



تأثیر بیوچار و قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد ذرت در خاک آلوده به روی

*زهرا دیانت‌مهارلویی^۱، جعفر یثربی^۲، مژگان سپهری^۲ و رضا قاسمی^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، آستادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز،

^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: رابطه همزیستی قارچ‌های اندوفیت و گیاهان به دلیل اثرات قابل توجه آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان در شرایط آلودگی خاک نقش مؤثری در افزایش مقاومت گیاهان به تنش فلزات سنگین دارد. این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوچار پوست برنج و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر برخی شاخص‌های رشدی (ارتفاع، وزن تر و قطر اندام هوایی) گیاه ذرت و برخی ویژگی‌های بیولوژیکی (تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی) در یک خاک آلوده به روی در شرایط گلخانه انجام گردید.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این آزمایش، مقدار کافی خاک از افق سطحی صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری شد. پس از هواخشک کردن نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل تیمارهای سولفات روی (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، بیوچار پوست برنج (۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) و قارچ *Piriformospora indica* (عدم تلقیح و تلقیح) انجام شد. جهت تهیه بیوچار از بقایای پوست برنج استفاده شد که بقایا به مدت چهار ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در شرایط اکسیژن محدود تولید شد. جهت تکثیر قارچ و تولید مقدار کافی اسپور، جدایه‌های قارچ مذکور کشت و در دمای ۲۴ درجه سلسیوس درون انکوباتور به مدت چهار هفته نگهداری شد. قبل از کشت ذرت، بعد از اضافه کردن بیوچار و روی، خاک به مدت ۲ ماه در شرایط رطوبت مزرعه‌ای در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خوابانیده شد. هشت هفته پس از رشد گیاه، برخی ویژگی‌های بیولوژیکی و مورفولوژی در گیاه ذرت اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار، وزن تر اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح‌نیافته با قارچ) به ترتیب ۴/۱۴، ۹/۱۸ درصد، ارتفاع اندام هوایی به ترتیب ۳/۴۹ و ۸/۴۳ درصد و قطر ساقه به ترتیب ۳/۱۸ و ۹/۲۵ درصد افزایش معنی‌داری یافت. در حالی که در شرایط مشابه، وزن تر اندام هوایی گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ به ترتیب ۵/۷۳، ۱۲/۷۶ درصد، ارتفاع اندام هوایی به مقدار ۴/۸۴ و ۷/۶۷ درصد و قطر ساقه به ترتیب ۶/۷۱ و ۲۲/۱۶ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌دار نشان دادند. همچنین میانگین تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک پس از برداشت ذرت در گیاهان فاقد قارچ *P. indica* در شرایط کاربرد سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار نسبت به شاهد

* مسئول مکاتبه: dianatzahra31@yahoo.com

بدون بیوجار به ترتیب ۳۹/۳۳، ۴۷/۸۳ درصد و ۱۲/۶۹، ۳۱/۳۰ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$). اما مقدار شاخص‌های مذکور در گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوجار نسبت به شاهد بدون بیوجار به ترتیب ۴۰/۸۵، ۴۶/۶۳ درصد و ۲/۹۶، ۲۶/۴۸ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: کاربرد سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوجار سبب افزایش ارتفاع، وزن تر و قطر اندام هوایی گیاه ذرت و نیز افزایش تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به سطح شاهد گردید، در حالی که این افزایش در گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ *P. indica* بیش‌تر می‌باشد. می‌توان گفت افزایش سطوح بیوجار سبب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه می‌گردد. همچنین قارچ *P. indica* احتمالاً به دلیل تولید مواد محرک رشد و همچنین افزایش قابلیت فراهمی عناصر غذایی معدنی برای گیاه، سبب بهبود رشد گیاه ذرت شده است. همچنین ارتفاع، وزن تر و قطر اندام هوایی گیاه در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک افزایش و در سطوح بالاتر (۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) کاهش یافت، احتمالاً در سطوح بالای روی به دلیل کاهش سیتوکینین، آهن، پتاسیم و کلسیم و همچنین افزایش اتیلن و بازدارنده‌های رشد مانع رشد گیاه ذرت شده است.

واژه‌های کلیدی: تنفس میکروبی، فلزات سنگین، قارچ‌های اندوفیت، کربن زیست‌توده میکروبی

مقدمه

مواد خام در دماهای زیاد می‌باشد (۱۵). کارتر و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوجار پوسته برنج باعث افزایش وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و همچنین ارتفاع گیاه کاهو و کلم در مقایسه با تیمار شاهد گردید (۹). اوزوما و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کاربرد بیوجار سبب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید (۴۷). گیاهان در رویشگاه‌های طبیعی و یا در شرایط زراعی غالباً در معرض عوامل محیطی زنده و یا غیرزنده‌ای قرار می‌گیرند که به دلیل ایجاد اختلال یا توقف در فعالیت‌های زیستی و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد آن‌ها به‌عنوان عوامل تنش‌زا شناخته می‌شوند گیاهان هرگز نخواهند توانست خود را از شرایط تنش‌زای محیطی دور نگه دارند، بنابراین روش‌های بیولوژیک مانند استفاده از ریزجانداران مفید و دارای توان همزیستی با گیاهان مانند باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ اندوفیت جهت

امروزه، بسیاری از کشورهای در حال توسعه تمایل به استفاده بهینه از بقایای کشاورزی مانند باگاس نیشکر، کاه و پوسته برنج، کاه گندم، بقایای ذرت و آفتابگردان در زمین‌های کشاورزی دارند (۱۵). یکی از راه‌های استفاده از بقایای کشاورزی که اخیراً مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است، آتشکافت^۱ است (۳۸). آتشکافت فرآیند تبدیل گرمایی - شیمیایی، زیتوده در شرایط کم یا بدون اکسیژن است که منجر به ایجاد سه فاز گاز، مایع و جامد می‌شود. فاز جامد که بیوجار یا زغال زیستی نامیده می‌شود یک ماده جامد متخلخل و غنی از کربن است که سبب ذخیره و ترسیب کربن در خاک می‌شود (۴۹). فو و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که با افزایش دمای آتشکافت از ۶۰۰ به ۱۰۰۰ درجه سلسیوس، عملکرد بیوجار تولید شده از کاه و کلش ذرت، برنج و پنبه کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش، احتمالاً تجزیه و متلاشی شدن زیاد

