



اثر ریزوسفر بر فراهمی عناصر خاک در حضور بیوجار و کمپوست ضایعات هرس و تلقیح میکوریزی

* رقیه واحدی^۱، میرحسن رسولی صدقیانی^۲ و محسن برین^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ^۲استاد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه،

^۳استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: ریزوسفر محل تقابل خاک- ریشه، جهان کوچک و پویایی است که در آن میکروارگانیسم‌ها، ریشه‌های گیاه و اجزای خاک با هم در ارتباطند. ضایعات هرس درختان با تبدیل شدن به بیوجار و کمپوست و افزودن به خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌شوند. از جمله راهکار دیگر افزایش فراهمی عناصر غذایی، استفاده از پتانسیل میکروارگانیسم‌ها، همانند قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌باشد. با توجه به این‌که مطالعه ریزوسفر نتایج سودمندی را به دنبال دارد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ریزوسفر گندم تیمار شده با بیوجار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان و تلقیح میکوریزی بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در شرایط رایزوباکس بود.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار شامل منابع آلی (بیوجار ضایعات هرس، کمپوست ضایعات هرس و شاهد)، قارچ میکوریزی (*Glomus fasciculatum*) و عدم تلقیح) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) در شرایط گلخانه‌ای در رایزوباکس اجرا گردید. برای این منظور نمونه خاک غیرزراعی با بافت سبک تهیه شد. بیوجارها از پیرولیز در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. کمپوست از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه شد. برای کشت گیاه از رایزوباکس در ابعاد ۲۰*۱۵*۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) استفاده شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، بیوجار و کمپوست ضایعات هرس هر کدام بر حسب ۱/۵۰ درصد کربن آلی خالص به خاک (۵/۸۰ کیلوگرم خاک برای هر باکس) اضافه و به باکس‌ها منتقل گردید. برای کشت گیاه، بذرهاى گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیش‌تاز در رایزوباکس‌ها کشت گردیدند. در پایان دوره رشد، pH و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره‌های صاف شده ۱ به ۵ (خاک به آب)، کربن آلی (OC) به روش والکل‌بلک، درصد کلنیزاسیون میکوریزی، نیتروژن (N)، پتاسیم (K) و فسفر (P) قابل جذب در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری همچنین در گیاه نیز، نیتروژن، پتاسیم و فسفر اندام هوایی به روش‌های استاندارد تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان pH در تیمار بیوجار (۷/۸۸) بدون تلقیح میکوریزی بود. مقدار OC و فراهمی N، P و K در تیمار کمپوست همراه با قارچ میکوریزی به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود. همچنین کمپوست در مقایسه با بیوجار مقادیر بیش‌تری از EC، OC، N، P و K را در ریزوسفر و غیرریزوسفر فراهم کرد.

* مسئول مکاتبه: rvahedi93@yahoo.com

تلقیح میکوریزی فراهمی P و K را در خاک غیرریزوسفر به ترتیب ۱/۷۰ و ۱/۱۶ برابر نسبت به ریزوسفر افزایش داد. مقدار نیتروژن کل در تیمار تلقیح میکوریزی ریزوسفر ۱/۱۹ برابر بیش تر از غیرریزوسفر بود. جذب بیش تر N، P و K توسط گیاه در تلقیح میکوریزی بیوچار سبب افزایش ۴۸/۱، ۳۹/۶ و ۳۸/۸ درصدی نسبت به شاهد شد. نتیجه گیری: استفاده از منابع آلی، خصوصیات شیمیایی ریزوسفر را به طور چشمگیری تغییر داد و منجر به افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک و در نهایت افزایش فراهمی آنها در گیاه شد. همچنین استفاده از روش رایزوباکس با افزودن ماده آلی به همراه تلقیح میکوریزی توانست فرآیندهای میکروبی ریزوسفری مرتبط با فراهمی عناصر غذایی را به خوبی نشان دهد. چنین استنباط می گردد که کاربرد بیوچار و کمپوست در شرایط تلقیح میکوریزی منجر به افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک و گیاه می گردد.

واژه های کلیدی: ریزوسفر، مواد آلی، فراهمی عناصر غذایی، تلقیح میکوریزی

مقدمه

شیمیایی خاک نقش مهمی نیز بر پویایی و زندگی میکروارگانیسم های خاک و ایجاد نوعی تعادل دینامیکی در اجزای زنده و غیرزنده خاک ایفا می کنند (۱۲). با این حال، اطلاعات کمی و همچنین نگرانی های زیادی درباره تبدیل ضایعات هرس درختان به بیوچار بر خلاف سایر ضایعات سبز وجود دارد (۳۸). بیوچار ماده جامد غنی از کربن که طی فرآیند پیرولیز^۲ یا گرماکافت توده زیستی در شرایط عدم حضور و یا حضور جزئی اکسیژن تولید می شود (۳۱). مقادیر نسبی و ویژگی بیوچار توسط شرایط گرماکافت مانند دما، میزان حرارت فشار یا سرعت دمایی، مدت زمان، و نوع ماده اولیه کنترل می شود (۴۳). کمپوست یک فرآورده حاصل از انجام فرآیندهای شیمیایی در ضایعات آلی است حاوی مقادیر فراوانی عناصر معدنی است که بخشی از آنها به تدریج و پیوسته در خاک آزاد و در دسترس گیاه قرار می گیرد. از مهم ترین این عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن، منیزیم و گوگرد و همچنین عناصر کم مصرف می باشد (۸). روپونگی (۱۹۹۳) از خاکی که با ۲۰ تن کمپوست در هکتار به مدت ۲۲ سال تیمار شده بوده نمونه برداری کرد و در یک آزمایش شش ساله در گلخانه اثرات

ریزوسفر منطقه ای از خاک است که در آن میکروارگانیسم ها، ریشه های گیاه و اجزای خاک با هم در ارتباطند (۴). ویژگی های شیمیایی خاک برای رشد ریشه و جذب عناصر غذایی بسیار تأثیرگذار می باشند. اما شرایط ریزوسفر و دامنه تغییراتی که توسط آن ایجاد می شود، تعیین کننده میزان جذب عناصر غذایی به وسیله ریشه می باشد (۲۰). جریان های کربن برای اعمال ریزوسفری حیاتی است (۵۰). ماده آلی نه تنها منبع بزرگی از عنصرهای غذایی است بلکه با تشدید فعالیت زیستی در خاک به چرخش بهتر مواد غذایی کمک می کند (۵۴). خاک های مناطق خشک و نیمه خشک، به علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، حاوی ماده آلی کمی است. در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک ها با مشکل تغذیه عناصر غذایی روبه رویند. سالانه میلیون ها تن ضایعات هرس درختان در سطح کشور تولید می شود که می تواند سهمی در تامین ماده آلی داشته باشد. ضایعات هرس درختان با تبدیل شدن به بیوچار^۱ و کمپوست با جایگزینی یا فراهم کردن عناصر غذایی در خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی،

2- Pyrolysis

1- Biochar

به فراهمی فسفر برای بسیاری از محصولات کشاورزی کمک کند (۴۶). با توجه به این که مطالعه ریزوسفر نتایج سودمندی را به دنبال دارد ولی مورفولوژی ریزوسفر و توده خاک اغلب شبیه هم هستند. بنابراین جدا کردن این دو بخش از هم عملاً کار غیرممکنی است. رایزوباکس^۲ از جمله ابزارهایی است که به منظور مطالعه دقیق تر فرایندهای ریزوسفری مورد استفاده قرار می گیرد. رایزوباکس با محدود کردن ریشه‌ها در حجم معینی از خاک، منجر به افزایش تراکم ریشه شده و نمونه برداری از خاک ریزوسفری را آسان می سازد. با وجود پژوهش‌های فراوان صورت گرفته پیرامون تأثیر مواد آلی بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف، تاکنون درک کاملی از اثرات متقابل بین ریشه- ماده آلی و نیز اثرات متقابل آن‌ها با تلقیح میکروبی و تأثیرات آن‌ها بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در خاک‌های آهکی به دلیل وجود روابط پیچیده بین این ترکیبات در شرایط رایزوباکس حاصل نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ریزوسفر گندم تیمار شده با بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان و تلقیح میکوریزی بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در ریزوسفر گندم در شرایط رایزوباکس انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، خاک غیرزراعی مورد استفاده از شهرستان سلماس تهیه شد و بعد از هوا خشک کردن از غربال ۲ میلی متری عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۴۹) (جدول ۱). سپس در دستگاه اتوکلاو و با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت دو ساعت

