفیل برگ ذرت نسبت به تیمار شاهد شد، به طوری که بیشترین میزان این شاخص در تیمار SM مشاهده شد. ترتیب عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمارهای آلی به صورت $CI < SM < SMB < PM < PMB$ بود. همچنین، تأثیر کاربرد قارچ GV نسبت به قارچ FM در افزایش این شاخصها به مراتب بیش تر بود. کاربرد قارچ GV بر خلاف قارچ FM سبب افزایش معنی دار جذب مس و منگنز به ترتیب به میزان ۱۴/۷ و ۱۸/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. ترتیب جذب مس و منگنز در تیمارهای مختلف آلی به صورت $CI < SM < SMB < PM < PMB$ بود. در بین تیمارها فقط کاربرد مجزای زغال زیستی PMB و قارچ FM سبب افزایش معنی دار جذب آهن نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد قارچ FM به میزان ۱۵ درصد و قارچ GV به میزان ۴۵/۴ درصد جذب روی را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. ترتیب جذب روی در تیمارهای آلی به صورت $CI < SMB=SM < PMB=PM$ بود. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که اثر کاربرد هم‌زمان قارچ و کود آلی بر شاخصهای مورد مطالعه متفاوت و بستگی به نوع کود آلی و قارچ میکوریز کاربرد داشت.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که استفاده از زغالهای زیستی SMB و PMB، در مقایسه با استفاده از ماده اولیه آنها، در افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه ذرت مؤثرتر بودند. به طور کلی به نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان زغال زیستی PMB و قارچ GV در بهبود اکثر فاکتورهای مورد مطالعه نسبت به دیگر تیمارها مؤثرتر بود.

واژه‌های کلیدی: درصد کلنیزاسیون ریشه، فونلیفورمیس موسه، گلوموس ورسیفرم، جذب عناصر، کود آلی

مقدمه

اغلب خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک آهکی و دارای پهاش قلیایی هستند. این شرایط همراه با مقدار پایین ماده آلی در این خاکها سبب کاهش عملکرد بسیاری از گیاهان به واسطه کمبود عناصر غذایی می‌شود (۲۷). در این خاکها جهت رشد مطلوب گیاهان زراعی نیاز به افزودن کودهای شیمیایی، آلی و یا تلفیقی از این دو است. استفاده مداوم از کودهای شیمیایی علاوه بر دارا بودن هزینه زیاد و صرف انرژی، سبب آلودگی محیط زیست و تخریب خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک می‌شود، در حالی که افزودن کودهای آلی مانند کود حیوانی، کمپوست و غیره علاوه بر این که نسبتاً ارزان قیمت، در دسترس و دوستدار محیط زیست هستند، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند

(۴۰). سرعت تجزیه مواد آلی افزوده شده به خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل استفاده فشرده از زمین، دمای بالا و کمبود نزولات آسمانی زیاد بوده، بنابراین کشاورز هر ساله ناگزیر به استفاده مقدار قابل توجهی از کودهای آلی به خصوص انواع کودهای حیوانی است. اخیراً، تبدیل کودهای آلی به زغال زیستی (بیوجار) جهت کاربرد در زمین‌های کشاورزی، به عنوان یک کود آلی جایگزین، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (۱). زغال زیستی در واقع یک ترکیب آلی سیاه غنی از کربن است که در شرایط اکسیژن محدود از گرماکافت ضایعات آلی گیاهی یا حیوانی تولید و به عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۴). زغال زیستی یک ماده متخلخل ریزدانه است که در مقایسه با ماده آلی اولیه تشکیل‌دهنده آن، دارای حجم پایین تر و مقدار بیش تر کربن است. همچنین این ترکیب نسبت به تجزیه بسیار مقاوم تر و برای

ریشه بیش از ۸۰ درصد گیاهان ارتباط همزیستی برقرار می‌کنند (۴۷). این رابطه همزیستی می‌تواند در مقابل کربوهیدراتی که گیاه در اختیار قارچ قرار می‌دهد، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را تامین کند (۲۱). به‌طورکلی، گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریز آربوسکولار در جذب عناصر غذایی کاراتر و در برابر تنش‌های محیطی مقاوم‌تر هستند، که این امر سبب بهبود رشد گیاهان می‌شود (۳۵). زارع و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که تلقیح گیاه شبدر با قارچ فونلیفورمیس‌موسه سبب افزایش عملکرد و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط گیاه شد (۵۵). همچنین محمودزاده و همکاران (۲۰۱۶) افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم توسط گیاه نعنای فلفلی را گزارش کردند (۲۵). عملکرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌تواند در اثر افزودن مواد به‌ساز به خاک، از جمله زغال زیستی بهبود یابد (۵۱). زغال زیستی می‌تواند به‌عنوان پناهگاهی برای هیف قارچ‌های میکوریز عمل کند و آن‌ها را محافظت کند (۵۰) که نتیجه آن افزایش درصد همزیستی بین قارچ و گیاه میزبان است. سلیمان و همکاران (۲۰۱۰) اثرات مفید زغال زیستی را در ارتباط با افزایش درصد کلنیزاسیون قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با ریشه گندم و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و مقاومت گیاه گندم به تنش خشکی را گزارش کردند (۴۳). همچنین میکان و همکاران (۲۰۱۶) افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه در اثر افزودن زغال زیستی حاصل از چوب سخت (۲ درصد وزنی) را نتیجه افزایش رشد هیف‌های خارجی قارچ‌های آربوسکولار میکوریز می‌دانند (۳۲). وایترا و همکاران (۲۰۱۶) افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه در گیاه سویا را با کاربرد تیمار زغال زیستی گزارش کردند (۵۲).

گیاه ذرت پس از گندم و برنج مهم‌ترین ماده غذایی دنیا را تشکیل می‌دهد. ذرت در فراهم آوردن

مدت زمان طولانی می‌تواند در خاک باقی‌ماند (۴). زغال زیستی به‌وسیله راه‌های متعددی مانند بهبود خصوصیات کیفی خاک (۴۲)، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، نگهداری آب و مواد غذایی (۱۵)، افزایش میزان ترسیب کربن در خاک و کاهش تصعید گازهای گلخانه‌ای (۶)، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی (۲۰) و تحریک فعالیت ریزجانداران خاک (۲۳) سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. اوزما و همکاران (۲۰۱۱) افزایش معنی‌دار جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اثر کاربرد سطوح مختلف زغال زیستی کود گاوی (۰، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار) مشاهده کردند (۴۸). گونس و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی در گیاه کاهو در اثر کاربرد کود مرغی و زغال زیستی حاصل از آن کاهش یافت. آنان دلیل این امر را وقوع پدیده رقت در اثر افزایش شدید عملکرد در اثر کاربرد این دو نوع ماده آلی در خاک دانستند (۱۶). همچنین اینال و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد سطوح کود مرغی و زغال زیستی حاصل از آن (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) در یک خاک آهکی، افزایش معنی‌دار غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی را در گیاه لوبیا گزارش کردند (۱۹). ژو و همکاران (۲۰۱۵) نیز با کاربرد زغال زیستی پوسته بادام‌زمینی (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) در دو خاک با بافت مختلف مشاهده کردند که جذب نیتروژن در اندام هوایی بادام‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۵۳). نتایج پژوهش‌های پیشین، نشان داده است که کاربرد زغال‌های زیستی با منابع اولیه مختلف، می‌تواند اثرات کاملاً متفاوتی را در پاسخ‌های گیاهی و تغییرات غلظت و جذب عناصر غذایی در گیاهان مختلف داشته باشد (۶، ۱۴ و ۲۶).

یکی از مهم‌ترین ریزجانداران موجود در ریزوسفر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار هستند. این قارچ‌ها با

حاضر بررسی اثر کاربرد کود حیوانی (گوسفندی و مرغی) و زغال زیستی حاصل از آنها، دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار و برهمکنش آنها بر عملکرد خشک، درصد کلنیزاسیون ریشه، شاخص کلروفیل و جذب برخی عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف توسط گیاه ذرت در یک خاک غیراستریل آهکی در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و تعیین ویژگی‌های خاک: جهت انجام این پژوهش مقدار مناسبی خاک از افق سطحی (۰-۳۰ سانتی متر) 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 میلی متری برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک به روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (۳۶) (جدول ۱).