اندوفیت *Piriformospora indica* بر عملکرد گیاه ذرت و برخی شاخص‌های بیولوژیک در خاک‌های آلوده به غلظت‌های مختلف روی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این آزمایش، مقدار کافی خاک از افق سطحی صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک سری کوی اساتید با اسم علمی (Loamy-skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents) از منطقه باجگاه استان فارس جمع‌آوری شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت خاک (روش هیدرومتر (۶))، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع (توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (۴۳))، پ‌هاش در خمیر اشباع (توسط دستگاه پ‌هاش‌متر (۶۶)) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۴۵) اندازه‌گیری شدند. همچنین، مقدار ماده آلی (روش اکسایش مرطوب (۳۶))، کربنات‌کلسیم معادل (روش خنثی‌سازی به‌وسیله اسید کلریدریک (۲۹))، فسفر قابل‌استفاده (روش بی‌کربنات سدیم ۰/۵ مولار در پ‌هاش ۸/۵ (۳۷))، نیتروژن کل (روش کلدال (۸))، پتاسیم قابل‌استخراج (توسط اسنات آمونیوم مولار خنثی (۱۱)) و عناصر کم‌مصرف (روش عصاره‌گیری با دی تی پی ای و تعیین غلظت با دستگاه جذب اتمی (۲۸)) اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن، برخی شاخص‌های رشدی گیاه مانند وزن تر اندام هوایی، ارتفاع و قطر ساقه نیز اندازه‌گیری شد. تنفس میکروبی (روش سیستم بسته (Closed jars) و تیتراسیون (۲۳)) و کربن زیست‌توده میکروبی (روش انکوپاسیون تدخین (۲۴)) از دیگر شاخص‌هایی بودند که مورد سنجش قرار گرفتند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری، خشکی، سرما و آلودگی خاک به فلزات سنگین، پژوهشگران را در دستیابی به کشاورزی پایدار امیدوار نموده است *P. indica* یکی از قارچ‌های اندوفیت شبه‌میکوریزی است که توسط وارما و همکاران (۱۹۹۸) در ایالت راجستان کشور هندوستان کشف شد. این قارچ با کلنیزاسیون در ریشه گیاهان میزبان مختلف سبب تحرک رشد و افزایش مقاومت آن‌ها به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌گردد. این قارچ بر خلاف قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار که همزیست اجباری گیاهان میزبان هستند، همزیست اختیاری می‌باشد و به‌آسانی در محیط‌های کشت مصنوعی قادر به رشد می‌باشد (۴۸). از این‌رو بهره‌گیری از این قارچ در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی از جمله فلزات سنگین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، مصباح‌الزمان و اینگلیبی (۲۰۰۵) با بررسی تأثیر قارچ *P. indica* در سه گیاه خردل، اسفناج و کلم نشان دادند که همزیستی قارچ *P. indica* باعث افزایش ارتفاع و زیست‌توده هر سه گیاه مورد آزمایش گردیده است (۳۴). رفتار جمعیت میکروبی بستگی به کیفیت و میزان مواد آلی اضافه شده به خاک دارد، همچنین تنفس میکروبی خاک، میزان در دسترس بودن مواد آلی را نشان می‌دهد (۳). حجتی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار کربن زیست‌توده میکروبی در گیاه ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید. آن‌ها دلیل این امر را به افزایش سطح کربن آلی مربوط دانستند، زیرا با افزایش کربن آلی، میزان سوبسترای مورد نیاز جمعیت‌های میکروبی هتروتروف افزایش و در نتیجه جمعیت میکروبی افزایش می‌یابد (۱۹). این پژوهش به بررسی تأثیر بیوچار پوست برنج و قارچ

توجه به این که تهیه مایه تلقیح جهت کلنیزاسیون ریشه گیاه، مستلزم وجود تعداد کافی اسپور قارچ است، بنابراین با تهیه تعداد کافی پتری دیش محتوی محیط کشت پیچیده، جدایه های قارچ مذکور کشت و در دمای ۲۴ درجه سلسیوس درون انکوباتور به مدت ۴ هفته جهت تکثیر قارچ و تولید مقدار کافی اسپور نگهداری شد. پس از سپری شدن مدت زمان لازم، اقدام به جمع آوری اسپورهای قارچی از سطح محیط کشت گردید و پس از انجام مراحل مختلف سانتریفیوژ، شستشو و انحلال طی سه مرتبه، تعداد اسپورها در مایع تلقیح قارچ با استفاده از لام نئوبار شمارش و در حدود 5×10^7 اسپور در هر میلی لیتر محلول حاوی آب توئین ۲۰ درصد تنظیم شد (۳۹).

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با تیمارهای سولفات روی (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک)، بیوجارپوست برنج (۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) و قارچ *P. indica* (تلقیح و عدم تلقیح) در سه تکرار انجام گردید. جهت تهیه بیوجار از بقایای پوست برنج موجود در کارخانه برنج کوبی شهرستان کامفیروز (استان فارس) استفاده شد. بقایا پس از جمع آوری، هوا خشک و آسیاب و در ورقه های آلومینیومی بسته بندی شدند تا فرایند اکسیژن رسانی به بقایا محدود شود. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شدند تا زغالی که به آن بیوجار می گویند، تولید گردد (۱۸). جهت کشت قارچ *P. indica* از محیط کشت کمپلکس (*complex medium*) استفاده شد (۳۹). با

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

Table 1. Some physicochemical properties of soil sample.

مقدار Value	واحد Unit	خصوصیت Property
63.3	(%) (%)	شن sand
18.3	(%) (%)	سیلت Silt
18.4	(%) (%)	رس Clay
Sandy loam	----- -----	بافت Soil texture
0.68	(%) (%)	ماده آلی OM
47.61	(%) (%)	کربنات کلسیم معادل CCE

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

مقدار Value	واحد Unit	خصوصیت Property
0.52	(dS m ⁻¹) (dS m ⁻¹)	قابلیت هدایت الکتریکی Ec
7.74	----- -----	پ‌ه‌اش (خمیر اشباع) pH
11.2	(Cmol(+) kg ⁻¹) (Cmol(+) kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
0.14	(%) (%)	نیترژن کل N
376	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل استفاده K
17	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	فسفر محلول در بی‌کربنات سدیم P
5.41	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	منگنز قابل استخراج با دی. تی. پی. ا Mn
1.15	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	مس قابل استخراج با دی. تی. پی. ا Cu
2.53	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	آهن قابل استخراج با دی. تی. پی. ا Fe
0.35	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	روی قابل استخراج با دی. تی. پی. ا Zn

نرمال حل شد و پس از عبور از کاغذ صافی، با آب مقطر به حجم رسانده شد. غلظت عناصر آهن، منگنز، روی و مس موجود در بیوچار با دستگاه جذب اتمی، غلظت فسفر به روش آمونیوم مولیبدات وانادات (۱۰) و مقدار نیترژن کل به روش کلدال (۸) اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

پس از آسیاب کردن بیوچار و عبور از الک ۰/۵ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های شیمیایی مانند پ‌ه‌اش، ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شدند. جهت انجام تجزیه‌های شیمیایی بیوچار، یک گرم از بیوچار پوست برنج در کوره الکتریکی به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر و سپس در اسید کلریدریک دو

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچار مورد آزمایش.

Table 2. Some chemical properties of biochar sample.