باقی مانده کمپوست را بررسی نمود (۴۴). او ملاحظه کرد که تا پایان دوره، قابلیت استفاده نیتروژن بالا بوده و اثرات معنی دار نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب تا دومین، سومین و پنجمین کشت در محصول مشاهده شده است. بر خلاف کمپوست تأثیرات بیوچار در خاک متفاوت است. به طور کلی، بیوچار دارای پتانسیل افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک می باشد (۲۹). با این حال مکانیسم‌ها برای این افزایش هنوز یک حدس و گمان است (۴۸)، به طوری که با افزودن بیوچار به خاک هم افزایش و هم کاهش در فراهمی عناصر غذایی گزارش شده است (۲۹). با توجه به حضور غلظت‌های بالایی از اکسیدهای عناصر قلیایی (Ca^{2+} و Mg^{2+}) و غلظت کم Al^{3+} محلول در خاک، با افزودن بیوچار به خاک قلیایی جذب فسفر افزایش یافته و فراهمی فسفر کاهش می یابد (۱۳). البته بیوچار حاوی مقادیر زیادی فسفر می باشد، بنابراین ممکن است به طور مستقیم باعث آزادسازی فسفر محلول و افزایش فراهمی آن گردد (۱۱). افزودن بیوچار می تواند سطوح پتاسیم قابل تبادل در خاک را به دو طریق، افزودن پتاسیم موجود در بخش خاکستر بیوچار و نیز از طریق کاهش تلفات پتاسیم به واسطه شستشو افزایش دهد (۲۸). قارچ‌های AMF^1 از طریق مکانیسم‌های مختلفی حلالیت عناصر موجود در خاک را که در حالت عادی غیرقابل جذب برای گیاه می باشند، افزایش داده و با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک، افزایش سطح و سرعت جذب ریشه گیاه را افزایش می دهند (۳۳). آتکینسون و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که بیوچار فراهمی عناصر غذایی خاک به طور غیرمستقیم با تغییر محیط میکروارگانیسم‌ها تحت تأثیر قرار می دهد (۳). کاربرد بیوچار باعث تحریک کلنیزاسیون میکوریزی (میکوریز آربوسکلار) می شود که می تواند

2- Rhizobox

1- Arbuscular mycorrhizal fungi

کیلوگرم خاک برای هر باکس) اضافه و به باکس‌ها منتقل گردید. همچنین مقدار ۸۰ میلی‌گرم فسفر از منبع خاک فسفات به‌عنوان منابع نامحلول فسفر در هر کیلوگرم خاک اضافه شد. مقدار قارچ میکوریز برای هر باکس حدود ۷۰ گرم بود که به قطر نیم سانتی‌متر و به فاصله یک لایه مانده از سطح خاک ریزوسفری به‌طور یکنواخت تلقیح و توزیع گردید و بعد از تلقیح با سطحی یکنواخت از خاک پوشانده شد. برای کشت گیاه، بذرها ی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیش‌تاز پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به تعداد شش بذر در قسمت ریزوسفری رایزوباکس‌ها کشت گردیدند. پس از جوانه زدن بذرها، چهار بوته نگه داشته شدند. در طول دوره کشت از آب مقطر به‌منظور آبیاری و جهت تامین مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی Rorison عاری از فسفر استفاده گردید. در پایان پس از ۶۵ روز رایزوباکس‌ها باز شدند. بخش هوایی گیاه پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس، نمونه‌ها برای تعیین عناصر پرمصرف آسیاب شدند و نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه تعیین شد. خاک هر دو ناحیه ریزوسفری و غیرریزوسفری خشک شد و به آزمایشگاه جهت انجام آنالیزهای شیمیایی منتقل و برخی ویژگی‌ها اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با نرم‌افزار Execl انجام گردید.

استریل شدند. ضایعات هرس درختان میوه از باغ‌های شهرستان ارومیه جمع‌آوری و به قطعات ۲۰ میلی‌متری خرد شد. پس از خشک شدن، ابتدا به راکتور (استوانه فلزی به قطر ۷ و ارتفاع ۳۱ سانتی‌متر) و سپس به کوره الکتریکی برای تولید بیوچار منتقل گردید. تولید در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گردید. همچنین کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه گردید. در نهایت بیوچار و کمپوست ضایعات هرس آسیاب و از الک نیم میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های آنها اندازه‌گیری شد (۴۲) (جدول ۲). برای انجام آزمون گلخانه‌ای، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار شامل منابع آلی (بیوچار ضایعات هرس درختان سیب و انگور، کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور و شاهد بدون ماده آلی)، قارچ میکوریزی (*Glomus fasciculatum* و عدم تلقیح) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) بود، که در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه اجرا گردید. به‌منظور کشت گیاه از رایزوباکس استفاده شد. باکس‌های ریزوسفر در ابعاد ۲۰*۱۵*۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) استفاده شد. فضای هر باکس با استفاده از صفحات مشبک نایلونی ۴۴ میکرون به دو قسمت: ۱) ناحیه ریزوسفری به ضخامت دو سانتی‌متر، ۲) ناحیه غیرریزوسفری به ضخامت ۵/۸ سانتی‌متر (این ناحیه در طرف دیگر ناحیه ریزوسفری نیز با همان ضخامت تکرار شد) تقسیم شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، بیوچار ضایعات هرس بر حسب ۱/۵ درصد کربن آلی خالص به خاک (۵/۸۰)

جدول ۱- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شنی.

Table 1. The results of some physical and chemical properties of sandy soil.

K	P	N	CaCO ₃	O.C	EC	pH	بافت خاک soil texture
mg kg ⁻¹			%		ds m ⁻¹		
98	7.64	0.08	14.25	0.25	0.47	7.53	شن لومی Lomy Sand

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان سیب و انگور.

Table 2. Some characteristics of the biochar and compost of apple and grape pruning wastes.

کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور Compost of apple and grape pruning wastes	بیوچار ضایعات هرس سیب و انگور Biochar of apple and grape pruning wastes		واحد Unit	ویژگی‌ها Characteristics
	انگور Grape	سیب Apple		
	7.05	7.47		pH
	17.87	0.10	ds m ⁻¹	EC
	3.72	0.86	%	N
	30.02	71.30	%	C
	-	1336.90	mg kg ⁻¹	کل P P (Total)
	7.54	-	%	فسفر قابل جذب P (available)
	29	22.56	g kg ⁻¹	پتاسیم K

نتایج و بحث

خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد ($P < 0.05$) (جدول ۴). افزایش نسبی فلزات قلبایی در بیوچار توجه‌کننده افزایش pH بسیاری از بیوچارها می‌باشد (۲۵). وجود جریان‌های پروتونی بر اثر ترشح کربن آلی در ریزوسفر، منجر به کاهش pH در ریزوسفر می‌شود، این جریان‌های پروتونی ریشه ممکن است نقش مهمی در متحرک و غیرمتحرک کردن عناصر غذایی در ریزوسفر داشته باشند (۱۹). تلقیح میکوریزی منجر به کاهش pH در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری نسبت به تیمار شاهد شد ($P < 0.01$). به طوری که افزایش pH در خاک غیرریزوسفری تلقیح با میکوریز

pH, EC و درصد کربن آلی: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی منابع آلی، تلقیح میکوریزی و خاک بر pH, EC و درصد کربن آلی معنی‌دار بود ($P < 0.001$). بر اساس جدول ۳، همه مقادیر pH خاک تحت تأثیر منابع آلی و تلقیح میکوریزی قرار گرفته است ($P < 0.01$). به طوری که تلقیح میکوریزی pH خاک را در بیوچار و کمپوست ضایعات هرس حتی در تیمار شاهد تا حدی کاهش داده است. اما بیش‌ترین مقدار pH در تیمار بیوچار بدون تلقیح میکوریزی (۷/۸۸) بود. به طوری که با افزودن ماده آلی به خصوص بیوچار به خاک تفاوت معنی‌داری در pH