مواد غذایی انسان، خوراک دام و مواد اولیه برخی از صنایع وابسته به کشاورزی از اهمیت فراوانی برخوردار است (۱۳). متوسط عملکرد ذرت به طور قابل توجهی در اثر افت سطح حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد (۳)، بنابراین به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک از طریق کاربرد مواد آلی و روش‌های بیولوژیکی می‌تواند به افزایش سطح تولید این گیاه مهم و استراتژیک به خصوص در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک که دچار فقر ماده آلی هستند، کمک شایانی کند.

از آن‌جا که پژوهش‌های بسیار محدودی در ارتباط با اثرات برهمکنش زغال زیستی و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به‌ویژه در خاک‌های آهکی بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاهان صورت گرفته و با عنایت به این‌که اثرات کاربرد زغال‌های زیستی مختلف با مواد اولیه و شرایط گرماکافت متفاوت، بر رشد و نمو گیاهان مختلف، یکسان نیست، هدف از پژوهش

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some physicochemical properties of soil sample.

مقدار Value	خصوصیت Property	مقدار Value	خصوصیت Property
17.0	فسفر قابل استفاده Available-P (mg kg ⁻¹)	لومی loamy	بافت خاک Soil texture
0.45	روی عصاره‌گیری شده با دی‌تی‌پی‌ا DTPA-Zinc (mg kg ⁻¹)	7.8	پ‌هاس pH
0.6	مس عصاره‌گیری شده با دی‌تی‌پی‌ا DTPA-Copper (mg kg ⁻¹)	1.1	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
5.2	منگنز عصاره‌گیری شده با دی‌تی‌پی‌ا DTPA-Manganese (mg kg ⁻¹)	1	ماده آلی OM (%)
2.5	آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تی‌پی‌ا DTPA-Iron (mg kg ⁻¹)	16	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmol(+) kg ⁻¹)
		42.0	کربنات کلسیم معادل CCE (%)

آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). پ‌هاس توسط روش سان و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از سوسپانسیون ۱:۲۰ کود آلی به آب مقطر (۴۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ کود آلی به آب مقطر (۵۴) و درصد کربن و نیتروژن توسط دستگاه ThermoFinnigan Flash EA) CHN Analyzer (1112 Series) اندازه‌گیری شد. جهت تعیین غلظت کل عناصر فسفر، پتاسیم، مس، روی، آهن و منگنز از عصاره حاصل از روش خشک‌سوزانی و حل خاکستر حاصل در اسید کلریدریک ۲ نرمال استفاده شد (۱۱). در عصاره حاصل، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، غلظت پتاسیم توسط روش شعله‌سنجی توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (Corning 510, UK) و غلظت عناصر کم‌مصرف توسط دستگاه جذب اتمی (AAS; PG) (990, PG Instruments Ltd. UK) تعیین شد.

تولید زغال زیستی و مشخصات آن: زغال‌های زیستی مورد استفاده حاصل دو نوع کود آلی مختلف شامل کود گوسفندی و کود مرغی بود که از طریق روش گرماکافت آهسته در شرایط اکسیژن محدود تهیه شد (۳۱). روش کار به این صورت بود که مواد آلی موردنظر آسیاب شده و در یک کوره الکتریکی در شرایط اکسیژن محدود در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند. دمای گرماکافت به صورت تدریجی بالا برده شد به طوری که از دمای اتاق شروع شد و در هر یک دقیقه پنج درجه سلسیوس دمای کوره افزایش یافت تا دما به ۵۰۰ درجه سلسیوس (دمای نهایی) رسید و سپس نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در این دما نگهداری شدند. پس از آن، زغال‌های زیستی تولیدی در دمای اتاق به تدریج سرد شدند و قبل از استفاده از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند (۳۰). برخی از ویژگی‌های شیمیایی مواد اولیه و زغال‌های زیستی تولیدی توسط روش‌های استاندارد

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی و زغال‌های زیستی آنها.

Table 2. Some chemical characteristics of organic manures and their biochars.

زغال زیستی کود مرغی Poultry manure biochar	کود مرغی Poultry manure	زغال زیستی کود گوسفندی Sheep manure biochar	کود گوسفندی Sheep manure	خصوصیت Property
8.80	6.80	12.6	10.92	قابلیت هدایت الکتریکی EC (1:10)(dS m ⁻¹)
10.26	8.42	10.21	8.08	پ‌هاس pH (1:20)
27.07	18.81	34.11	31.89	کربن Carbon (%)
2.56	2.61	1.84	2.01	نیتروژن Nitrogen (%)
3025	2750	1500	1025	فسفر کل Total phosphorous (mg kg ⁻¹)
12500	6500	18500	10500	پتاسیم کل Total Potassium (mg kg ⁻¹)
210.50	156.50	36.50	22.95	روی کل Total zinc (mg kg ⁻¹)
22.35	12.85	15.75	8.25	مس کل Total copper (mg kg ⁻¹)
262.70	183.85	185.15	113.50	منگنز کل Total manganese(mg kg ⁻¹)
2760.00	1358.50	2433.00	2079.50	آهن کل Total iron (mg kg ⁻¹)

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. سوسپانسیون ۱:۱۰ از زادمایه استریل نشده هر دو قارچ با آب مقطر تهیه گردید و از فیلتر (با منافذ ۸ میکرومتر) عبور داده شد و مقدار ۵ میلی‌لیتر به خاک گلدان‌ها اضافه گردید. قبل از کشت، بذور ذرت را به مدت ۳۰ ثانیه با الکل ۹۶ درصد و سپس به مدت ۱/۵ تا ۲ دقیقه در محلول وایتکس ۱۰ درصد ضدعفونی سطحی کرده و با آب مقطر استریل ۷ تا ۸ مرتبه شستشو داده شد. پس از اعمال تیمارهای قارچی، کشت گیاه به تعداد ۵ بذر ذرت رقم سینگل گراس ۷۰۴ در عمق حدود ۲ سانتی‌متری انجام شد. در هفته دوم رشد گیاه در هر گلدان فقط دو بوته نگهداری شد. در طول دوره رشد، رطوبت گلدان‌ها روزانه به صورت وزنی با استفاده از آب مقطر در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگه‌داشته شدند. پس از ۱۰ هفته از رشد گیاه، شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-502 و ماده خشک اندام هوایی (عملکرد خشک) و ریشه اندازه‌گیری شد. جهت سنجش وزن ماده خشک اندام‌هوایی، پس از قطع اندام‌هوایی از محل طوقه و شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون نگهداری شد تا خشک شود و آن‌گاه توزین گردید. همچنین ریشه‌ها نیز به دقت از خاک گلدان‌ها جدا، با آب مقطر شسته و پس از آون خشک شدن و رسیدن به وزن ثابت توزین شدند.

تجزیه گیاه و تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه: ماده خشک اندام‌هوایی، توسط آسیاب برقی پودر شده و سپس ۱ گرم از آن در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس، خاکستر و بعد از حل در اسید کلریدریک ۲ نرمال از کاغذ صافی عبور داده شد و

تیمارها و آزمایش گلخانه‌ای: 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 (CI)، کود گوسفندی (SM)، کود مرغی (PM)، زغال زیستی کود گوسفندی (SMB) و زغال زیستی کود مرغی (PMB) هر کدام ۲ درصد وزنی) و فاکتور دوم شامل تلقیح قارچی در سه سطح (عدم تلقیح (NG)، تلقیح با قارچ فونلیفورمیس‌موسه (FM) و تلقیح با قارچ گلوموسورسیفرم (GV)) بود. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از آزمایشگاه بیولوژی بخش علوم خاک دانشگاه شیراز تهیه شد. در آغاز نمونه‌های دو کیلوگرمی از خاک هوا خشک (غیراستریل) که از الکل ۲ میلی‌متری عبور داده شده را درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و سپس تیمارهای آلی، طبق طرح آزمایشی به خاک‌ها افزوده شدند. خاک درون کیسه‌های پلاستیکی کاملاً مخلوط و به گلدان‌های ۲/۵ کیلوگرمی انتقال داده شد و رطوبت خاک توسط آب مقطر به حدود رطوبت ظرفیت مزرعه رسانده شد. برای انجام واکنش‌های لازم، نمونه‌های خاک تیمار شده توسط مواد آلی، به مدت ۱۵ روز در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. بعد از این مرحله نیمی از نیتروژن مورد نیاز را از منبع اوره (۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) بر اساس نتایج آزمون خاک، به خاک‌ها افزوده شدند. نوبت دوم نیتروژن، در آخر هفته چهارم رشد گیاه ذرت به خاک گلدان‌ها افزوده شد. 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 کلنیزه‌شده (۸۵-۸۰ درصد) و کلنیزه‌نشده ریشه‌ای) افزوده و با