بقایای پوست برنج Rice Husk Residue	بیوچار پوست برنج Rice Husk Biochar	واحد Unit	خصوصیت Property
6.92	8.72	----- -----	پ‌هاش (با نسبت ۱:۱۰) pH
2.05	2.85	(dS m ⁻¹) (dS m ⁻¹)	قابلیت هدایت الکتریکی EC
0.95	1.63	(%) (%)	نیترژن کل N
2370	2250	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	فسفر کل P
4000	10000	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	پتاسیم کل K
132.85	135.05	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	آهن کل Fe
2.92	3.65	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	روی کل Zn
1.73	1.95	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	مس کل Cu
62.15	90.75	(mg kg ⁻¹) (mg kg ⁻¹)	منگنز کل Mn

به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شدند سپس به منظور حذف هیپوکلریت سدیم باقی مانده در سطوح بذرها، چندین مرتبه با آب مقطر استریل شستشو داده شدند و در شرایط استریل جوانه‌دار شدند. ریشه‌چه بذور جوانه‌دار شده با محلول اسپور قارچ (حاوی 5×10^7 اسپور در هر میلی‌لیتر) هنگام کاشت گیاهچه‌های ذرت در خاک تلقیح شدند. لازم به ذکر است که در مورد تیمارهای عدم تلقیح قارچ، ریشه‌چه گیاهان تنها با یک میلی‌لیتر محلول آب توئین ۲۰ درصد فاقد اسپور تلقیح شدند. سپس در هر گلدان تعداد ۶ گیاهچه کاشته شدند. یک هفته پس از رشد گیاهچه در گلدان، تعداد آن‌ها به ۳ بوته تقلیل داده شد. رطوبت گلدان‌ها در طول فصل رشد با استفاده از آب

جهت انجام کشت گلخانه‌ای، قبل از کشت گیاهان، ۳ کیلوگرم خاک در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و بعد از اضافه کردن بیوچار و روی به مدت ۲ ماه در شرایط رطوبت مزرعه‌ای در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خوابانیده شد. سپس، عناصر غذایی ضروری بر اساس نتایج آزمون خاک یک مرتبه به صورت پیش‌کشت ولی جهت جلوگیری از رقابت و کمبود، نیترژن دو مرتبه در طول فصل رشد گیاه به گلدان‌ها اضافه گردید، جهت کاشت گیاه، خاک درون کیسه‌های پلاستیکی کاملاً مخلوط و به گلدان‌های ۳ کیلوگرمی منتقل شدند. بذور ذرت (رقم هیبرید سینگل گراس ۷۰۴) با الکل ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و محلول رقیق (۵ درصد) هیپوکلریت سدیم

و گلخانه‌ای، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد و Excel تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس، اثر بیوچار، روی و قارچ *P. indica* و اثر متقابل آن‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

مقطر و به روش توزین در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شد. بعد از ۸ هفته گیاه برداشت گردید و اندام هوایی از محل طوقه و ریشه‌های ذرت برداشت شد پس از شستشو ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر، برخی صفات مانند وزن تر، ارتفاع و قطر اندام هوایی، همچنین تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک پس از برداشت اندازه‌گیری گردید. پس از به‌دست آوردن داده‌های حاصل از تجزیه آزمایشگاهی

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کاربرد بیوچار و قارچ *P. indica* بر برخی شاخص‌های مورفولوژی ذرت و ویژگی‌های بیولوژیکی خاک آلوده به روی.

Table 3. Analysis of variance of the effects of biochar and *P. indica* application on growth indices of corn and some biology properties in Zn-contaminated soil.

کربن زیست‌توده میکروبی microbial biomass carbon	تنفس میکروبی microbial respiration	قطر ساقه stem diameter	ارتفاع اندام هوایی height of the shoot	وزن تر اندام هوایی fresh weight of the shoot	درجه آزادی DF	منابع تغییرات S.O.V
4.86**	0.63**	0.56**	28.96**	781.46**	1	قارچ Fungus
27.35**	50.82**	2.29**	1102.77**	2332.51**	2	بیوچار Biochar
199.62**	69.61**	6.05**	2183.13**	5170.33**	4	روی Zn
0.69**	0.04**	0.39**	19.47**	69.71**	2	قارچ × بیوچار Biochar × Fungus
0.61**	0.1**	0.73**	54.66**	639.41**	4	قارچ × روی Zn × Fungus
3.12**	1.75**	0.11**	35.85**	57.51**	8	بیوچار × روی Zn × Biochar
0.31**	0.2**	0.05**	6.41**	50.26**	8	قارچ × بیوچار × روی Zn × Biochar × Fungus
0.11	0.002	0.01	0.7	12.18	60	خطا Error

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد بر طبق آزمون F و ns به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

** and * Significant at 1% and 5% probability level, according to the F test, ns statistically not significant.

به ترتیب ۴/۱۴، ۹/۱۸ درصد، ارتفاع اندام هوایی به ترتیب ۳/۴۹ و ۸/۴۳ درصد و قطر ساقه به ترتیب ۳/۱۸ و ۹/۲۵ درصد افزایش معنی‌داری یافت. در حالی که در شرایط مشابه، وزن تر اندام هوایی گیاهان

اثر بیوچار و تلقیح *P. indica* بر برخی شاخص‌های رشدی گیاه: طبق نتایج به‌دست آمده (جدول‌های ۴، ۵ و ۶)، در سطوح کاربرد ۲ و ۴ درصد بیوچار، وزن تر اندام هوایی گیاهان شاهد (تلقیح‌نیافته با قارچ)

روی سبب مقاومت گیاه در برابر آلودگی شده و عملکرد شاخص‌های رشدی نسبت به سطح شاهد به مقدار کمی کاهش یافته است. خاوری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد روی به مقدار ۵۰ میکرومولار باعث افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی گیاه لوبیا نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوجار) گردید، در حالی که که با افزایش غلظت روی به میزان ۷۵ میکرومولار و بالاتر، وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد (۲۵). ایدید و اوکاموتو (۱۹۹۳) گزارش کردند کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در غلظت‌های بالای سولفات روی به دلیل تأثیر روی بر دیواره سلولی و تیغه‌های میانی مرتبط دانستند، زیرا اتصال روی به پکتین موجود در دیواره سلولی موجب کاهش خاصیت کشسانی آن می‌شود. همچنین کاهش رشد گیاه در شرایط تنش آلودگی فلز روی را می‌توان به کاهش سیتوکینین، افزایش اتیلن و بازدارنده‌های رشد سلول ناشی از اثرات مستقیم و یا غیرمستقیم روی نسبت داد. علاوه بر آن، یکی از علت‌های مسمومیت ناشی از غلظت‌های بالای روی اثر این فلز بر آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز است. رشد گیاه به سبب آسیب چربی‌های غشایی، کلروفیل و آنزیم‌ها در اثر تنش اکسیداتیو ناشی از حضور روی نیز کاهش می‌یابد. همچنین، فلز روی با اثر بازدارندگی بر جذب سایر عناصر ضروری به‌ویژه آهن، پتاسیم و کلسیم مانع رشد گیاه می‌شود (۲). نتایج پژوهش‌های مهدی و هوشیاری (۲۰۱۶) نشان داد که با افزایش سطوح روی، وزن تر اندام هوایی در گیاه *Matthiola* *flavida* از خانواده شب‌بو کاهش یافت (۳۳). خاوری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در غلظت‌های پایین روی (۲۵ و ۵۰ میکرومولار)، به دلیل نقش عنصر روی در فعال‌سازی آنزیم‌های مربوط به فرایند تکثیر و طویل‌شدگی سلول‌ها، (۴۴) ارتفاع اندام هوایی گیاه افزایش ولی در غلظت‌های بالای