غیرریزوسفر افزایش یابد. سگیوین و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک ریزوسفر درختان جنگلی بیش تر از توده خاک بود (۴۷). آنان بین میزان کربن آلی خاک ریزوسفر و قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی معنی داری مشاهده کردند. تلقیح میکوریزی در هر دو سطح خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری باعث کاهش EC در مقایسه با تیمار شاهد شد ($P < 0/01$). البته قارچ میکوریزی منجر به افزایش ۱/۲۱ برابری میزان EC در خاک ریزوسفر در مقایسه با خاک غیرریزوسفر شد (جدول ۵). کلنیزه شدن ریشه توسط قارچ‌های میکوریز آربوسکولار سبب افزایش رشد و مقاومت به شوری در گیاه میزبان می‌شود. همچنین قارچ‌های میکوریز توانستند ظرفیت جذب آب را با افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه و با تنظیم اسمزی به وسیله ترکیبات هیدرولیکی افزایش دهند که منجر به افزایش رشد و رقیق کردن غلظت یون‌های محلول گردند (۴۵). مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیش‌ترین درصد کربن آلی در تیمار کمپوست تلقیح میکوریزی بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۲ درصد افزایش نشان داد ($P < 0/01$). جوردن و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند زمانی که کمپوست به‌عنوان ماده آلی به خاک اضافه شد قارچ‌های میکوریز قسمتی از ماده آلی را صرف افزایش قابلیت دسترس عناصر غذایی و بخش دیگر ماده آلی باقی‌مانده در تعامل با هیف، ساختمان خاک را بهبود داد (۲۲). ریزوسفر تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی در مقایسه با غیرریزوسفر در خاک داشت ($P < 0/01$), به‌طوری‌که کاربرد کمپوست ضایعات هرس منجر به افزایش کربن آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد که در خاک ریزوسفر ۲۵/۵ درصد بیش‌تر از خاک غیرریزوسفری بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که

۱/۰۱ برابر بیش‌تر از ریزوسفر بود (جدول ۵). عدم تغییر معنی‌دار یا تغییر بسیار جزئی pH در ریزوسفر نسبت به توده خاک به هیچ‌عنوان به معنی غیبت و عدم وجود جریان‌های پروتونی در ریزوسفر نیست به‌طوری‌که این پروتون‌ها در طیف وسیعی از واکنش‌های که منجر به مصرف پروتون می‌شوند می‌توانند شرکت داشته باشند. این جریان‌های پروتونی ریشه ممکن است نقش مهمی در متحرک و غیرمتحرک کردن عناصر در ریزوسفر داشته باشند. ممکن است ترشحات ریشه‌ای رقم پیشتاز، حاوی کربن بیش‌تر برای فعالیت میکروبی خاک بوده و بر اثر فعالیت بیش‌تر میکروارگانیسم‌ها و تولید پروتون (H^+) و یا اسیدهای آلی سبب کاهش pH ریزوسفر بر اثر فعالیت ریشه گندم رقم پیشتاز در آزمایش رایزوباکس شده باشد (۳۷). تلقیح میکوریزی در تمام سطوح ماده آلی و شاهد باعث کاهش EC شد ($P < 0/01$). بیش‌ترین میزان EC مربوط به تیمار کمپوست بدون تلقیح بود که ۱/۰۹ برابر بیش‌تر از تیمار تلقیح میکوریزی بود (جدول ۳). EC در تمام تیمارهای آلی نسبت به تیمار شاهد در هر دو سطح خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری معنی‌دار بود ($P < 0/01$). به‌طوری‌که کمپوست ضایعات هرس میزان EC را در خاک ریزوسفری به‌ترتیب ۱/۰۷ و ۳/۲۴ برابر نسبت به خاک غیرریزوسفری و تیمار شاهد در هر دو سطح خاک افزایش داد (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید که افزایش EC در تیمار کمپوست به‌دلیل بالا بودن غلظت املاح در کمپوست ضایعات هرس مصرفی بود. تلقیح میکوریزی در تمام سطوح ماده آلی و شاهد باعث کاهش EC شد. کاربرد کمپوست غلظت یون‌ها را در محلول خاک را به‌دلیل EC بالا در کمپوست ضایعات هرس مصرفی افزایش داد (جدول ۱) و باعث شد EC ریزوسفر نسبت به

تجزیه می‌گردد. از دلایل دیگر می‌توان به این موضوع اشاره کرد که احتمالاً بخشی از کربن موجود در بیوچار به دلیل ساختار پایدار بیوچار به روش مرسوم (والکی - بلک) قابل اندازه‌گیری نبوده است. تلقیح میکوریزی نسبت به شاهد سبب افزایش کربن آلی در خاک شد ($P < 0.01$). به طوری که تیمار میکوریزی در خاک ریزوسفری منجر به افزایش ۲/۲۵ برابری کربن آلی در مقایسه با غیرریزوسفر شد (جدول ۵). پژوهش‌ها نشان داد که قارچ‌های میکوریز ۵۰ تا ۷۰ درصد کربن آلی کل را که حاصل ریزش برگ‌های درختان جنگلی سوئد بود در خاک نگه داشته که از این طریق منجر به افزایش ماده آلی خاک گردید (۱۴).

بخش کربن فعال موجود در کمپوست پس از افزوده شدن به خاک تجزیه گردیده و همچنین بخشی از کربن موجود در این کود به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش سطح ماده آلی خاک شده است. به طوری که ریزوسفر محیطی است که در آن تجمع و تجزیه ترکیبات آلی رخ می‌دهد بنابراین دور از انتظار نیست که ماده آلی در ریزوسفر بیش‌تر از غیرریزوسفر باشد (۷). در تیمار بیوچار نیز مقدار ماده آلی افزایش یافت ولی در مقایسه با کمپوست کم‌تر بود. هر چند به دلیل کربن بالای بیوچار مصرفی عکس این مطلب قابل انتظار بود زیرا درجه حرارت منجر به تولید ترکیبات آروماتیک پایدار و خشبی شدن بیش‌تر مواد آلی و در نتیجه باعث تولید بیوچار مقاوم در برابر

جدول ۳- مقایسه میانگین منابع آلی و تلقیح میکوریزی بر pH، EC، کربن آلی و عناصر پر مصرف در خاک.

Table 3. Mean comparisons of the organic source and mycorrhizal inoculation on pH, EC, OC and macronutrients in the soil.

پتاسیم K-Available	فسفر P-Olsen	نیتروژن کل N (Total)	کربن آلی OC	EC	pH	
(mg kg ⁻¹)		(%)		(ds.m ⁻¹)		
210 ^e	12.2 ^{de}	0.09 ^e	0.43 ^e	0.46 ^c	7.49 ^e	شاهد Control
544 ^c	38.8 ^c	0.14 ^c	1.77 ^c	0.45 ^c	7.72 ^b	بیوچار Biochar
869 ^a	89.2 ^a	0.31 ^a	2.68 ^a	1.14 ^b	7.64 ^c	کمپوست Compost
160 ^f	8.01 ^e	0.06 ^f	0.25 ^f	0.32 ^d	7.58 ^d	شاهد Control
468 ^d	15.9 ^d	0.11 ^d	0.89 ^d	0.51 ^c	7.78 ^a	بیوچار Biochar
621 ^b	67.8 ^b	0.22 ^b	2.09 ^b	1.24 ^a	7.70 ^{bc}	کمپوست Compost

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the level $P < 0.05$.