بر متر) نسبت به کود مرغی (۶/۸۰) دسی‌زیمنس بر متر) بیش‌تر بود، در حالی که مقدار پ‌ه‌اش کود مرغی (۸/۴۲) نسبت به کود گوسفندی (۸/۰۸) بیش‌تر بود. به‌طورکلی کود مرغی از نظر مقدار عناصر غذایی غنی‌تر از کود گوسفندی بود. در اثر تبدیل کودهای گوسفندی و مرغی به زغال زیستی مقدار پ‌ه‌اش، قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت اکثر عناصر غذایی به‌جز نیتروژن افزایش یافت. افزایش پ‌ه‌اش و قابلیت هدایت الکتریکی در اثر تبدیل کود آلی به زغال زیستی احتمالاً می‌تواند در اثر افزایش غلظت اکسیدهای فلزی (کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم)، افزایش مقدار خاکستر و همچنین جدا شدن مواد معدنی از بخش آلی در اثر گرماکافت باشد (۴۴). کلاستون و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با افزایش دمای گرماکافت مقدار نیتروژن کل زغال زیستی شلتوک برنج کاهش و مقدار عناصر پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم و سدیم افزایش یافت (۸). حسین و همکاران (۲۰۱۱) افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف را در زغال زیستی لجن فاضلاب گزارش کردند و بیان کردند که افزایش غلظت عناصر با افزایش دما به شکل‌های شیمیایی عنصر و یا تبخیر عناصر در دماهای بالا بستگی دارد (۱۸).

کلنیزاسیون ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد تیمار کود آلی و قارچ میکوریز بر درصد کلنیزاسیون ریشه ذرت از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در صورتی که اثرات متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

سپس توسط آب مقطر به حجم رسانده شد. در عصاره حاصل، غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی به وسیله دستگاه جذب اتمی (AAS; PG 990 PG Instruments Ltd. UK) و غلظت پتاسیم توسط روش نشر شعله‌ای با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Corning 510, UK) اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر نیز از طریق روش رنگ‌سنجی و محلول آمونیوم مولیبدووانادات و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین شد (۳۳). برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از روش تیتراسیون بعد از تقطیر با دستگاه کج‌دال استفاده شد. میزان جذب عناصر غذایی در اندام هوایی از حاصلضرب وزن خشک در غلظت آن‌ها محاسبه شد. برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه، حدود ۱ گرم از ریشه‌های ظریف و ریز از هر گلدان انتخاب کرده و پس از شستشو با آب مقطر به آزمایشگاه منتقل و رنگ‌آمیزی شدند. جهت رنگ‌آمیزی از روش فیلیپس و هایمن (۱۹۷۷) استفاده شد (۳۷). در نهایت با روش تقاطع خطوط شبکه درصد کلنیزاسیون ریشه محاسبه گردید (۹).

پردازش اطلاعات: پس از به‌دست آوردن نتایج آزمایشگاهی و گلخانه‌ای جهت بررسی اثر فاکتورهای مورد مطالعه و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد خشک، شاخص کلروفیل، درصد کلنیزاسیون ریشه و جذب برخی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف در گیاه، تجزیه‌های آماری داده‌ها، به‌وسیله نرم‌افزار MSTATC انجام و میانگین‌های مربوط به اثرهای اصلی هر یک از عامل‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های کودهای آلی مورد استفاده: قابلیت هدایت الکتریکی کود گوسفندی (۱۰/۹۲) دسی‌زیمنس

جدول ۳- میانگین مربعات برخی از شاخص‌های رشد و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ذرت تحت تأثیر کاربرد کود آلی و تلقیح توسط قارچ میکوریز آربوسکولار.

Table 3. The mean squares of some growth indices and nitrogen, phosphorous and potassium uptake of corn as affected by organic manure application and inoculation by arbuscular mycorrhizae fungi.

جذب پتاسیم	جذب فسفر	جذب نیتروژن	شاخص کلروفیل	کلیزاسیون ریشه	ماده خشک ریشه	ماده خشک اندام هوایی	ماده خشک ماده	درجه آزادی	منابع تغییر
Potassium uptake	Phosphorous uptake	Nitrogen uptake	Chlorophyll index	Root colonization	Root dry matter	Shoot dry matter	S.O.V	DF	S.O.V
68618.222**	251.265**	57602.627**	33.695**	459.882**	2.800**	76.870**	76.870**	4	کود آلی (OM)
4831.801**	26.116**	10605.823**	5.107 ^{ns}	7816.272**	0.490**	8.897**	8.897**	2	تلقیح قارچ (F)
2719.976**	8.749**	2610.376**	8.745**	162.737*	0.126**	4.862**	4.862**	8	کود آلی × تلقیح قارچ (OM × F)
172.053	0.908	54.007	1.980	55.629	0.002	0.041	0.041	30	خطا Error

** , * , ^{ns} are significant at 0.01, 0.05 probability level and not significant respectively.

و * به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

کلنیزاسیون ریشه در تیمار PMB+GV وجود داشت (جدول ۴). وایترا و همکاران (۲۰۱۶) افزایش درصد کلنیزاسون ریشه در گیاه سویا را با کاربرد تیمارهای زغال زیستی، ورمی کمپوست و زغال زیستی- ورمی کمپوست مشاهده کردند و بیان کردند که بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در تیمار کاربرد توأم ماده آلی وجود داشت (۵۲). میکان و همکاران (۲۰۱۶) افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه در اثر افزودن زغال زیستی حاصل از چوب سخت (۲ درصد وزنی) را نتیجه افزایش رشد هیف‌های خارجی قارچ‌های آربوسکولار میکوریز می‌دانند (۳۲). زغال زیستی از راه‌های مختلفی (مانند الف) تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی و خواص خاک (ب) تحریک جمعیت میکروبی خاک که به همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار کمک می‌کنند (ج) اختلال در سیگنال‌های شیمیایی یا سم‌زدایی از مواد شیمیایی که مانع فعالیت قارچ میکوریز هستند (د) ایجاد یک پناهگاه فیزیکی برای قارچ‌ها در برابر شکارچیان آن‌ها در خاک، می‌تواند بر درصد همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با ریشه گیاهان تأثیرگذار باشد (۵۰). ماتسوبارا و همکاران (۱۹۹۵) و ساتیو (۱۹۹۰) نیز بیان کردند که افزودن مواد کربنی به خاک از طریق به وجود آوردن شرایط بهینه نفوذپذیری آب و هوا در خاک، می‌تواند سبب افزایش رشد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک شود (۲۹ و ۳۸).

مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد قارچ میکوریز نشان داد که استفاده از هر دو نوع قارچ سبب افزایش معنی‌دار درصد کلنیزاسیون ریشه شد به طوری که به ترتیب کاربرد قارچ FM و GV سبب افزایش ۸۹/۴ و ۱۱۲ درصدی میزان کلنیزاسیون ریشه شد (جدول ۴). اختلاف بین گونه‌های قارچی در کلنیزاسیون ریشه می‌تواند به بیولوژی میکروارگانیسم‌ها، قدرت رقابت آن با سایر میکروب‌ها، خصوصیات ریشه گیاه و خواص فیزیکی خاک و محیط گیاه میزبان وابسته باشد (۲۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار کود آلی نشان داد که کاربرد تیمارهای SM، PM و PMB سبب افزایش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت نسبت به تیمار شاهد شدند در صورتی که کاربرد زغال زیستی SMB تأثیر معنی‌داری را بر این ویژگی نداشت (جدول ۴). عبداللهی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که افزودن ۱۲ تن در هکتار کود مرغی به یک خاک اسیدی با بافت سیلت لوم سبب افزایش معنی‌دار درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه ذرت شد. آنان بیان کردند که کاربرد کودهای آلی می‌تواند توده زنده میکروبی خاک را افزایش داده و اعمال بیولوژیکی خاک را در اثر عرضه مستقیم کربن آلی خارجی به خاک بهبود بخشد (۲).

همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که کم‌ترین مقدار درصد کلنیزاسیون ریشه در تیمار Cl+NG مشاهده شد و بیشترین درصد

جدول ۴- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه ذرت در یک خاک آهکی.

Table 4. Effect of organic manure and arbuscular mycorrhiza fungi on root colonization percentage of corn in a calcareous soil.