تلقیح‌یافته با قارچ به ترتیب ۵/۷۳، ۱۲/۷۶ درصد، ارتفاع اندام هوایی به مقدار ۴/۸۴ و ۷/۶۷ و قطر ساقه به ترتیب ۶/۷۱ و ۲۲/۱۶ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند. افزایش سطوح بیوجار موجب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در گیاه و در نتیجه بهبود رشد گیاه شد. همچنین قارچ *P. indica* احتمالاً به دلیل تولید مواد محرک رشد و همچنین افزایش قابلیت فراهمی عناصر غذایی معدنی برای گیاه، سبب بهبود رشد گیاه ذرت شده است. رجبی (۲۰۱۴) گزارش کرد با کاربرد بیوجار تفاله پسته در سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی میانگین ارتفاع اندام هوایی گیاه اسفناج نسبت به تیمارهای عدم کاربرد بیوجار به ترتیب ۱۶/۴ و ۲۸/۶ درصد افزایش معنی‌داری یافت (۴۰). اینال و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند افزودن ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم بیوجار کود مرغی سبب افزایش ارتفاع گیاهان لوبیا و ذرت شد (۲۲). موخرجی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد بیوجار موجب افزایش وزن تر، ارتفاع و قطر اندام هوایی گیاه سویا شد (۳۵). لطفی (۲۰۱۱) نشان داد که تلقیح گیاه عدس (*Lens culinaris*) با قارچ میکوریزی سبب افزایش معنی‌داری ارتفاع گیاهان تلقیح‌یافته نسبت به گیاهان فاقد تلقیح قارچی شد (۳۰). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد در تمام پارامترهای مورد اندازه‌گیری (وزن تر، ارتفاع و قطر اندام هوایی) کاربرد بیوجار به مقدار ۲ و ۴ درصد وزنی، در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک نسبت به سطح شاهد سبب افزایش معنی‌دار، اما در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک سبب کاهش معنی‌دار وزن تر، ارتفاع و قطر اندام هوایی در گیاه ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش کاربرد بیوجار و قارچ علاوه بر این‌که در سطوح پایین روی سبب افزایش عملکرد شاخص‌های رشدی در گیاه شده در سطوح بالای

و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاه فلفل (*Capsicum*) مطابقت داشت (۲۱). مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که وزن تر اندام هوایی گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ ۳/۵۵ درصد، ارتفاع اندام هوایی ۰/۷۳ درصد و قطر ساقه ۴/۴۴ درصد نسبت به گیاهان شاهد (فاقد تلقیح) افزایش یافت. بنابراین می‌توان چنین بیان نمود که احتمالاً قارچ *P. indica* به‌دلیل اثر افزایشی بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی و آب مورد نیاز گیاه و همچنین تولید مواد محرک رشد گیاه از جمله هورمون‌های رشد موجب افزایش شاخص‌های رشدی مورد مطالعه در این پژوهش (وزن تر، ارتفاع و قطر اندام هوایی و وزن خشک ریشه) شده است (۵).

روی، مقدار این شاخص کاهش می‌یابد. حسینی و پوراکبر (۲۰۱۳) نشان دادند که با افزایش سطح روی، ارتفاع اندام هوایی در گیاه ذرت کاهش یافت (۲۰). رسولی‌صدقیانی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش سطح روی، ارتفاع گیاه ذرت کاهش یافت ولی سطوحی که با سویه‌های میکروبی سودوموناس فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P. putida*، *P. fluorescens* و *P. aeruginosa*) و قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus versiforme*) تلقیح شده بود وزن خشک بیش‌تری نسبت به سطوح بدون تلقیح داشت (۴۱). نتایج تلقیح قارچ *P. indica* مبنی بر افزایش قطر ساقه و ارتفاع گیاه ذرت با یافته‌های به‌دست آمده توسط مصباح‌الزمان و اینگلیبی (۲۰۰۵) بر روی گیاه اوکالپتوس (*Eucalyptus spp*) و ایکیز

جدول ۴- اثر بیوجار و قارچ *P. indica* بر وزن تر اندام هوایی گیاه ذرت (گرم در گلدان) در سطوح مختلف روی به‌کار برده شده.

Table 4. Effect of Biochar and *P. Indica* on fresh weight of corn shoot (g pot⁻¹) in different levels of applied Zn.

میانگین Mean	بیوجار (درصد وزنی) Biochar (Weight percent)				میانگین
	4	2	0	0	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ					
162.48 ^E	171.40 ^E	160.01 ^{ij}	156.04 ^{kl}	0	روی Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg kg ⁻¹)
172.85 ^D	178.66 ^c	174.04 ^{fg}	165.85 ^h	50	
181.86 ^C	189.35 ^c	182.02 ^d	174.21 ^{fg}	100	
158.09 ^F	164.24 ^h	157.19 ^{jk}	152.83 ^{lm}	200	
153.90 ^G	163.12 ⁱ	153.54 ^{lm}	145.03 ⁿ	300	
165.84 ^B	173.36 ^B	165.39 ^D	158.79 ^F		
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ					
174.19 ^D	183.75 ^d	175.20 ^f	163.63 ^h	0	روی Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg kg ⁻¹)
185.42 ^B	194.01 ^b	185.41 ^d	176.85 ^{ef}	50	
200.66 ^A	222.52 ^a	195.35 ^b	184.11 ^d	100	
152.03 ^G	157.35 ^{jk}	151.91 ^m	146.82 ⁿ	200	
146.35 ^H	154.40 ^{k-m}	147.27 ⁿ	137.38 ^o	300	
171.73 ^A	182.40 ^A	171.03 ^C	161.76 ^E		

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار از نظر آماری می‌باشند. The numbers which followed by the same letters in each column and rows are not significantly ($P < 0.05$) different.

جدول ۵- اثر بیوجار و قارچ *P. indica* بر ارتفاع اندام هوایی گیاه ذرت (سانتی متر) در سطوح مختلف روی به کار برده شده.

Table 5. Effect of Biochar and *P. Indica* on hight of the shoot of corn (cm) in different levels of applied Zn.