جدول ۴- مقایسه میانگین منابع آلی و خاک بر pH، EC، کربن آلی و عناصر پر مصرف در خاک.

Table 4. Mean comparisons of the organic source and soil on pH, EC, OC and macronutrients in the soil.

پتاسیم K-Available	فسفر P-Olsen	نیتروژن کل N(Total)	کربن آلی OC	EC	pH		
(mg kg ⁻¹)		(%)		(ds.m ⁻¹)			
161 ^f	6.51 ^e	0.09 ^e	0.42 ^e	0.43 ^d	7.48 ^d	شاهد Control	
471 ^d	20.4 ^d	0.14 ^c	1.79 ^c	0.56 ^c	7.75 ^b	بیوچار Biochar	ریزوسفر rhizosphere
666 ^b	70.8 ^b	0.28 ^a	2.78 ^a	1.23 ^a	7.63 ^c	کمپوست Compost	
209 ^e	9.5 ^e	0.07 ^f	0.27 ^e	0.33 ^e	7.59 ^c	شاهد Control	
541 ^c	34.2 ^c	0.12 ^d	0.87 ^d	0.39 ^{de}	7.68 ^a	بیوچار Biochar	غیرریزوسفر non-rhizosphere
831 ^a	86.1 ^a	0.25 ^b	2.07 ^b	1.15 ^b	7.71 ^b	کمپوست Compost	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the level P<0.05.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تلقیح میکوریزی و خاک بر pH، EC، کربن آلی و عناصر پر مصرف در خاک.

Table 5. Mean comparisons of the mycorrhizal inoculation and soil on pH, EC, OC and macronutrients in the soil.

پتاسیم K-Available	فسفر P-Olsen	نیتروژن کل N(Total)	کربن آلی OC	EC	pH		
(mg kg ⁻¹)		(%)		(ds.m ⁻¹)			
501 ^b	31.6 ^b	0.19 ^a	2.41 ^a	0.69 ^b	7.57 ^c	میکوریز AMF+	ریزوسفر rhizosphere
362 ^d	27.9 ^d	0.14 ^c	1.06 ^b	0.78 ^a	7.67 ^b	شاهد AMF-	
580 ^a	53.8 ^a	0.16 ^b	1.07 ^b	0.57 ^c	7.67 ^b	میکوریز AMF+	غیرریزوسفر non-rhizosphere
403 ^c	34.8 ^c	0.13 ^d	0.88 ^c	0.67 ^b	7.77 ^a	شاهد AMF-	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the level P<0.05.

بهبود شرایط تهویه‌ای ریشه شده و امکان رشد و توسعه بیش‌تر ریشه را در خاک فراهم نموده و سطح جذب ریشه را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر تولید اسید و متابولیت‌های حاصل از تجزیه ماده آلی تلقیح شده با میکوریز مانند اسید هومیک و اسید فولیک می‌تواند با پتاسیم غیرتبادلی کلات تشکیل داده و منجر به آزادسازی پتاسیم گردد (۵). مقدار نیتروژن کل در خاک ریزوسفری بالاتر از خاک غیرریزوسفری بود. بالاترین میزان نیتروژن کل در خاک ریزوسفری تیمار کمپوست بود که $1/12$ برابر نسبت به خاک غیرریزوسفری افزایش نشان داد. کم‌ترین میزان نیتروژن کل نیز در خاک ریزوسفری در تیمار شاهد بدون ماده آلی مشاهده شد که افزایش $1/29$ برابری نسبت به خاک غیرریزوسفری داشت (جدول ۴). افزایش فسفر و پتاسیم قابل‌استفاده در خاک غیرریزوسفری تیمارهای آلی حتی در تیمار شاهد نیز در مقایسه با خاک ریزوسفری چشمگیر بود (جدول ۴). بالاترین میزان فسفر و پتاسیم قابل‌استفاده در خاک غیرریزوسفری تیمار کمپوست مشاهده شد که $17/8$ و $19/8$ درصد نسبت به خاک غیرریزوسفری افزایش نشان داد. موریتسیوکا و همکاران (۲۰۰۰) تغییرات پتاسیم، فسفر و نیتروژن را در ریزوسفر گیاه ذرت با استفاده از رایزوباکس مطالعه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که غلظت فسفر و پتاسیم در بخش مرکزی رایزوباکس (ریزوسفر) و نیتروژن در انتهای رایزوباکس (غیرریزوسفر) کاهش یافت. همچنین آنان دریافتند که میزان عناصر محلول در نزدیک ریشه کاهش یافت که میزان این کاهش به مقدار پخشیدگی عنصر در ریزوسفر بستگی داشت (۳۶). تلقیح میکوریزی سبب افزایش نیتروژن کل خاک در ریزوسفری و غیرریزوسفری شد (جدول ۵). قارچ‌های میکوریزی سبب افزایش $1/19$ برابری نیتروژن کل در خاک ریزوسفری در مقایسه با غیرریزوسفر شد. تلقیح

فراهمی عناصر غذایی پرمصرف در خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و اثرات متقابل (منابع آلی \times تلقیح میکوریزی، منابع آلی \times خاک و تلقیح میکوریزی \times خاک) بر میزان عناصر پرمصرف خاک ($P < 0/001$) معنی‌دار گردید. اثر منابع آلی و تلقیح میکوریزی بر نیتروژن کل نشان داد که افزودن مواد آلی همراه با تلقیح میکروبی تأثیر معنی‌داری نسبت به شرایط بدون تلقیح همراه با ماده آلی و نیز شرایط بدون ماده آلی و بدون تلقیح بر فراهمی عناصر پرمصرف داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که در شرایط تلقیح میکوریزی، حضور کمپوست منجر به افزایش به‌ترتیب ۲۹، $23/9$ و $28/5$ درصدی N ، P و K نسبت به شرایط بدون تلقیح گردید. جوردن و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند زمانی که کمپوست به‌عنوان ماده آلی به خاک اضافه شد قارچ‌های میکوریز قسمتی از ماده آلی را صرف افزایش قابلیت دسترس مواد غذایی (K ، P ، N) و بخش دیگر ماده آلی باقی‌مانده در تعامل با هیف، ساختمان خاک را بهبود داد (۲۲). کاهش pH خاک بعد از کاربرد مواد آلی همراه با تلقیح میکروبی مشاهده شد (جدول ۳) که مطابق با پژوهش خلیل و همکاران (۲۰۱۵) بود، آن‌ها مشاهده کردند که میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر اثر تجزیه مواد آلی اسیدهای آلی در ریزوسفر ترشح می‌کنند که علاوه بر کاهش pH خاک قادر به انحلال فسفات‌های معدنی شامل فسفات کلسیم در خاک‌هایی با pH بالا هستند (۲۳). بنا به گزارش‌ها افزودن بیوجار به خاک سبب افزایش زیست‌فراهمی فسفر شده است. افزودن بیوجار سبب تحریک قارچ‌های میکوریزی، که به‌شدت برای چرخه عناصر غذایی به‌ویژه فسفر مهم هستند، می‌شود (۲۷). در ارتباط با پتاسیم نیز می‌توان چنین بیان کرد که ماده آلی همراه با میکوریز وضعیت فیزیکی مناسبی در محیط ریشه ایجاد کرده و باعث