	SMB	PMB	SM	PM	CL	
38.50 ^C	32.75 ^{fg}	44.94 ^{ef}	48.02 ^{de}	43.36 ^{de}	20.40 ^g	NG
72.91 ^B	59.14 ^{cd}	80.15 ^{ab}	70.39 ^{bc}	80.21 ^{ab}	74.67 ^{ab}	FM
81.68 ^A	69.75 ^{bc}	86.42 ^a	84.85 ^a	82.16 ^{ab}	85.25 ^a	GV
	53.18 ^B	70.50 ^A	67.75 ^A	69.58 ^A	60.11 ^B	

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

* Numbers followed by same letters in each column and rows are not significantly ($P < 0.05$) different.

شدند، به طوری که بیشترین عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه در اثر کاربرد قارچ GV و به ترتیب به میزان ۸/۶ و ۱/۹۵ گرم در گلدان حاصل شد که این مقادیر به ترتیب معادل ۲۰/۲۵ و ۲۱/۱۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود. توسایننت و اسمیت (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاربرد قارچ گلوموس موسه (*Glomus mosseae*) و گلوموس کالدنیوم (*Glomus caledonium*) سبب افزایش چشمگیر عملکرد ریحان شد (۴۶). در رابطه با تأثیر مثبت کاربرد تیمارهای قارچی بر وزن خشک می توان بیان نمود؛ قارچ میکوریز از طریق گسترش هیف و توسعه سیستم ریشه، سطح جذب آب بیشتری برای گیاه فراهم و به دنبال جذب آب بیشتر، مواد غذایی بیشتری جذب شده که منجر به تولید و تجمع ماده خشک بیشتری در گیاه می گردد (۵).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که در تیمارهای آلی SM، SMB و CI، تلقیح خاک توسط هر دو نوع قارچ میکوریز آربوسکولار، سبب افزایش عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه ذرت شد، در حالی که در تیمار آلی PMB، کاربرد هر دو نوع قارچ سبب کاهش عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه شد. این در حالی بود که در تیمار آلی PM افزودن قارچ FM سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه و کاربرد قارچ GV سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی شد. در تیمار آلی PM وزن خشک ریشه در اثر کاربرد قارچ GV افزایش یافت ولی معنی دار نبود. این موضوع نشان دهنده این است که نوع ماده آلی کاربردی بر کارایی قارچ میکوریز در افزایش عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه ذرت تأثیر مستقیم دارد.

ماده خشک اندام هوایی و ریشه: اثرات اصلی تیمارهای کود آلی و قارچ میکوریز و برهمکنش آنها بر عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه ذرت در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد کود آلی نشان داد که افزودن هر دو نوع کود آلی و زغال زیستی حاصل از آنها سبب افزایش معنی دار عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. ترتیب وزن خشک اندام هوایی و ریشه ذرت در تیمارهای مختلف آلی به صورت $CI < SM < SMB < PM < PMB$ بود. فرهاد و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که با افزایش کاربرد سطح کود مرغی از ۴ به ۱۲ تن در هکتار عملکرد بیولوژیک ذرت به طور معنی داری افزایش یافت که علت آن را مقدار قابل توجه نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کود مرغی و عرضه آن جهت استفاده گیاه در خاک دانستند (۱۲). عباسی و انوار (۲۰۱۵) با کاربرد دو نوع زغال زیستی حاصل از شبدر سفید و کود مرغی (۳۰ مگاگرم در هکتار) در یک خاک لومی در شرایط گلخانه مشاهده کردند که عملکرد بیولوژیک دو گیاه گندم و ذرت و همچنین وزن خشک ریشه در دو گیاه به طور معنی داری نسبت به تیمار عدم کاربرد زغال زیستی افزایش یافت. کاربرد زغال زیستی کود مرغی در افزایش عملکرد خشک ریشه و اندام هوایی هر دو گیاه نسبت به زغال زیستی شبدر سفید به مراتب بهتر بود. آنان بیان کردند که افزایش ماده آلی خاک و بهبود شرایط تغذیه ای گیاه و همچنین بهبود شرایط ساختمان خاک از جمله دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر افزودن زغال زیستی به خاک می باشند (۱). به طور کلی کاربرد قارچهای میکوریز سبب افزایش معنی دار عملکرد خشک اندام هوایی و ریشه ذرت

جدول ۵- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر ماده خشک اندام هوایی و ریشه ذرت (گرم در گلدان) در یک خاک آهکی.

Table 5. Effect of organic manure and arbuscular mycorrhiza fungi on shoot and root dry matter of corn (g pot⁻¹) in a calcareous soil.

	SMB	PMB	SM	PM	C	
ماده خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) Shoot dry matter (g pot ⁻¹)						
	7.14 ^C	5.19 ^h	12.30 ^a	4.89 ^{hi}	9.21 ^d	4.10 ^j NG
	7.40 ^B	7.02 ^f	11.61 ^b	5.61 ^g	8.16 ^e	4.61 ⁱ FM
	8.59 ^A	10.80 ^c	11.94 ^b	5.21 ^h	9.36 ^d	5.61 ^g GV
	7.67 ^C	11.95 ^A	5.24 ^D	8.91 ^B	4.77 ^E	
ماده خشک ریشه (گرم در گلدان) Root dry matter (g pot ⁻¹)						
	1.61 ^C	1.21 ^{gh}	2.62 ^a	1.20 ^{hi}	2.05 ^c	1.00 ^j NG
	1.70 ^B	1.63 ^e	2.27 ^b	1.37 ^f	1.81 ^d	1.12 ⁱ FM
	1.95 ^A	2.51 ^b	2.54 ^b	1.27 ^g	2.08 ^c	1.37 ^f GV
	1.78 ^C	2.54 ^A	1.28 ^D	1.98 ^B	1.16 ^E	

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

* Numbers followed by same letters in each column and rows are not significantly (P<0.05) different.

نداشتند (جدول ۶). آدجومو و همکاران (۲۰۱۶) با کاربرد دو نوع زغال زیستی حاصل از بقایای آفتابگردان و سبوس برنج تهیه شده در دماهای مختلف (۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) و در سه سطح مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) در یک آزمایش مزرعه‌ای در کشت ذرت بیان کردند که کاربرد هر دو نوع زغال زیستی سبب افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل برگ ذرت نسبت به تیمار عدم کاربرد زغال زیستی شد (۳). آنان بیان کردند که تأثیر کاربرد زغال زیستی سبوس برنج در افزایش میزان کلروفیل برگ نسبت به زغال زیستی آفتابگردان بیش‌تر بود و حداکثر کلروفیل برگ در تیمار زغال زیستی سبوس تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و میزان ۵ تن در هکتار مشاهده شد. آهن و منیزیم دو عنصر مهم و اساسی در تشکیل و ساخت کلروفیل به‌شمار می‌روند و افزایش مقدار کلروفیل برگ گیاه در اثر

شاخص کلروفیل: غلظت کلروفیل برگ، شاخص مستقیم سلامتی گیاه و وضعیت رشد آن است و می‌تواند شاخصی از فعالیت فتوسنتزی گیاه باشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمار کود آلی و اثرات متقابل تیمارهای کود آلی و قارچ میکوریز بر شاخص کلروفیل برگ گیاه ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی، اثرات اصلی تیمار قارچ میکوریز بر این شاخص معنی‌دار نشد (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد کود آلی نشان داد که افزودن هر چهار نوع تیمار آلی سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ ذرت نسبت به تیمار شاهد شد به طوری که بیش‌ترین میزان این شاخص در تیمار کاربرد SM مشاهده شد. هر چند کاربرد PMB تأثیر بهتری را در افزایش این شاخص نسبت به SMB داشت ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری

معنی دار شاخص کلروفیل برگ شد، در حالی که تلقیح دیگر تیمارها (SM, PM, SMB) توسط هر دو نوع قارچ میکوریز تغییر معنی داری را در این شاخص ایجاد نکردند (جدول ۶). بنابراین، مشاهده می شود که نوع کود آلی کاربردی در تأثیر قارچ میکوریز بر این شاخص نیز اثرگذار است.

افزودن مواد آلی به خاک می تواند به میزان بالای آهن و منیزیم در ماده آلی کاربردی مربوط باشد (۳۴). کاربرد هر دو نوع قارچ میکوریز سبب افزایش مقدار شاخص کلروفیل برگ شد ولی این افزایش از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که در تیمارهای PMB و CI، کاربرد هر دو نوع قارچ میکوریز سبب افزایش

جدول ۶- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر شاخص کلروفیل برگ گیاه ذرت در یک خاک آهکی.