بیوجار (درصد وزنی)				
Biochar (Weight percent)				
میانگین Mean	4	2	0	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
153.62 ^F	160.20 ^f	153.44 ^{hi}	147.25 ^{kl}	0
159.74 ^D	165.10 ^d	159.54 ^f	154.57 ^{hi}	50
171.02 ^B	183.72 ^a	166.97 ^c	162.37 ^e	100
150.65 ^G	155.15 ^h	150.87 ^j	145.93 ^{ml}	200
145.98 ^l	150.35 ^j	146.53 ^{k-m}	141.05 ⁿ	300
156.20 ^B	162.90 ^A	155.47 ^C	150.23 ^E	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
157.36 ^E	160.55 ^f	158.62 ^{fg}	152.90 ⁱ	0
163.41 ^C	168.10 ^c	164.54 ^d	157.58 ^g	50
174.65 ^A	183.83 ^a	175.43 ^b	164.70 ^d	100
147.83 ^H	153.08 ⁱ	148.36 ^k	142.04 ⁿ	200
143.43 ^J	147.51 ^{kl}	144.81 ^m	137.98 ^o	300
157.34 ^A	162.62 ^A	158.35 ^B	151.04 ^D	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی دار از نظر آماری می باشند. The numbers which followed by the same letters in each column and rows are not significantly ($P < 0.05$) different.

جدول ۶- اثر بیوجار و قارچ *P. indica* بر قطر ساقه گیاه ذرت (سانتی متر) در سطوح مختلف روی به کار برده شده.

Table 6. Effect of Biochar and *P. Indica* on stem diameter of corn (cm) in different levels of applied Zn.

بیوجار (درصد وزنی)				
Biochar (Weight percent)				
میانگین Mean	4	2	0	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ				
3.49 ^E	3.67 ^{jk}	3.47 ^{k-n}	3.33 ^{m-q}	0
3.72 ^D	3.93 ^{gh}	3.67 ^{jk}	3.57 ^{j-k}	50
4.22 ^B	4.47 ^{cd}	4.13 ^{ef}	4.07 ^{fg}	100
3.37 ^F	3.53 ^{j-m}	3.37 ^{l-p}	3.20 ^{o-s}	200
3.22 ^G	3.30 ^{n-r}	3.23 ^{o-s}	3.13 ^{q-s}	300
3.60 ^B	3.78 ^B	3.57 ^D	3.46 ^E	میانگین
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ				
3.81 ^D	4.30 ^{de}	3.73 ^{ij}	3.40 ^{l-o}	0
4.06 ^C	4.67 ^b	3.87 ^{hi}	3.63 ^{jk}	50
4.87 ^A	5.57 ^a	4.63 ^{bc}	4.40 ^d	100
3.19 ^G	3.33 ^{m-q}	3.17 ^{p-s}	3.07 st	200
2.89 ^H	3.10 ^{rs}	2.90 ^t	2.67 ^u	300
3.76 ^A	4.19 ^A	3.66 ^C	3.43 ^E	میانگین

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی دار از نظر آماری می باشند. The numbers which followed by the same letters in each column and rows are not significantly ($P < 0.05$) different.

درصد وزنی بیوچار و در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک گزارش شد. همچنین بیش‌ترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در خاک متعلق به گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ و در شرایط کاربرد ۴ درصد وزنی بیوچار و در سطح ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک می‌باشد. نتایج نشان داد با افزایش سطوح بیوچار تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک افزایش می‌یابد، ولی با افزایش سطوح روی (۲۰۰ و ۳۰۰) مقدار تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک روند کاهشی را نشان داد. بایچ و همکاران (۱۹۸۳) توقف معدنی شدن کربن را به دلیل تأثیر سطوح بسیار بالای روی گزارش کردند و نشان دادند که خاک‌ها بسیاری از ریز جانداران خود را به‌ویژه گونه‌های حساس به این فلز را از دست داده‌اند (۴). نتایج حاصل از مطالعه اسپویس و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد که غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم در گرم فلز روی در خاک باعث کاهش تنفس میکروبی در خاک‌های آهکی و غیرآهکی شده است (۱). دای و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که با افزایش غلظت روی (۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، تنفس میکروبی کاهش می‌یابد (۱۳). رنلا و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که بین سه عنصر روی، کادمیوم و مس به‌کار برده شده در خاک، روی بیش‌ترین و کادمیوم کم‌ترین اثر سمیت را بر جامعه میکروبی خاک داشته است (۴۲). قربانی (۲۰۱۰) در بررسی تغییرات تنفس میکروبی در خاک پس از برداشت در برابر افزایش عناصر سنگین در لجن فاضلاب به این نتیجه رسید که غلظت پایین و در حد متعارف عناصر سنگین تأثیر منفی بر تنفس خاک نخواهد داشت و سبب افزایش تنفس میکروبی خاک می‌گردد. اختلاف موجود بین داده‌های حاصل از مطالعات مختلف به‌دلیل تفاوت خصوصیات خاک از جمله مقدار مواد

اثر بیوچار و تلقیح قارچ *P. indica* بر برخی ویژگی‌های بیولوژیک خاک: طبق نتایج به‌دست آمده از جدول‌های ۷ و ۸ میانگین تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک پس از برداشت ذرت در گیاهان فاقد آلودگی با قارچ *P. indica* در شرایط کاربرد سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار نسبت به شاهد به‌ترتیب ۳۹/۳۳، ۴۷/۸۳ درصد و ۱۲/۶۹، ۳۱/۳۰ درصد افزایش یافت. اما مقدار شاخص‌های مذکور در گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ در سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۰/۸۵، ۴۶/۶۳ درصد و ۲/۹۶، ۲۶/۴۸ درصد افزایش یافت، کاربرد بیوچار سبب افزایش جمعیت، تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک می‌گردد احتمالاً این افزایش، به‌دلیل افزایش کربن قابل‌دسترس و عناصر غذایی مورد نیاز ریزجانداران می‌باشد که با تحریک فعالیت آن‌ها، موجب افزایش فعالیت آنزیمی در خاک می‌شوند (۱۲). معمولاً کربن زیست‌توده میکروبی را به‌عنوان شاخصی از فعالیت و حیات توده میکروبی خاک محسوب می‌شود (۱۴). لکزیان و یزدان‌پناه (۲۰۰۷) گزارش کردند که تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک تیمار شده با بقایای گندم، یونجه و گوجه‌فرنگی نسبت به خاک شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (۲۷ و ۵۱). واتزینگر و همکاران (۲۰۱۴) و مستو و همکاران (۲۰۱۳) افزایش کربن زیست‌توده میکروبی را در اثر کاربرد بیوچار گندم، درخت بید و ذرت در خاک، را نسبت به شاهد (عدم کاربرد بیوچار) گزارش کردند (۳۱ و ۵۰). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح روی، مقدار تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به شاهد فاقد آلودگی روی افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار تنفس میکروبی خاک متعلق به گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ و در شرایط کاربرد ۴

قابل توجهی می‌تواند بر تنفس خاک تأثیر گذارد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که غلظت بحرانی فلزات سنگین بر فرایند تنفس میکروبی بستگی به نوع خاک، نوع ریزجانداران و شرایط محیطی دارد (۱۷).