بیوچار اثر قابل پیش‌بینی بر باروری خاک ندارد، با این حال باعث افزایش نیتروژن کل خاک شده که احتمالاً به دلیل نیتروژن موجود در ساختار بیوچار است که در این قسمت مشارکت کرده اما برای گیاهان و میکروب‌ها غیرقابل دسترس است (۶) که با نتایج حاصل مطابقت دارد چرا که نسبت بالای C/N بیوچار محدودیتی در فراهمی نیتروژن کل خاک نداشت هر چند که در افزایش فراهمی این عنصر در خاک بعد از کمپوست بود. به‌طورکلی در ریزوسفر، سوبستراهای کربن، انرژی زیادی را که برای چرخه نیتروژن در خاک لازم است تامین می‌کند. افزایش بیش‌تر مقدار فسفر قابل استفاده در خاک غیرریزوسفری در تیمار کمپوست نسبت به سایر تیمارها به‌علت بالا بودن فسفر کمپوست مصرفی می‌باشد (جدول ۲). افزودن ماده آلی سبب جایگزینی یون هومات به‌جای فسفات‌های جذب سطحی شده و آزادسازی یون فسفات، افزایش ترکیبات آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک، ایجاد کمپلکس با یون‌های کلسیم، آهن و آلومینیوم و افزایش دفع آنیونی شده و بر فراهمی فسفر تأثیر می‌گذارد (۱۸). مجموعه این عوامل در اثر تجزیه مواد آلی باعث شده که گیاه به سهولت فسفر قابل استفاده را از خاک ریزوسفری جذب کرده و منجر به ایجاد تفاوت در خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفر شود. اگرچه مواد آلی همانند کمپوست با بهبود خصوصیات فیزیکی بستر ریشه به‌صورت غیرمستقیم بر افزایش رهاسازی پتاسیم مؤثر هستند، سهم و تأثیر شیمیایی آن‌ها به مراتب بارزتر است (۱۰). احتمالاً جذب پتاسیم از ریزوسفر توسط گیاه منجر به کاهش پتاسیم در خاک ریزوسفری نسبت به غیرریزوسفر شده است. لی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی خصوصیات تثبیت و آزادسازی پتاسیم در خاک‌های ریزوسفری و

میکوریزی در ناحیه غیرریزوسفر بیش‌ترین تأثیر را در فراهمی فسفر و پتاسیم نسبت به ناحیه ریزوسفر داشت، البته در شرایط بدون تلقیح نیز شرایط مشابه بود (جدول ۵). تلقیح میکوریزی سبب افزایش ۱/۷۰ و ۱/۱۶ برابری به‌ترتیب فراهمی فسفر و پتاسیم در خاک غیرریزوسفری نسبت به خاک ریزوسفری شد. همچنین سبب افزایش ۱/۵۵ و ۱/۴۴ برابری این عناصر نسبت به خاک غیرریزوسفری تیمار شاهد شد. ترشح اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه به‌وسیله ریشه‌های گیاه و میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر (۲۰)، به‌عنوان منابع کربن و انرژی مورد استفاده میکروارگانیسم‌های ریزوسفری، می‌تواند بر چرخه نیتروژن در خاک مؤثر باشد. همچنین انواع ضایعات گیاهی سلولزی و مواد آلی افزوده شده در معرض تجزیه میکروبی در ریزوسفر هستند که سبب آزاد شدن عناصر غذایی از این مواد آلی شده و فراهمی عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. علاوه بر این نیتروژن کل کمپوست مصرفی بالا بود که همین امر می‌تواند منجر به افزایش نیتروژن خاک گردد (جدول ۲). از طرف دیگر نسبت کربن به نیتروژن، نوع ضایعات آلی و مقدار ترکیبات آلی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در دینامیک نیتروژن خاک هستند (۹). تجزیه مواد آلی در خاک در طیف گسترده‌ای توسط نسبت C/N تعیین می‌گردد. هرچه این نسبت کم‌تر باشد، کربن آلی کم و محتوای نیتروژن بالا بوده و نیتروژن زیادی در اثر معدنی شدن ماده آلی در خاک آزاد می‌شود (۲۶). با توجه به این‌که نسبت C/N در کمپوست نسبت به بیوچار کم‌تر بود (جدول ۲) باعث شده که سریع‌تر در خاک تجزیه و منجر به فراهمی نیتروژن کافی در ریزوسفر برای گیاهان شده است. بایدرمن و هارپول (۲۰۱۳) با بررسی بیوچار و تأثیرات آن بر عملکرد گیاه و چرخه عناصر غذایی گزارش کردند که نسبت C:N از منبع

ریزوسفر جذب کرده و باعث ایجاد اختلاف بین خاک ریزوسفری و غیرریزوسفر می‌شود.

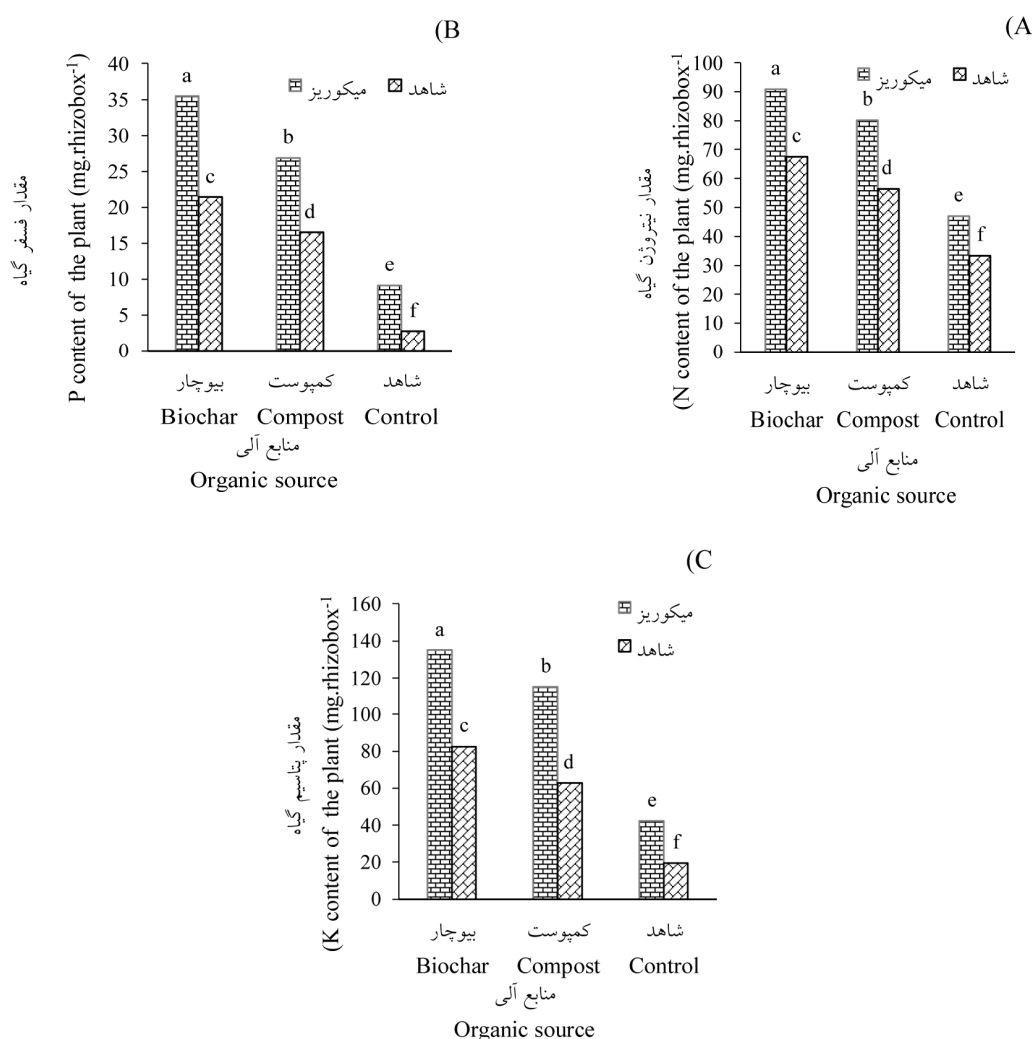
میزان عناصر پرمصرف جذب‌شده توسط گیاه: نتایج نشان داد که در تیمارهای ماده آلی حتی در تیمار بدون ماده آلی نیز تلقیح میکوریزی تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب عناصر پرمصرف در گیاه ($P < 0.001$) داشت (شکل ۱). بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن بخش هوایی گیاه در تیمار بیوچار تلقیح میکوریزی مشاهده شد که $1/34$ برابر بیش‌تر از تیمار بیوچار بدون تلقیح بود و با تیمار کمپوست و تیمار شاهد در هر دو سطح تلقیح تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نشان داد (شکل ۱- A). همچنین کاربرد ماده آلی همراه با حضور قارچ میکوریزی تأثیر معنی‌داری نسبت به شرایط بدون ماده آلی و تلقیح میکوریزی بر مقدار فسفر و پتاسیم در گیاه داشت. البته مقدار فسفر در تیمار بیوچار همراه با تلقیح میکوریزی در مقایسه با سایر تیمارها بیش‌ترین مقدار بود (شکل ۱- B). در شرایط بدون ماده آلی، تلقیح میکوریزی منجر به افزایش $21/1$ برابری غلظت پتاسیم در گیاه شدند. همچنین تیمار بیوچار تلقیح میکوریزی $1/63$ برابر غلظت پتاسیم را نسبت به تیمارهای بدون تلقیح افزایش داد (شکل ۱- C).