Table 6. Effect of organic manure and arbuscular mycorrhiza fungi on chlorophyll index of corn leaf in a calcareous soil.

	SMB	PMB	SM	PM	CL	
30.47 ^A	31.50 ^{bc}	30.30 ^c	34.57 ^a	30.00 ^{cd}	26.00 ^e	NG
31.64 ^A	32.07 ^{abc}	33.87 ^{ab}	32.30 ^{abc}	32.27 ^{abc}	27.70 ^{de}	FM
31.08 ^A	30.17 ^{cd}	33.20 ^{ab}	32.00 ^{abc}	29.67 ^{cd}	30.77 ^c	GV
	31.24 ^{BC}	32.46 ^{AB}	32.96 ^A	30.64 ^C	28.02 ^D	

* میانگین های دارای حروف بزرگ یا کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی دار نیستند.

* Numbers followed by same letters in each column and rows are not significantly (P<0.05) different.

برای تجزیه و تامین کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه است. همچنین، بسته به نوع مواد اولیه زغال زیستی، مقدار مصرف و مدت زمان تماس آن با خاک، مشاهده شده که آبشویی آمونیوم از خاک کاهش یافته، بنابراین راندمان استفاده نیتروژن توسط گیاه بالا می رود (۴۱). ژو و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد زغال زیستی پوسته بادام زمینی (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) در دو خاک با بافت مختلف مشاهده کردند که جذب نیتروژن در اندام هوایی بادام زمینی به طور معنی داری افزایش یافت. آنان بیان کردند که در اثر افزودن زغال زیستی به خاک تثبیت بیولوژیکی نیتروژن افزایش یافته و سبب افزایش جذب نیتروژن اندام هوایی می شود (۵۳).

کاربرد قارچ FM تأثیر معنی داری را در جذب نیتروژن اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد نداشت، در حالی که کاربرد قارچ GV سبب افزایش معنی دار جذب نیتروژن و به میزان ۲۲/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد. نقش قارچ میکوریز در افزایش مقدار نیتروژن در

جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم

نیتروژن: اثرات اصلی تیمارهای کود آلی و قارچ میکوریز و همچنین اثرات متقابل آن ها بر جذب نیتروژن اندام هوایی در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار کود آلی نشان داد که کاربرد تمام تیمارهای آلی سبب افزایش معنی دار جذب نیتروژن در اندام هوایی گیاه نسبت به تیمار شاهد شد، به طوری که کاربرد زغال زیستی هر دو نوع کود دامی و مرغی تأثیر به مراتب بهتری در افزایش جذب نیتروژن نسبت به ماده اولیه خود داشتند. بیشترین افزایش مقدار جذب نیتروژن در اندام هوایی مربوط به تیمار کاربرد زغال زیستی PMB و به میزان ۲/۶ برابر تیمار شاهد بود. ترتیب جذب نیتروژن در اندام هوایی به صورت $CI < SM < SMB < PM < PMB$ بود. نسبت کربن به نیتروژن تمامی مواد آلی به کار رفته در این پژوهش کم تر از ۲۰ است که نشان دهنده شرایط لازم

کاربرد قارچ‌های FM و GV نیز سبب افزایش معنی‌دار جذب فسفر اندام هوایی به ترتیب به میزان ۱۱/۶ و ۲۱/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۷). زارع و همکاران (۲۰۰۹) با کاربرد قارچ کلوموس‌موسه افزایش معنی‌دار جذب فسفر توسط گیاه شبدر را گزارش کردند (۵۵). قارچ‌ها با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک، سطح جذب فسفر توسط ریشه گیاه را افزایش می‌دهند. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین مقدار جذب فسفر توسط اندام هوایی ذرت در تیمار GV+PMB مشاهده شد در صورتی که کم‌ترین مقدار جذب فسفر در تیمار CH+NG بود (جدول ۷). ماو و اوتامی (۲۰۱۴) با کاربرد سطوح مختلف زغال زیستی کود گاوی (۰، ۵ و ۷/۵ گرم در کیلوگرم خاک) و چهار سطح تلقیح قارچ میکوریز (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ اسپور در کیلوگرم خاک) در خاک گزارش کردند که پس از گذشت هشت هفته از رشد گیاه، جذب فسفر اندام هوایی ذرت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان جذب فسفر در تیمار مرکب کاربرد توأم ۷/۵ گرم زغال زیستی کود گاوی در کیلوگرم خاک و ۱۵ اسپور در کیلوگرم خاک مشاهده شد (۲۸).

پتاسیم: اثرات اصلی تیمار کود آلی و قارچ میکوریز و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر جذب پتاسیم توسط اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد قارچ میکوریز نشان داد که تلقیح ذرت توسط هر دو نوع قارچ کاربردی سبب افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم توسط اندام هوایی گیاه شد به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار جذب پتاسیم در اثر کاربرد قارچ GV به‌میزان ۲۶۵/۷ میلی‌گرم در گلدان بود (جدول ۷). شلوسک و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که همزیستی ریشه‌های گیاه *Aster tripolium* با قارچ ریزوفگوس ایرگولاریس (*R. Irregularis*) سبب افزایش جذب پتاسیم توسط

گیاهان با تحریک بیان آنزیم نیترات‌رداکتاز (افزایش جذب نیتروژن به فرم نیترات یا آمونیوم توسط میسلیم‌های خارجی قارچ با مصرف نیترات توسط آنزیم نیترات‌رداکتاز) و افزایش سطوح آنزیم دی‌کینازگلوکان (جهت جلوگیری از رشد پاتوژن‌های گیاهی) به‌خوبی مشخص شده است (۱۰).

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار جذب نیتروژن توسط اندام هوایی به ترتیب مربوط به کاربرد تیمارهای GV+PMB و CH+NG بود (جدول ۷). سلیمان و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کاربرد زغال زیستی از طریق کمک به کلونیزه‌شدن قارچ‌های میکوریز آربوسکولار سبب افزایش جذب نیتروژن در اندام هوایی گندم شد (۴۳).

فسفر: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کاربرد تیمار کود آلی و قارچ میکوریز و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر جذب فسفر اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای آلی نشان داد که افزودن هر دو نوع کود آلی و زغال زیستی حاصل از آن‌ها سبب افزایش معنی‌دار جذب فسفر در اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد، به‌طوری‌که با کاربرد تیمارهای PMB، PM، SMB و SM به ترتیب حدود ۱۶۳، ۹۲/۸، ۶۵/۱ و ۱۳/۴ درصد جذب فسفر اندام هوایی افزایش یافت (جدول ۷). گونس و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که کاربرد کود مرغی و زغال زیستی حاصل از آن (۱۰ گرم در کیلوگرم خاک) سبب افزایش معنی‌دار جذب فسفر توسط کاهو شد. آنان بیان کردند که تأثیر زغال زیستی در افزایش جذب فسفر نسبت به ماده آلی اولیه به مراتب بهتر بود (۱۶). هامر و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در اثر افزودن زغال زیستی به خاک، توده زنده باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSM) به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد به‌طوری‌که حدود ۹۰ درصد فسفر جذب‌شده توسط گیاه مربوط به فعالیت آن‌هاست (۱۷).

نیترژن بود. این افزایش به دلیل غلظت بالای پتاسیم قابل دسترس موجود در زغال زیستی گزارش شد (۷). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که تأثیر قارچ میکوریز در جذب پتاسیم توسط گیاه در تیمارهای آلی مختلف متفاوت بود به طوری که همزمان با کاربرد تیمار SMB، تلقیح قارچ میکوریز سبب افزایش مقدار جذب پتاسیم شد در صورتی که افزودن قارچ میکوریز در حضور تیمار PMB تأثیری را در افزایش جذب پتاسیم نداشت (جدول ۷)، بنابراین نتایج نشان‌دهنده این است که نوع کود آلی کاربردی تأثیر به‌سزایی در عملکرد قارچ میکوریز در جذب پتاسیم دارد.

آن شد (۳۹). همچنین محمودزاده و همکاران (۲۰۱۶) افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم توسط گیاه نعنای فلفلی را گزارش کردند (۲۵).