آلی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد (۱۶). دمای خاک، مقدار رطوبت، و مواد آلی خصوصیات هستند که بیشترین تأثیر را بر فعالیت، تراکم جمعیت و اکولوژی ریزجانداران خاک دارد. بافت خاک نیز از جمله عواملی است که به‌طور

جدول ۷- اثر بیوچار و قارچ *P. indica* بر تنفس میکروبی در خاک پس از برداشت گیاه ذرت (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در گرم خاک در ۲۴ ساعت) در سطوح مختلف روی به‌کار برده شده.

Table 7. Effect of Biochar and *P. Indica* on microbial respiration of corn (mg g^{-1}) in different levels of applied Zn.

میانگین Average	بیوچار (درصد وزنی) Biochar (Weight percent)				میانگین
	4	2	0		
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ					
3.36 ^l	3.88 ^v	3.25 ^x	2.95 ^z	0	
7.67 ^D	8.72 ^d	8.46 ^f	5.84 ^p	50	روی
8.61 ^A	9.71 ^a	9.43 ^c	6.65 ⁿ	100	Zn
6.77 ^F	7.84 ^e	7.31 ^j	5.14 ^f	200	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
6.26 ^H	7.25 ^k	6.79 ^m	4.73 ^t	300	(mg kg^{-1})
6.63 ^B	7.48 ^B	7.05 ^D	5.06 ^F		
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ					
3.53 ^l	4.09 ^u	3.45 ^w	3.06 ^y	0	
7.97 ^C	9.15 ^e	8.72 ^d	6.03 ^o	50	روی
8.54 ^B	9.73 ^a	9.47 ^b	6.75 ^m	100	Zn
7.01 ^E	8.14 ^f	7.59 ^h	5.27 ^q	200	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
6.45 ^G	7.49 ⁱ	7.02 ^l	4.85 ^s	300	(mg kg^{-1})
6.71 ^A	7.61 ^A	7.31 ^C	5.19 ^E		

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار از نظر آماری می‌باشند. The numbers which followed by the same letters in each column and rows are not significantly ($P < 0.05$) different.

بردن ریزجانداران خاک، موجب کاهش تنفس می‌گردند (۲۶). بنابراین با افزایش غلظت فلزات سنگین، اثر سمیت آن‌ها بر تنفس میکروبی نیز افزایش می‌یابد (۳). بردلی و همکاران، (۲۰۰۱) در خاک‌های تیمار شده با فلزات سنگین، با کاهش پ‌هاش خاک، تنفس میکروبی نیز به‌صورت خطی کاهش می‌یابد (۷). میگاراج (۲۰۰۰) گزارش کردند که با کاربرد فلزات سنگین در سطح متوسط تا زیاد، بیومس

بایچ و همکاران، (۱۹۸۳) نشان دادند که با افزودن فلزات سنگین به خاک، میزان کربن معدنی شده و تنفس میکروبی کاهش یافت. این کاهش به‌علت غلظت بالای سولفات یا افزایش فشار اسمزی حاصل از افزودن فلزات نبود بلکه به‌دلیل اثر سمی فلزات سنگین بر فعالیت ریزجانداران خاک بود (۴). فلزات سنگین از طریق تشکیل کمپلکس با سوبستراها و در نتیجه کاهش قابلیت فراهمی مواد آلی یا از بین

قارچ به ترتیب به میزان ۲/۷۶ و ۶/۶۱ درصد نسبت به گیاهان شاهد (عدم تلقیح قارچ) بود، احتمالاً حضور قارچ از توقف معدنی‌شدن کربن در سطوح بالای روی جلوگیری می‌کند (۴).

میکروبی کاهش یافت در حالی که سطوح پایین فلزات سنگین تأثیری بر بیومس نداشت (۳۲). نتایج به دست آمده از این پژوهش، نشان‌دهنده افزایش تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی گیاهان تلقیح‌یافته با

جدول ۸- اثر بیوچار و قارچ *P. indica* بر کربن زیست‌توده میکروبی در خاک پس از برداشت گیاه ذرت (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در گرم خاک در ۲۴ ساعت) در سطوح مختلف روی به کار برده شده.

Table 8. Effect of Biochar and *P. Indica* on microbial biomass carbon of corn (mg g⁻¹) in different levels of applied Zn.

میانگین Average	بیوچار (درصد وزنی) Biochar (Weight percent)				میانگین
	4	2	0	0	
<i>P. indica</i> (-) عدم تلقیح با قارچ					
3.14 ^H	3.86 ^o	3.38 ^o	2.19 ^P	0	روی Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg kg ⁻¹)
11.21 ^B	12.47 ^b	11.02 ^c	10.13 ^d	50	
9.96 ^C	12.02 ^b	9.31 ^e	8.57 ^{fg}	100	
5.44 ^E	5.88 ^{jk}	5.66 ^l	4.77 ⁿ	200	
5.05 ^F	5.61 ^{j-l}	4.84 ^{mn}	4.71 ⁿ	300	
6.96 ^B	7.97 ^B	6.84 ^C	6.07 ^C	میانگین	
<i>P. indica</i> (+) تلقیح قارچ					
3.71 ^G	3.96 ^o	3.64 ^o	3.50 ^o	0	روی Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg kg ⁻¹)
11.52 ^A	13.15 ^a	10.88 ^c	10.53 ^{ed}	50	
9.93 ^C	12.49 ^b	8.33 ^g	8.97 ^{ef}	100	
6.40 ^D	7.06 ^h	6.59 ^{hi}	5.56 ^{j-l}	200	
5.57 ^E	6.11 ^{ij}	5.36 ^{k-m}	5.25 ^{l-n}	300	
7.42 ^A	8.55 ^A	6.96 ^C	6.76 ^C	میانگین	

اعدادی که در هر ستون یا ردیف، در یک حرف بزرگ و یا کوچک مشترک هستند با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار از نظر آماری می‌باشند.
The numbers which followed by the same letters in each column and rows are not significantly (P<0.05) different.

قارچ تا سطح ۱۰۰ روی بهترین عملکرد را داشت. همچنین با افزایش سطوح روی، مقدار تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک نسبت به سطح شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین تنفس در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک در تیمار تلقیح‌یافته با قارچ می‌باشد، در حالی که بیش‌ترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در سطح ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک در تیمار تلقیح‌یافته با قارچ می‌باشد. در ضمن با

نتیجه‌گیری کلی

در سطوح کم روی (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) ضمن افزایش ارتفاع، قطر، وزن تر و خشک در اندام هوایی و ریشه، کاربرد قارچ *P. indica* سبب افزایش بیش‌تر این پارامترها گردید ولی در سطوح بالای روی (۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) کاربرد قارچ سبب کاهش بیش‌تر شاخص‌ها نسبت به نمونه‌های بدون قارچ شد،

افزایش عملکرد گیاه ذرت و شاخص‌های بیولوژیک در خاک گردید و تأثیر سطوح بالای آلودگی روی را نسبتاً کاهش داد.