بر اساس نتایج به‌دست آمده بالاترین میزان عناصر پرمصرف خاک در تیمار کمپوست مشاهده گردید. همچنین بیوچار نیز سبب افزایش میزان این عناصر در خاک شد هر چند که نسبت به کمپوست کاهش نشان داد، علت این کاهش ناشی از سرعت جذب بیش‌تر عناصر N، P، K توسط گیاه بود (شکل ۱). همچنین مقدار نیتروژن کل خاک نیز در تیمار کمپوست نشان‌دهنده این است که به‌علت افزایش فراهمی نیتروژن در خاک توانسته میزان نیتروژن بیش‌تری برای گیاه فراهم کند. نتایج آزمایش هیو و بارکر (۲۰۰۴) نیز نشان داد که کمپوست ضایعات کشاورزی باعث

غیرریزوسفری برای کشت متوالی برنج مشاهده کردند پتاسیم آزاد شده در خاک ریزوسفری کم‌تر از خاک غیرریزوسفری مشاهده شد (۳۰). ویر و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری علاوه بر بهبود بخشیدن خواص فیزیکی خاک که مربوط به افزایش کربن آلی خاک بود، سبب افزایش قابل‌توجه مقادیر قابل‌جذب پتاسیم و سایر عناصر در طول دوره پژوهش (سه سال) شد (۵۳). قارچ‌های میکوریز توانایی جذب عناصر پرمصرف را داشته و منجر به افزایش زیست‌فراهمی عناصر در خاک می‌شود (۳۳). اندرسون و همکاران (۱۹۸۴) گزارش کردند که اسپور قارچ‌های میکوریزی همبستگی مثبتی با کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک داشت (۱). قارچ آربوسکولار در حالی‌که به درون پوست ریشه گیاه نفوذ می‌کند از گیاه میزبان خود کربن دریافت می‌کند و در مقابل فسفر و سایر عناصر معدنی را به‌وسیله هیف‌های گسترده خود در خاک جذب و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (۲۴). به‌نظر می‌رسد جذب فسفر توسط ریشه گیاه و میکروارگانسیم‌ها منجر به تخلیه مخازن قابل دسترس فسفر در خاک‌های ریزوسفری شده و در نتیجه سرعت آزادسازی فسفر در خاک‌های ریزوسفر پایین‌تر از خاک‌های توده است. مطالعات اثر فرآیندهای بیولوژیکی و مواد مترشحه از ریشه گیاهان و قارچ‌ها را بر روی هوادیدگی فازهای معدنی در ناحیه ریزوسفر گزارش کردند (۴۰). گلووا و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند قارچ‌ها هم قادر به هوادیده کردن فازهای معدنی و آزادسازی پتاسیم هستند. میکروارگانسیم‌های خاک دارای محل‌های تبدیلی‌اند و تراکم آن‌ها در اطراف ریشه بیش‌تر است، به‌نظر می‌رسد که ظرفیت تبدیلی محیط ریشه بیش‌تر از محیط خارج شود و این در جذب پتاسیم توسط گیاه مؤثر است (۱۷). بنابراین گیاه پتاسیم را از ناحیه

شدن فرآیند تثبیت فسفر در خاک شده و می‌تواند بخشی از نیاز گیاه به فسفر را تأمین کند (۱۶). در ارتباط با تیمار بیوجار نیز می‌توان چنین بیان کرد که تلقیح میکوریزی توانسته فعال‌تر از تیمار بدون تلقیح عمل کرده و مقدار بیش‌تری از فسفر قابل‌استفاده خاک را از طریق ریشه جذب و به بخش هوایی گیاه منتقل کند که منجر به افزایش غلظت فسفر در گیاه گردد. وانگ و لهمانن (۲۰۱۴) با مطالعه فراهمی فسفر در لوبیا از طریق برهمکنش بین بیوجار و میکوریز گزارش کردند که کاربرد بیوجار با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار منجر به افزایش غلظت فسفر در گیاه شد همچنین بیان کردند غلظت فسفر در بخش هوایی گیاه به‌طور قابل‌توجهی بیش‌تر از تیمار شاهد (خاک) شد (۵۲). غلظت عناصر در گیاه تحت‌تأثیر غلظت عناصر در خاک است. به‌گونه‌ای انتظار می‌رود با افزایش غلظت عناصر در خاک، غلظت آن‌ها در گیاه نیز بیش‌تر شود یا با کاهش غلظت عناصر در خاک جذب بیش‌تری توسط گیاه انجام گرفته باشد (۳۴). که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد چرا که مقدار پتاسیم در خاک در تیمار تلقیح میکوریزی بیوجار نسبت به کمپوست کاهش نشان داد که گویای جذب بیش‌تر پتاسیم توسط گیاه بوده است. پرنر و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح میکوریز و کمپوست جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاه را افزایش داد (۴۱). همچنین یوپادهیای (۲۰۱۵) گزارش کرد که کاربرد توام بیوجار و تلقیح میکوریزی منجر به افزایش غلظت عناصر پرمصرف به‌ویژه پتاسیم در گیاه گوجه‌فرنگی شد (۵۱).

جذب مقادیر زیادی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در گیاه گوجه‌فرنگی می‌گردد (۲۱). بیوجار دارای قابلیت جذب آنیونی بوده و سطح ویژه بالایی دارد بنابراین قادر است یون‌های نترات را جذب کرده و موجب نگهداری آن در خاک و کاهش آبشویی نترات و افزایش نیتروژن در محدوده ریشه شده و باعث افزایش میزان نیتروژن گیاه گردد (۵۵). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که قابلیت جذب رطوبت توسط بیوجار و بالا بودن تخلخل ریز در ساختار آن این امکان را برای میکروارگانیسم‌ها و سایر فرآیندهای نترات‌ساز تسهیل می‌کند (۳۵) که میکروارگانیسم‌ها از طریق فراهم کردن سطح جذب، سبب بهبود جذب عناصر معدنی، مانند نیتروژن در گیاه شوند. افزایش نیتروژن بخش هوایی گیاه با کاربرد بیوجار و تلقیح قارچ‌های میکوریز گزارش شده است (۳۹). بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که ریشه گیاه به‌خوبی توانسته فسفر قابل‌استفاده گیاه را از منطقه ریزوسفر جذب کرده و به بخش هوایی گیاه منتقل کند و منجر به کاهش فسفر قابل‌استفاده در منطقه ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفری شود. چنان‌چه مشاهده شد بیش‌ترین میزان فسفر قابل‌استفاده خاک در تیمار کمپوست تلقیح میکوریزی بود. تیمار بیوجار نیز در تلقیح میکوریزی باعث افزایش مقدار فسفر قابل‌استفاده خاک شده بود هر چند که کم‌تر از تیمار کمپوست بود. گیوسکیوانی و همکاران (۱۹۸۸) بیان کردند از جمله دلایل افزایش حلالیت فسفر در نتیجه افزودن کمپوست، حضور فسفر زیاد در کمپوست و تشکیل کمپلکس‌های فسفوهومیک بیان کردند که سبب کند

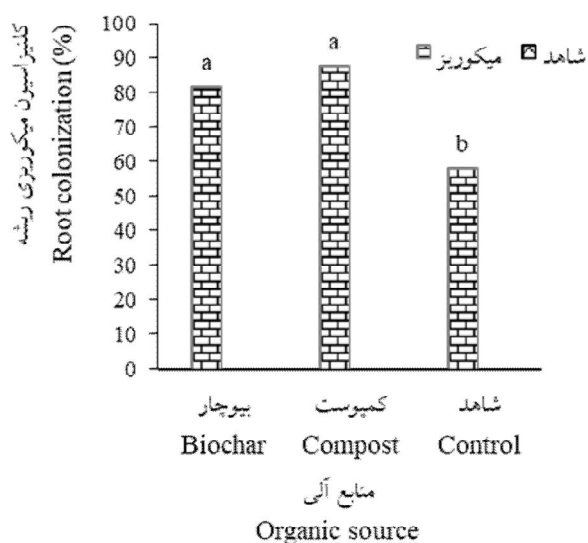


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل منابع آلی و تلقیح میکوریزی بر مقدار نیتروژن (A)، فسفر (B) و پتاسیم گیاه (C).