به‌طورکلی افزودن هر چهار نوع کود آلی سبب افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم توسط اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. ترتیب مقدار جذب پتاسیم در تیمارهای آلی مختلف به صورت $CI < SM < SMB < PM < PMB$ بود (جدول ۷). در پژوهشی توسط چان و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده شد با کاربرد زغال زیستی غلظت پتاسیم گیاه افزایش یافت و بیش‌ترین عملکرد مربوط به سطح ۵۰ تن زغال زیستی در هکتار و بدون مصرف کود

جدول ۷- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر جذب نیترژن، فسفر و پتاسیم (میلی‌گرم در گلدان) توسط اندام هوایی گیاه ذرت در یک خاک آهکی.

Table 7. Effect of organic manure and arbuscular mycorrhizae fungi on nitrogen, phosphorous and potassium ($mg\ pot^{-1}$) uptake by corn shoot in a calcareous soil.

کود آلی (Organic manure)						
	SMB	PMB	SM	PM	CL	
میانگین Mean			نیترژن Nitrogen			قارچ (Fungi)
195.7 ^B	161.9 ^f	318.1 ^a	142.7 ^g	258.7 ^c	97.2 ⁱ	NG
192.4 ^B	183.1 ^e	294.9 ^b	145.0 ^g	223.8 ^d	115.2 ^h	FM
240.0 ^A	295.0 ^b	329.6 ^a	143.3 ^g	286.1 ^b	146.0 ^g	GV
	213.3 ^C	314.2 ^A	143.7 ^D	256.2 ^B	119.5 ^E	میانگین Mean
میانگین Mean			فسفر Phosphorous			
12.03 ^C	9.23 ^{ef}	21.35 ^{ab}	8.83 ^{ef}	14.56 ^d	6.17 ^g	NG
13.43 ^B	15.25 ^d	19.95 ^b	9.79 ^e	14.19 ^d	7.96 ^f	FM
14.67 ^A	15.16 ^d	22.08 ^a	8.62 ^{ef}	17.57 ^c	9.89 ^c	GV
	13.22 ^C	21.13 ^A	9.08 ^D	15.44 ^B	8.00 ^E	میانگین Mean
میانگین Mean			پتاسیم Potassium			
	207.3 ^f	377.3 ^a	173.2 ^{gh}	270.1 ^{cd}	123.1 ^j	NG
230.2 ^C	240.9 ^e	379.0 ^a	192.9 ^{fg}	258.2 ^{de}	147.4 ⁱ	FM
243.7 ^B	313.2 ^b	370.3 ^a	154.5 ^{hi}	287.1 ^c	203.6 ^f	GV
	265.7 ^A	375.5 ^A	173.5 ^D	271.8 ^B	158.0 ^E	میانگین Mean

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

* Numbers followed by same letters in each column and rows, are not significantly ($P < 0.05$) different.

جذب آهن، منگنز، مس و روی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای آلی و قارچ میکوریز و همچنین اثرات متقابل تیمارها

جدول ۸- میانگین مربعات جذب برخی عناصر غذایی کم‌مصرف در ذرت تحت تأثیر کاربرد کود آلی و تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار.

Table 8. The mean squares of some micronutrients uptake of corn as affected by organic manure application and inoculation by arbuscular mycorrhizae fungi.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	آهن Iron	منگنز Manganese	مس Copper	روی Zinc
کود آلی OM	4	30178.475*	258946.279**	20674.566**	53208.990**
تلقیح قارچ F	2	168241.626**	44053.878**	2434.705**	27103.485**
کود آلی × تلقیح قارچ OM × F	8	14287.480 ^{ns}	23453.223**	1588.489**	6417.255*
خطا Error	30	10782.804	1003.393	225.095	2526.531

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی دار.

**، * and ^{ns} are significant at 0.01, 0.05 probability level and not significant respectively.

به صورت $Cl < SM < SMB < PM < PMB$ بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که تأثیر تیمارهای قارچی در جذب مس و منگنز با کاربرد تیمارهای مختلف آلی، بسته به نوع قارچ میکوریز و کود آلی کاربردی متفاوت بود و روند مشخصی را نداشت، اما می‌توان گفت که بهترین تیمار مرکب در جذب مس و منگنز در گیاه تیمار کاربرد $NG+PMB$ بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمار قارچ میکوریز و تیمارهای آلی بر جذب آهن توسط اندام هوایی ذرت به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار شد در صورتی که اثرات متقابل تیمارها بر جذب آهن معنی دار نشد

مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار قارچ میکوریز نشان داد که کاربرد قارچ FM سبب تغییر معنی داری در جذب منگنز و مس توسط اندام هوایی نشد، در صورتی که قارچ GV سبب افزایش معنی دار جذب مس و منگنز به ترتیب به میزان $14/7$ و $18/6$ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۹). همچنین مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد تیمار آلی نشان داد که با افزودن تیمارهای SM و PM و زغال زیستی حاصل از آن‌ها جذب مس و منگنز به طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین افزایش جذب مس و منگنز به ترتیب به میزان 127 و 107 درصد نسبت به تیمار شاهد در تیمار PMB مشاهده شد. ترتیب جذب مس و منگنز در تیمارهای مختلف آلی

معنی‌دار غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی را در این گیاه گزارش کردند. آنان افزایش غلظت عناصر ریزمغذی را در اثر کاهش پ‌هاش ناشی از کاربرد زغال زیستی کود مرغی و کود مرغی در اثر آزاد شدن گروه‌های عاملی اسیدی طی فرایند اکسید شدن این مواد آلی در خاک دانستند (۱۹). آدجمو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاربرد تیمار زغال زیستی سبوس برنج تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و میزان ۱۵ تن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار جذب روی و آهن توسط گیاه ذرت شد (۳). محمدزاده و همکاران (۲۰۱۶) با کاربرد سه نوع مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*) در کشت گیاه نعنای فلفلی گزارش کردند که قارچ‌های به‌کار رفته سبب افزایش جذب عناصر آهن، روی و مس شدند و بیش‌ترین مقدار افزایش مربوط به تیمار کاربرد قارچ گلوموس فاسیکولاتوم بود. آنان احتمالاً سیدروفراهای ترش‌خی توسط فارچ و کمپلکس آن‌ها با عناصر کم‌مصرف را علت افزایش جذب این عناصر توسط قارچ دانستند (۲۵). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از طریق توسعه هیف‌های خود، تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز، افزایش کربن آلی خاک و ترشح گلیکوپروتین‌ها خصوصاً گلومالین شرایط بیوشیمیایی خاک را تغییر داده و ممکن است سبب افزایش قابلیت استفاده عناصر ریزمغذی شود. این تغییرات ممکن است آزاد شدن این عناصر را از شکل باقی‌مانده به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیشتر تسهیل کند و سبب بهبود جذب این عناصر توسط گیاه شوند (۴۹).

(جدول ۸). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای آلی نشان داد که هر چند با کاربرد هر چهار نوع ماده آلی مقدار جذب آهن افزایش نشان داد اما فقط کاربرد تیمار آلی PMB سبب افزایش معنی‌دار جذب آهن نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۹). همچنین تنها کاربرد قارچ FM سبب افزایش معنی‌دار جذب آهن شد به طوری که این مقدار افزایش معادل ۷۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بود.

اثرات اصلی کاربرد تیمارهای آلی و قارچ میکوریز بر جذب روی توسط اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار شد اما اثرات متقابل آن‌ها بر جذب روی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). تأثیر تیمارهای PM و PMB بر افزایش جذب روی نسبت به تیمار شاهد یکسان بود و تأثیر آن‌ها در افزایش جذب روی به مراتب نسبت به تیمارهای SM و SMB بیش‌تر بود. همچنین کاربرد هر دو نوع قارچ میکوریز سبب افزایش معنی‌دار جذب روی توسط اندام هوایی ذرت شد به طوری که قارچ FM به میزان ۱۵ درصد و قارچ GV به میزان ۴/۵ درصد جذب روی را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۹). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که کم‌ترین مقدار جذب روی در اندام هوایی در تیمار CI+NG مشاهده شد در حالی که بیش‌ترین مقدار جذب روی به‌طور مشترک مربوط به تیمارهای PM+GV و PMB+GV بود (جدول ۹).

اینال و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد سطوح کود مرغی و زغال زیستی حاصل از آن (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) در یک خاک آهکی در شرایط گلخانه بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه لوبیا، افزایش

جدول ۹- اثر کاربرد کود آلی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر جذب برخی عناصر کم مصرف توسط گیاه ذرت در یک خاک آهکی.

Table 9. Effect of organic manure and arbuscular mycorrhiza fungi on some micronutrients uptake by corn shoot in a calcareous soil.