Figure 1. Mean comparison of the organic source and mycorrhizal inoculation on N (A), P (B) and K (C) in plant.

و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فرآیندهای زیستی خاک فراهم می‌کند (۲). علاوه براین، نتایج نشان داد که کمپوست و در مرتبه بعد بیوجار همراه با تلقیح میکوریزی خصوصیات شیمیایی و نیز فراهمی عناصر در خاک و گیاه را افزایش داد که نشان‌دهنده همبستگی بالای این تیمارها با قارچ‌های میکوریزی در افزایش کلنیزاسیون میکوریزی ریشه بوده است. مادر و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که افزودن کمپوست به خاک منجر به افزایش ۳۰-۶۰ درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه در ریزوسفر گندم شد (۳۲).

درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار منابع آلی و قارچ‌های میکوریزی بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه بود ($P < 0.01$). قارچ‌های میکوریزی همراه با تیمارهای آلی منجر به افزایش درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۲). تیمار کمپوست و بیوجار بالاترین درصد کلنیزاسیون را به خود اختصاص دادند که نسبت به تیمار شاهد ۳۴ و ۲۹/۲ درصد افزایش دادند. افزودن مواد آلی، با بهبود شرایط فیزیکی خاک محیط مناسبی را برای گسترش



شکل ۲- اثر منابع آلی و قارچ میکوریز بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه.

Figure 2. The effect of the organic source and AMF on root colonization (%).

زیست‌فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌شود. افزودن مواد آلی به خاک همانند کمپوست و بیوجار در تلقیح با قارچ‌های میکوریز با تغییر pH، EC، کربن آلی منطقه ریزوسفر، ترشح انواع اسیدهای آلی از میکروارگانیسم‌ها و ریشه گیاه و تعادلات شیمیایی و بهبود شرایط فیزیکی در محیط ریشه منجر به افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌گردد. بنابراین استفاده از مواد آلی همانند کمپوست و بیوجار و استفاده از پتانسیل قارچ‌های میکوریزی جایگزین بسیار مناسبی برای کودهای شیمیایی و کاهش خطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد این کودها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان این گونه بیان نمود که کاربرد مواد آلی در خاک همراه با تلقیح میکوریزی با تشدید فعالیت‌های بیولوژیکی خاک به چرخش بهتر عناصر غذایی در خاک کمک می‌کند. استفاده از منابع آلی خصوصیات شیمیایی ریزوسفر را به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌دهد و منجر به افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک آهکی و در نهایت افزایش فراهمی آن‌ها در گیاه می‌گردد. همچنین افزایش کلنیزاسیون میکوریزی ریشه در نتیجه تلقیح میکوریزی همراه با کاربرد مواد آلی به‌خصوص کمپوست منجر به معدنی شدن مواد آلی و افزایش

منابع

- Anderson, R.C., Liberta, A.E., and Dickman, L.A. 1984. Interaction of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient. *J. Oecol.* 64: 111-117.
- Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of French basil. *J. Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1737-1746.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., and Higgs, N.A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *J. Plant Soil.* 337: 1-18.

4. Barea, J.M., Azcon, R., and Azcon-Aguilar, C. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie van Leeuwenhoek*. 81: 343-351.
5. Basak, B.B., and Biswas, D.R. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare Pers.*) grown under two Alfisols. *J. Plant Soil*. 317: 235-255.
6. Biederman, L.A., and Harpole, W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *J. GCB Bio*. 5: 202-214.
7. Borken, W., Muhs, A., and Beese, F. 2002. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. *J. Soil Biol. Biochem*. 34: 403-412.
8. Bramryd, T. 2001. Effect of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scot pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden. *J. Forest. Ecol. Manage*. 147: 197-216.
9. Bustamante, M.A., Perez-Murcia, M.D., Paredes, C., Moral, R., Pe'rez-Espinosa, A., and Moreno-Caselles, J. 2007. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. *J. Biores. Technol*. 98: 3269-3277.
10. Cecil, F., and Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of Somali soil. *J. SSSA*. 54: 827-831.
11. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *J. Soil Res*. 45: 629-634.
12. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Austr. J. Soil Res*. 46: 437-444.
13. Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Malo, D.D., and Julson, J.L. 2013. Effect of biochars on chemical properties of acidic soil. *J. Arch. Agron. Soil Sci*. 60: 393-404.
14. Clemmensen, K.E., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R.D., Wardle, D.A., and Lindahl, B.D. 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *J. Sci*. 339: 1615-1618.
15. Dharmakeerthi, R.S., Chandrasiri, J.A.S., and Edirimanne, V.U. 2012. Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *Springer Plus*. 1: 1-84.
16. Giusquiani, P.L., arucchini, C.M., and Businelli, M. 1988. Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. *J. Plant. Soil* 109: 73-78.
17. Glowa, K.R., Arocena, J.M., and Massicote, H.B. 2003. Extraction of potassium and/ or magnesium from selected soil minerals by *Piloderma*. *J. Acta Biol*. 7: 299-306.
18. Gyaneshwar, P., Naresh Kumar, G., Parekh, L.J., and Poole, P.S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *J. Plant. Soil*. 245: 83-93.
19. Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C., and Jaillard, B. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their response to environmental constraints: a review. *J. Plant. Soil*. 248: 43-59.
20. Hinsinger, P., Gobran, G.R., Gregory, P.J., and Wenzel, W.W. 2005. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *J. New Phytol*. 168: 293-303.
21. Hu, Y., and Barker, A.V. 2004. Effects of composts and their combinations with other materials on nutrient accumulation in tomato leaves. *Commun. J. Soil Sci. Plant Anal*. 35: 2809-2823.
22. Jordan, N.R., Zhang, J., and Huerd, S. 2000. Arbuscular-mycorrhizal fungi: potential roles in weed management. *J. Weed Res*. 40: 397-410.
23. Khalil, H.M.A., and Hassan, R.M. 2015. International Journal of Plant Research, Raising the Productivity and Fiber Quality of Both White and Colored Cotton Using Eco-Friendly Fertilizers and Rice Straw. *J. Integr. Plant Res*. 5: 5. 122-135.
24. Koide, R.T., and Mosse, B. 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*. 14: 145-163.

25. Kookana, R.S., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L., Krull, E., and Singh, B. 2011. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. *Advances in Agronomy J.* 112: 103-143.
26. Kumar, K., and Goh, K.M. 2002. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *J. Eur. Agron.* 16: 295-308.
27. Lambers, H., Raven, J.A., Shaver, G.R., and Smith, S.E. 2008. Plant nutrient acquisition strategies change with soil age. *J. Trends. Ecol. Evol.* 23: 95-103.
28. Laird, D., Fleming, P., Wang, B.Q., Horton, R., and Karlen, D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *J. Geod.* 158: 436-442.
29. Lehmann, J., Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *J. Plant. Soil.* 249: 343-357.
30. Li, X., Lu, J., Wu, L., Chen, F., and Malhi, S.S. 2010. Potassium Fixation and Release Characteristics in Rhizosphere and Nonrhizosphere Soils for a Rapeseed-Rice Cropping Sequence. *J. Soil. Sci. Plant*, 41p.
31. Liu, Y., Yang, M., Wu, Y., Wang, H., Chen, Y., and Wu, W. 2011. Reducing CH₄ and CO₂ emission from waterlogged paddy soil with biochar. *J. S. S.* 11: 930-939.
32. Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., and Niggli, U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *J. Biol. Fert. Soils.* 31: 150-156.
33. Marschner, H., and Dell, B. 1994; Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, *J. Plant. Soil.* 159: 89-100.
34. Menge, J.A. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *J. Can. Bot.* 61: 1015-1024.
35. Metwally, S.Y., and Pollard, A.G. 2006. Effects of soil moisture conditions on the uptake of plant nutrients by barley and on the nutrient content of the soil solution. *J. Sci. Food. Agri.* 10: 632-636.
36. Moritsuka, N., Yanai, J., and Kosaki, T. 2000. Effect of plant growth on the distribution and forms of soil nutrients in the rhizosphere. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.* 46: 439-447.
37. Moshiri, F. 2010. Chemical behavior of zinc in rhizosphere of two Zn-efficient and Zn-in efficient wheat cultivar. Ph.D. Thesis. Soil Science Department. University of Tehran.
38. Nieto, G., Gascó, J., Paz-Ferreiro, J., Fernández, M., Plaza, C., and Méndez, A. 2015. The effect of pruning waste and biochar addition on brown peat based growing media properties. *J. Sci. Hort.* 199: 142-148.
39. Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., and Ambaw, G. 2012. Effect of biochar application on soil Properties and nutrient uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *Am-Euras. J. Ag. Environ. Sci.* 12: 3. 369-376.
40. Norozi, S. 2006. Release of Potassium from some mica minerals through some organic acid in rhizosphere of barley. M.Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. Isfahan University of technology, Isfahan, Iran, 158p.
41. Perner, H., Schwarz, D., and George, E. 2006. Effect of Mycorrhizal Inoculation and Compost Supply on Growth and Nutrient Uptake of Young Leek Plants Grown on Peat-based Substrates. *J. Hort. Sci.* 41: 3. 628-632.
42. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., and Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *J. Biol. Fert.* 48: 3. 271-284.
43. Roberts, K.G., Gloy, B.A., Joseph, S., Scott, N.R., and Lehmann, J. 2010. Life cycle assessment of biochar systems: Estimating the energetic, economic and climate change potential. *J. Environ. Sci. Technol.* 44: 827-833.
44. Roppongi, K. 1993. Residual effects of rice straw compost after continuous application to upland alluvial soil. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.* 64: 417-422.

45. Ruiz-Lozano, J.M., and Azcon, R. 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhiza*. 10: 137-143.
46. Saito, M. 1990. Charcoal as a micro-habitat for VA mycorrhizal fungi and its practical implication. *Agriculture, J. Eco. Environ.* 29: 341-344.
47. Seguin, V., Gagnon, C., and Courchesne, F. 2004. Changes in water extractable metals, pH and organic carbon concentrations at the soil-root interface of forested soils. *J. Plant. Soil.* 206: 1-17.
48. Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., and Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *J. Adv. Agron.* 105: 47-82.
49. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumner, M.E. 1996. Methods of soil analysis Part 3- Chemical methods. Soil Science Society of America Book Ser. 5, Madison, Wisconsin, USA, 1390p.
50. Toal, M.E., Yeomans, C., Killham, K., and Meharg, A.A. 2000. A review of rhizosphere carbon flow modelling. *J. Plant. Soil.* 222: 263-281.
51. Upadhyay, P.K. 2015. The Influence of Biochar on Crop Growth and the Colonization of Horticultural Crops by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Thesis: The University of Queensland; School of Agriculture and Food Sciences. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy.
52. Vanek, S.J., and Lehmann, J. 2014. Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar. *J. Plant. Soil.* 395: 105-123.
53. Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E., and Kocowicz, A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *J. Soil. Biol. Bioch.* 39: 1294-1302.
54. Whalen, J.K., Chi Chang, and Olsen, B.M. 2001. Nitrogen and phosphorous mineralization potentials of soil receiving repeated annual cattle manure applications. *J. Biol. Fert. Soils.* 34: 334-341.
55. Zhang, A.P., Liu, R.L., Gao, J., Zhang, Q.W., Xiao, J.N., Chen, Z., Yang, S.Q., Hui, J.Z., and Yang, L.Z. 2015. Effects of Biochar on Nitrogen Losses and Rice Yield in Anthropogenicalluvial Soil Irrigated with Yellow River Water. *J. Agro. Environ. Sci.* 10: 116-54.



The effect of rhizosphere on availability of soil elements in the presence of biochar and compost pruning waste and mycorrhizal

*R. Vahedi¹, M.H. Rasouli-Sadaghiani² and M. Barin³

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, University of Urmia, ²Professor, Dept. of Soil Science, University of Urmia, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Urmia

Received: 10/04/2017; Accepted: 12/16/2017

Abstract

Background and Objectives: The rhizosphere, a soil-root interface, is a dynamic microcosm where interact microorganisms, plant roots and soil constituents. Trees pruning waste by turning into biochar and compost and adding to soil improves the physical, chemical and biological properties of the soil. Another approach to availability is to use the potential microorganisms such as Arbuscular mycorrhizal fungi. Considering that rhizosphere studies have beneficial results. The aim of this study was to investigate the effect of wheat rhizosphere treated with biochar and compost prepared from trees pruning and mycorrhizal inoculation on availability of macronutrient in rhizobox condition.

Materials and Methods: This study was carried out in a factorial based on completely randomized design under greenhouse condition in rhizobox. The factors including organic sources (pruning waste biochar, pruning waste compost and control), mycorrhizal inoculation (*Glomus fasciculatum* and non-inoculation) and soil (rhizosphere and non-rhizosphere soil). For this purpose, a soil sample with light texture was prepared. Biochars produced from temperature of approximately 350°C. Also, compost was prepared from the research greenhouse department of soil science of Urmia University. The plant was planted in Rhizobox at 20*15*20 cm (length, width and height). In order to greenhouse tests, the biochar and compost added to the boxes in terms of 1.5% pure organic carbon (each box containing 5.80 kg of soil). For plant cultivation, wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) cultivar Pishtaz were grown in rhizobaxes. At the end of the growth period, pH and EC (1:5, soil: water), organic carbon by walkley-black method, The percentage of mycorrhizal colonization, Nitrogen, Potassium, Phosphorus in rhizosphere and non-rhizosphere soils and content macronutrients in the plant were determined.

Results: The results showed that the highest pH was in biochar (7.88) non- mycorrhizal inoculation. The amount of OC, N, P and K in compost treatment with mycorrhizal inoculation were significantly higher than other treatments. Compost treatments in comparison with biochar provided more contents of EC, OC, N, P and K in the rhizosphere and non-rhizosphere. Mycorrhizal inoculation increased the availability of P and K by 1.70 and 1.16 times in non-rhizosphere soil, compared to the rhizosphere. However, the content N in the rhizosphere soil of the mycorrhizal inoculation treatment was 1.19 times higher than non-rhizosphere soil. The higher uptake of N, P and K by plant in inoculum of mycorrhiza biochar increased 48.1, 39.6 and 38.8% compared to the control, respectively.

Conclusion: The use of organic materials significantly changed the chemical properties of the rhizosphere and increased the availability of nutrients in calcareous soils. Ultimately, they increase availability of nutrients in plants. Also, the use of rhizobox method by adding organic matter along with mycorrhizal inoculation could justify the microbial-rhizospheric processes in relation to the availability of nutrients. It can be concluded that the application of biochar and compost in mycorrhizal inoculations leads to an increase in the nutrients availability in soils and plant.

Keywords: Rhizosphere, Organic matter, Nutrient availability, Mycorrhizal inoculation

* Corresponding Author; Email: rvahedi93@yahoo.com