کود آلی Organic manure						
	SMB	PMB	SM	PM	CL	
میانگین Mean			آهن Iron			قارچ Fungi
269.9 ^B	254.6	406.5	311.5	192.1	185.0	NG
458.9 ^A	444.2	560.3	363.5	550.4	376.6	FM
281.6 ^B	262.7	343.2	225.4	255	321.8	GV
	320.5 ^B	436.7 ^A	300 ^B	322.5 ^B	294.5 ^B	میانگین Mean
میانگین Mean			منگنز Manganese			
526.1 ^B	425.8 ^f	860.3 ^a	408.0 ^f	603.6 ^c	332.7 ^g	NG
535.1 ^B	484.0 ^e	767.2 ^b	491.2 ^e	550.4 ^d	382.8 ^{fg}	FM
624.1 ^A	765.7 ^b	849.8 ^a	390.1 ^f	636.0 ^c	479.2 ^e	GV
	558.5 ^C	825.8 ^A	429.8 ^D	596.6 ^B	398.2 ^E	میانگین Mean
میانگین Mean			روی Zinc			
183.8 ^B	122.7 ^e	231.0 ^{cd}	192.6 ^{ode}	266.6 ^c	105.9 ^e	NG
211.5 ^B	168.6 ^{de}	285.9 ^{bc}	228.2 ^{cd}	248.5 ^{cd}	126.3 ^e	FM
267.2 ^A	193.1 ^{ode}	359.4 ^{ab}	166.8 ^{de}	421 ^a	195.8 ^{ode}	GV
	161.5 ^{BC}	292.1 ^A	195.9 ^B	312.0 ^A	142.7 ^C	میانگین Mean
میانگین Mean			مس Copper			
123.8 ^B	87.9 ^{ghi}	218.7 ^a	86.7 ^{ghi}	159.7 ^{cd}	66.23 ⁱ	NG
117.5 ^B	94.9 ^{gh}	178.8 ^{bc}	101.8 ^{gh}	129.9 ^{ef}	81.9 ^{ghi}	FM
142.0 ^A	144.9 ^{de}	187.5 ^b	78.42 ^{hi}	190.5 ^b	108.7 ^{fg}	GV
	109.2 ^C	195.0 ^A	88.9 ^D	160.0 ^B	85.6 ^D	میانگین Mean

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

* Numbers followed by same letters in each column and rows, are not significantly ($P < 0.05$).

نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین تأثیر بر درصد کلنیزاسیون ریشه در بین تیمارهای قارچی مربوط به قارچ GV بود. همچنین کاربرد زغال زیستی سبب افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه شد، به طوری که بیشترین مقدار درصد کلنیزاسیون در تیمار PMB+GV حاصل شد. بیشترین مقدار شاخص کلروفیل نیز مربوط به کاربرد تیمار آلی SM بود، در حالی که افزایش این شاخص توسط هر دو گونه قارچ میکوریز به کار رفته از نظر آماری معنی دار نبود. عملکرد ماده خشک اندام هوایی، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم تحت تأثیر کاربرد تیمارهای آلی و قارچهای میکوریزی افزایش یافت، به طوری که بیشترین افزایش مربوط به کاربرد تیمارهای PMB و GV بود. در بین تیمارهای آلی به کار رفته فقط کاربرد PMB و در بین تیمارهای قارچی، فقط کاربرد قارچ FM سبب افزایش جذب آهن توسط گیاه شد. ترتیب جذب مس و منگنز توسط اندام هوایی به صورت $CI < SM < SMB < PM < PMB$ بود. تأثیر تیمارهای SM و PM در افزایش جذب روی توسط

گیاه مشابه زغال زیستی حاصل از آنها بود. بیشترین مقدار جذب منگنز، مس و روی در بین تیمارهای قارچی، مربوط به قارچ GV بود. به طور کلی استفاده از زغال زیستی کودهای گوسفندی و مرغی سبب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه ذرت در مقایسه با استفاده از ماده اولیه آنها شد. همچنین نتایج اثر متقابل کودهای آلی و قارچ میکوریزی نشان داد که تأثیر قارچ میکوریز بر صفات مورد مطالعه در این پژوهش به طور مستقیم بستگی به نوع کود آلی کاربردی داشت. در مجموع به نظر می رسد که تیمار PMB+GV در بهبود اکثر ویژگیهای مورد مطالعه نسبت به تیمارهای دیگر مؤثرتر بود. در پایان، انجام پژوهشهای بیشتر در ارتباط با تهیه زغال زیستی از کودهای آلی متفاوت برای رشد ذرت و گیاهان زراعی دیگر در شرایط مزرعه و همچنین بررسی جنبه های اقتصادی تبدیل کودهای آلی به زغال زیستی و استفاده از آن در کشاورزی توصیه می شود.

منابع

1. 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.
2. Abdullahi, R., Lihan, S., and Edward, R. 2015. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi and Poultry Manure on Growth and Nutrients Uptake by Maize under Field Condition. Inter. J. Agric. Inn. Res. 4: 1. 2319-1473.
3. Adejumo, S.A., Owolabi, M.O., and Odesola, I.F. 2016. Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. Afric. J. Agric. Res. 11: 8. 661-673.
4. Amonette, J.E., and Joseph, S. 2009. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. P 33-43, In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Bio- char for Environmental Management Science and Technology. Earthscan, London.
5. Auge, R.M. 2001. Water relation, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhizae. 11: 3-42.
6. Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Austr. J. Soil Res. 46: 3. 437-444.

- 7.Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Austr. J. Soil Res.* 45: 629-634.
- 8.Claoston, N.A., Samsuri, M.H., and Husni, A. 2014. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management and Research.* 32: 4. 331-339.
- 9.Dalp, Y. 1993. Vesicular arbuscular mycorrhiza. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publication, Pp: 287-301.
- 10.Darzi, M., Ghalavand, A., and Rejali, F. 2009. The effects of biofertilizer application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iran. J. Med. Arom. Plant.* 25: 11-19. (In Persian)
- 11.Ding, Z., Hu, X., Wan, Y., Wang, S., and Gao, B. 2015. Removal of lead, copper, cadmium, zinc and nickel from aqueous solutions by alkali-modified biochar: Batch and column tests. *J. Ind. Engin. Chem.* 15: 300-307.
- 12.Farhad, W., Saleem, M.F., Cheema, M.A., and Hammad, H.M. 2009. Effect of poultry manure levels on the productivity of spring maize (*Zea mays* L.). *J. Anim. Plant Sci.* 19: 3. 122-125.
- 13.FAO and ILO. 1997. Maize in human nutrition intermediate level handbook. FAO and ILO Publication; Rome, Italy.
- 14.Gaskin, J.W., Spier, R.A., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., and Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrient status and yield. *Agron. J.* 102: 623-633.
- 15.Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biology and Fertility of Soils.* 35: 219-230.
- 16.Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C., and Atakol, A. 2014. Effect of phosphorous enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lectuca sativa* L.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management.* 30: 182-188.
- 17.Hammer, E.C., Balogh-Brunstad, Z., Jakobsen, I., Axel Olsson, P., Stipp, S.L.S., and Rillig, M.C. 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. *Soil Biology and Biochemistry.* 77: 252-260.
- 18.Hossain, M.K., Strezov, V., and Saxena, R. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *J. Environ. Manage.* 92: 1. 223-228.
- 19.Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B., and Kaya, E.C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management.* 31: 106-113.
- 20.Ippolito, J.A., Laird, D.A., and Busscher, W.J. 2012. Environmental benefits of biochar. *J. Environ. Qual.* 41: 967-972.
- 21.Javaid, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal mediated nutrition in plants. *J. Plant Nutr.* 32: 1595-1618.
- 22.Jarstfer, A.C., koppernol, P.F., and Sylvia, D.M. 1998. Tissue magnesium and calcium effects on arbuscular mycorrhizal development and fungal reproduction. *Mycorrhizae.* 7: 237-242.
- 23.Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry.* 43: 1812-1836.
- 24.Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. P 1-12, In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology.* Earthscan, London.
- 25.Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M.H., Asgari Lajayer, H., and Hasani, A. 2016. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on nutrient uptake and some morphological factors in peppermint (*Mentha piperita*). *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 6: 1. 161-176. (In Persian)
- 26.Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., and Goodale, C. 2010. Fate of soil applied black carbon: Downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology.* 16: 1366-1379.

27. Malakouti, M.J., and Homaie, M. 2004. Soil Fertility of Arid and Semiarid Regions, Problems and Solutions. Second edition, publisher, Tarbiat Modarres University, Tehran.
28. Mau, A.E., and Utami, S.R. 2014. Effects of biochar amendment and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on availability of soil phosphorus and growth of maize. *J. Deg. Min. Land. Manage.* 1: 2. 69-74.
29. Matsubara, Y., Harada, T., and Yakuwa, T. 1995. Effect of inoculation density on vesicular arbuscular mycorrhizae fungal spores and addition of carbonized materials to bed soil on growth of Welsh onion seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64: 3. 549-554. (In Japanese with English summary)
30. Melo, C.A., Coscionc, A.R., Aberu, C.A., Puga, A.P., and Camargo, O.A. 2013. Influence of pyrolysis temperature on cadmium and zinc sorption capacity of sugar cane straw derived biochar. *BioResources.* 8: 4. 4992-5004.
31. Mendez, A., Gomez, A., Paz-Ferreiro, J., and Gasco, G. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere.* 89: 1354-1359.
32. Mickan, B.S., Abbott, L.K., Stefanova, K.Z., and Solaiman, M. 2016. Interactions between biochar and mycorrhizal fungi in a water-stressed agricultural soil. *Mycorrhiza.* 26: 565-574.
33. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphorus in natural waters. *Analytica Chimica Acta.* 27: 31-36.
34. Nelson, D.L., and Cox, M.M. 2004. *Lehninger Principles of Biochemistry* (4th ed.) Freeman, New York.
35. Oseni, T.O., Shongwe, N.S., and Masarirambi, M.T. 2010. Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. *Inter. J. Agric. Biol.* 12: 789-792.
36. Page, A.L. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods.* Agronomy No.9. ASA and SSSA, Madison, WI.
37. Philips, J., and Hayman, D. 1970. Improved Procedures for Cleaning Roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society.* 55: 158-161.
38. Saito, M. 1990. Charcoal as a micro habitat for VA mycorrhizal fungi and its practical application. *Agricultural Ecosystem Environment.* 29: 341-344.
39. Scheloske, S., Maetz, M., and Povh, B. 2004. Element distribution in mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of the halophyte *Astertripolium* determined by proton induced X-ray mission. *Protoplasma.* 223: 183-189.
40. Schnug, E., Oswald, P., and Haneklaus, S. 1996. Organic manure management and efficiency: Role of organic fertilizers and their management practices. P 259-265, In: C. Rodriguez-Barrueco (Ed.), *Fertilizers and environment.* Kluwer Academic Publishers.
41. Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A., and Kathuria, A. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *J. Environ. Qual.* 39: 1224-1235.
42. Sohi, S.P. 2012. Carbon storage with benefits. *Science.* 338: 1034-1035.
43. Solaiman, Z.M., Blackwell, P., Abbott, L.K., and Storer, P. 2010. Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonization, growth and nutrition of wheat. *Austr. J. Soil Res.* 48: 546-554.
44. Song, W., and Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 94: 138-145.
45. Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhao, Y., Chen, H., and Yang, L. 2014. Effect of feedstock type, production method and pyrolysis temperature on biochar and hydrobiochar properties. *J. Chem. Engin.* 240: 574-578.
46. Toussaint, J.P., and Smith, E. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. *Mycorrhizae.* 17: 291-297.

47. Ulrich, H., Katharina, J., and Hermann, B. 2002. Towards growth of arbuscular mycorrhizal fungi independent of a plant host. *Applied Environmental Microbiology*. 68: 1919-1924.
48. Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., and Mishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*. 27: 205-212.
49. Wamberg, C., Christensen, S., Jakobsen, I., Muller, A.K., and Sorensen, S.J. 2003. The mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) affects microbial activity in the rhizosphere of pea plants (*Pisum sativum*). *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 1349-1357.
50. Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., and Rillig, M.C. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil-concepts and mechanisms. *Plant Soil*. 300: 9-20.
51. Warnock, D.D., Daniel, L., Mummey, D.D., McBride, B., Julie-Major, J., Lehmann, J., and Rillig, M.C. 2010. Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: Results from growth-chamber and field experiments. *Applied Soil Ecology*. 46: 450-456.
52. Wathira, N.L., Peter, W., and Sheila, O. 2016. Enhancement of Colonisation of Soybean Roots by Arbuscular Mycorrhizal Fungi Using Vermicompost and Biochar. *Agriculture, Forestry and Fisheries*. 5: 3. 71-78.
53. Xu, C.Y., Hosseini-Bai, S., Hao, Y., Rachaputi, R.C.N., Wang, H., Xu, Z., and Wallace, H. 2015. Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. *Environmental Science and Pollution Research*. 22: 6112-6125.
54. Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Hung, H., Lu, K., Gao, X., He, L., Lin, X., Che, L., Ye, Z., and Wang, H. 2016. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 22: 5. 3183-3190.
55. Zarea, M.J., Ghalavand, A., Goltapeh, E., and Rejali, F. 2009. Role of clover species and AM fungi on forage yield, nutrient uptake, nitrogenase activity and soil microbial biomass. *J. Agric. Technol*. 5: 2. 337-347.



Effects of application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and chemical composition of corn (*Zea mays* L. 704) in a calcareous soil

*H.R. Boostani¹, M. Zarei² and V. Barati³

¹Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, University of Shiraz, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, College of Agriculture, University of Shiraz, ³Assistant Prof., Dept. of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, University of Shiraz

Received: 10/28/2016; Accepted: 05/15/2017

Abstract

Background and Objectives: The use of biochar and organic manures have positive effects on soil fertility, crop production and carbon sequestration in soil. However, their effects depend on soil characteristics, plant species and type of the raw material used in the production of biochar. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of application of organic manures (sheep and paltry) and their biochars, two species of arbuscular mycorrhizal fungi and their interactions on shoot and root dry matter, root colonization percentage, chlorophyll index and uptake of some micro and macro-nutrients by corn in a calcareous soil under greenhouse condition.

Materials and Methods: To do this research, appropriate amount of soil from surface horizon (0-30) of a calcareous soil was collected, air dried and passed through 2 mm sieve. 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 (C1), sheep manure (SM), paltry manure (PM), sheep manure biochar (SMB) and paltry manure biochar (PMB) each at 2% w/w) and the second factor was fungal inoculation (non-inoculation (NG), inoculation with *Funneliformis mosseae* (FM) and *Glomus versiform* (GV)). Biochars were produced using the pyrolysis of organic manures (500 °C during 4 h) in the limited oxygen conditions. After applying treatments, 5 corn seeds were planted at a depth of about 2 cm in plastic pots. During the growth periods, soil moisture content was maintained at about 80% of field capacity using distilled water. After 10 weeks of plant growth, shoot and root dry matter, chlorophyll index, root colonization percentage and the concentration of nitrogen, phosphorous, potassium, iron, manganese, zinc and copper of shoot were measured. The amount of nutrient uptake was calculated by multiplying the nutrient concentration in shoot dry matter.

Results: The highest increase of root colonization was observed in the GV fungi treatment by 112%. Also, application of organic treatments (except SMB) increased root colonization percentage significantly. Addition of each four types of organic treatments caused a significant increase in chlorophyll index compared to control, so that, the highest value was observed in the SM treatment. In organic treatments, the sequence of shoot and root dry matter, uptake of nitrogen, phosphorous and potassium, was as follows: PMB > PM > SMB > SM > C1. Also, the effect of application of GV fungi on enhancement of above mentioned characteristics was higher than FM fungi considerably. Application of GV unlike FM fungi, led to a significant increase of copper and manganese uptake by 14.7 and 18.6% compared to control respectively. The sequence of copper and manganese uptake in different organic treatments, was as follows: PMB > PM > SMB > SM > C1. Among the treatments, only separate application of PMB and FM fungi caused a significant increase of iron uptake compared to control.

* Corresponding Author; Email: hr.boostani@shirazu.ac.ir

Application of FM and GV fungi significantly increased uptake of zinc by 15 and 45.4% compared to control respectively. The sequence of zinc uptake in organic treatments was as follows: PM=PMB > SMB=SM > Cl. The results of interaction effects of treatments showed that the effect of simultaneous application of fungi and organic manure on studied indices were different and depended on type of applied organic manure and mycorrhizae fungi.

Conclusions: The results showed that the use of SMB and PMB were more effective to increase the yield and uptake of nutrients by corn than their raw materials (SM and PM). In general, it seems that simultaneous application of PMB and GV fungi was more effective to improve the most studied factors than other treatments.

Keywords: Root colonization percentage, *Funneliformis mosseae*, *Glomus versiform*, Nutrients uptake, Organic manure