افزایش سطوح بیوجار شاخص‌های رشدی در گیاه و بیولوژیک در خاک افزایش یافت، نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد بیوجار همراه با قارچ سبب بهبود و

منابع

1. Aceves, M., Grace, C., Ansorena, J., Dendooven, L., and Brookes, P.C. 1999. Soil microbial biomass and organic C in gradient of zinc concentrations in soil around a mine spoil tip. *J. Soil Biol. Biochem.* 31: 867-876.
2. Aidid, S., and Okamoto, H. 1993. Responses of elongation rate, turgor pressure and cell wall extensibility of stem cells of *Impatiens balsamina* to Lead, Copper and Zinc. *Biometals.* 6: 245-249.
3. Baath, E. 1989. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *J. Water Air Soil Pollut.* 47: 335-379.
4. Babich, R.J., Bewley, F., and Stotzky, G. 1983. Application of the ecological dose concept to the impact of heavy metals on some microbe-mediated ecologic processes in soil. *J. Archit. Environ. Contam. Toxicol.* 12: 421-426.
5. Banerjee, M., Yesmin R.L., and Vessey, J.L. 2006. Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. P 137-181. In: *Handbook of microbial biofertilizers*, M.K. Rai (ed), Food Production Press, U.S.A.
6. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54: 5. 464-465.
7. Bradley, P.D., Schipper, L.A., Graham, P. and Sparling, L.C. 2001. Is the microbial community in a soil with reduced catabolic diversity less resistant to stress or disturbance? *Soil Biol. Biochem.* 33: 1143-115.
8. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen Total P 1085-1122. In: D.L. Sparks et al., (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 3.* American. Society. Agronomy, Madison. WI.
9. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., and Haefele, S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agron. J.* 3: 404-418.
10. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. *Method of analysis for soils, plants and waters.* University of California. Div. agricul Sci. J. Pp: 60-68.
11. Chapman, H.D., and Pratt, P.E. 1982. *Methods of analysis for soil plants and waters,* University of California Publication. no. 4034. Berkely, California.
12. Chelvei, M. 2011. Isolation of sewage sludge effects and microbial growth enhancement on the concentration and distribution of chemical species of zinc and cadmium in soil. Master's thesis, Shahid Chamran University. 147p. (In Persian)
13. Dai, J., Becquer, T., Rouiller, J.H., Reversat, G., Bernhard-Reversat, F., Nahmani, J., and Lavelle, P. 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn, Pb, Cu and Cd contaminated soils. *Appl. Soil Ecol. J.* 25: 99-109.
14. Fierer, N., Schimel, J.P., and Holden, P.A. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biol. Biochem. J.* 35: 167-176.
15. Fu, P., Yi, W., Bai, X., Li, Z., Hu, S., and Xiang, J. 2011. Effect of temperature on gas composition and char structural features of pyrolyzed agricultural residues. *Bioresour. Technol. J.* 102: 17. 8211-8219.
16. Ghorbani, M. 2010. Effect of vermicompost and vermiculite application on growth and absorption of cadmium by spinach in a calcareous soil under greenhouse conditions. Master's thesis, Shiraz University. 145p. (In Persian)

17. Giller, K.E., Witter, E., and Mc Grath, S.P. 1998. Toxicity of heavy metals to micro-organisms and microbial processes in agricultural soils (a review). *Soil Biol. Biochem. J.* 30: 1389-1414.
18. Hall, G., Woodborne, S., and Scholes, M. 2008. Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. *Chem. Geol. J.* 247: 3. 384-400.
19. Hojjati, S., Nourbakhsh, F., and Khavari, K. 2006. Effect of sewage sludge on microbial biomass index, enzymatic activity and corn yield. 20: 1. 84-93. (In Persian)
20. Hosseini, Z., and Pourakbar, L. 2013. Investigation of interaction between zinc and organic acid (malic acid, citric acid) on antioxidant responses in *Zea mays* L. 5: 16. 1-12. (In Persian)
21. Ikiz, O., Abak, K., Dasgan, H.Y., and Ortas, I. 2009. Effects of mycorrhizal inoculation in soilless culture on pepper plant growth. *Acta Hort. J.* 807: 533-540.
22. 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 Manage. J.* 2: 106-113.
23. Isermeyer, H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung and der carbonate in Boden. *Pflanzenernah Boden. J.* 56: 26-38.
24. Jenkinson, D.S., and Powlson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soils. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem. J.* 8: 209-213.
25. Khavari Nezhad, R.A., Najafi, Kh., and Firozeh, R. 2011. Effects of zinc sulfate on ($ZnSO_4$) on some physiological parameters of bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). *Q. plant Sci. J.* 6: 1. 1-14. (In Persian)
26. Landi, L., Renella, G., Moreno, J.L., Falchini, L., and Nannipieri, P. 2000. Influence of cadmium on the metabolic quotient, L-, D- glutamic acid respiration ratio and enzyme activity, microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biol. Fertil. Soil. J.* 32: 8-16.
27. Lekzyan, A., and Yazdan Panah, N. 2007. Study of the rate of degradation of wheat, alfalfa and tomato residues under laboratory conditions. *Agric. Sci. Technol. J.* 21: 3-9. (In Persian)
28. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 3. 421-428.
29. Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474. In: D.L. Sparks (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3.* 3rd ed. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
30. Lotfi, A. 2011. Different forms of potassium and the possibility of alteration of clay minerals in corn-treated soils by drought stress, bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. Master's thesis, Shiraz University. 176p. (In Persian)
31. Mastro, R.E., Ansari, M.A., George, J., Selvi, V.A., and Ram, L.C. 2013. Coapplication of biochar and lignite fly ash on soil nutrients and biological parameters at different crop growth stages of *Zea mays*, *Ecol. Eng. J.* 58: 314-322.
32. Megharaj, M. 2000. Influence of petroleum hydrocarbon contamination on microalgae and microbial activities in a long-term contaminated soil. *J. Archi Environ Contam. Toxicol.* 38: 439-445.
33. Mehtadi, A., and Hoshiyari, S. 2016. Investigating the interaction of cadmium and zinc in the plant (*Matthiola flavidaboiss*). *J. Plant Res.* 29: 1. 210-220. (In Persian)
34. Misbahuzzaman, K., and Ingleby, K.A. 2005. Structural study of ecto-mycorrhizas formed in Seedlings of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt, *Int. Agric. Biol. J.* 7: 400-405.
35. Mukherjee, A., Lal, R., and Zimmerman, A.R. 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Sci. Total Environ.* 487: 26-36.

36. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 961-1010. In: D.L. Sparks, (ed). Methods of Soil Analysis. Part 3-chemical methods and microbiological properties. Soil Sci. Am. Soc. Agron. J. Madison, Wisconsin.
37. Olsen, S.R.C., Cole, V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA.Cir. 939, US Govern printing office, Washing ton, DC.
38. Pattiya, A. 2011. Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidised-bed reactor. Bioresour. Technol. 102: 2. 1959-1967.
39. Pham, G.H., Kumari, R., Singh, A., Malla, R., Prasad, R., Sachdev, M., Kaldorf, M., Buscot, F., Oelmuller, R., and Hampp, R. 2004. Axenic culture of symbiotic fungus *piriformospora indica*. P 593-613. In: A. Varma, L. Abbott, D. Werner, R. Hampp (eds.), Plant Surface Microbiology. Springer – Verlag, Germany.
40. Rajabi, H. 2014. Effect of Pistachio pulp, sewage sludge, and fertilizer on bioavailability and absorption of nitrogen and phosphorus by spinach. Master's thesis, Shiraz University. 187p. (In Persian)
41. Rasoli Sedghiyani, M.H., Ghareh Maleki, T., Besharati, H., and Tavasoli, A.R. 2011. Effect of mycorrhizal stimulating bacteria on growth and zinc absorption by maize in a zinc contaminated soil. Water Soil. Sci. J. 21: 2. 135-147. (In Persian)
42. Renella, G., Chaudri, A.M., and Brookes, P.C. 2002. Fresh additions of heavy metals do not model long- term effects on microbial biomass and activity. Soil Biol. Biochem. J. 34: 121-124.
43. Rhoades, J.D., Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., and Sumner, M.E. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. P 417-435. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.
44. Rion, B., and Alloway, J. 2004. Fundamental aspects of zinc in soils and plants. Int Zinc. Pp: 39-45.
45. Sumner, M.E., Miller, W.P., Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., and Johnston, C.T. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. Methods of Soil Analysis. P 1201-1229. Part 3. Chemical Methods.
46. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P 475-490. In D.L. Sparks, (ed) Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, Madison. WI.
47. Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., and Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Journal compilation British Society of Soil Science. Soil Use. Manage. J. 27: 205-212.
48. Varma, A., Savita, S., Sahay, N., Butehorn, B., and Franken, P. 1998. Piriformos poraindica, a cultivable plantgrowth- promoting root endophyte. J. Appl. Environ. Microbiol. 65: 2741-2744.
49. Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M., and Diafas, I. 2010. Biochar application to soils. Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg. 149p.
50. Watzinger, A., Feichtmair, S., Kitzler, B., Zehetner, F., Kloss, S., Wimmer, B., Boltenstern, S.Z., and Soja, G. 2014. Soil microbial communities responded to biochar application in temperate soils and slowly metabolized ¹³C-labelled biochar as revealed by ¹³C PLFA analysis: results from a short term incubation and pot experiment, Eur. Soil Sci. J. 65: 40-51.
51. Yazdan Panah, N., Fotovat, A., Lekzeyan, A., and Hagh Niyah, Gh.M. 2008. Effect of Zn and Cd heavy metals on the microbial respiration process in both calcareous and non calcareous soils. Agric. Sci. Technol. J. Special Water and Soil. 22: 1. 60-69. (In Persian)



Effect of Rice Husk Biochar and *Piriformospora Indica* Endophytic Fungus on corn yeild in Zn contaminated soil

*Z. Dianat Maharlui¹, J. Yasrebi², M. Sepehri² and R. Ghasemi³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Shiraz,

²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Shiraz,

³Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Shiraz

Received: 12.10.2017; Accepted: 06.17.2018

Abstract

Background and Objectives: The symbiotic relationship between endophytic fungi and plants due to its significant influences on the growth and yield of plants under the conditions of soil pollution has an effective role in heavy metal stress tolerance in plants. The purpose of this study is to investigate the effect of rice husk biochar and the endophytic fungus; *Piriformospora indica*; on some growth indicators (the shoot height, fresh weight and stem diameter) on corn and biological properties (microbial respiration and microbial biomass carbon) of a Zn-polluted soil under greenhouse condition.

Materials and Methods: To do this research, suitable amount of soil from surface horizon (0-30) of a calcareous soil was collected, after air drying, samples were passed through a 2 mm sieve. This experiment was conducted in a completely randomized factorial design experiment with three factors including Zn (0, 50, 100, 200 and 300 mg kg⁻¹ soil), rice husk biochar (0, 2 and 4 weight percent) and *P. indica* (non-inoculated and inoculation with fungi). Biochars were produced using the pyrolysis of rice husk (500 °C for 4 h) in the limited oxygen conditions. For propagation of fungi and production of sufficient amount of spores, the isolates of the fungus were cultured and stored at 24 °C in the incubator for 4 weeks. Before the corn was cultivated, after addition of biochar and zinc for 2 months, soil was incubated in field capacity moisture conditions at 25 °C. After 8 weeks of plant growth some biological and morphological characteristics were measured.

Results: At levels of 2 and 4 (% w/w) biochar, The shoot fresh weight, the shoot height and stem diameter of the control plants and non-inoculated with *P. indica* significantly increased by 4.14 and 9.18 percent, 3.49 and 8.43 percent, 3.18 and 9.25 percent respectively. Where as in the same conditions, shoot fresh weight of plants inoculation of *P. indica* was 5.73 and 12.76 percent, the shoot height was 4.84 and 7.67 percent and stem diameter showed a significant increase 6.71 and 22.61 percent compared to the control plants respectively. Also average microbial respiration and microbial biomass carbon in soil after corn harvesting in non-inoculated of *P. indica* plants in condition at levels of 2 and 4 (% w/w) biochar of the control (without biochar) 39.33 and 47.83 percent and 12.69 and 31.30 percent significant increase respectively (P<0.05). But the amount of these indicators of plants inoculation of *P. indica* at levels of 2 and 4 (% w/w) biochar of the control (without biochar) 40.85 and 46.63 percent and 2.96 and 26.48 percent significant increase respectively (P<0.05).

* Corresponding Author; Email: dianatzahra31@yahoo.com

Conclusion: Application of 2 and 4 (% w/w) biochar resulted in significant increases in the shoot height, fresh weight and stem diameter on corn plant as well as microbial respiration and microbial biomass carbon of the soil. While this increase is more in the plants inoculation with *P. indica* fungi. Increasing biochar levels increases the nutrients absorption and improves plant growth. In addition, the *P. indica* fungi is likely to improve corn growth due to the production of growth stimulants and the increased nutritional capacity of the mineral nutrients for the plant. Also, the height, fresh weight and diameter of the shoots increased at levels of 50 and 100 mg kg⁻¹ of Zn and decreased at higher levels (200 and 300 mg kg⁻¹), possibly at high zinc levels due to decreased cytokinin, Iron, potassium and calcium, as well as increased ethylene and growth inhibitors inhibit corn growth.

Keywords: Endophytic Fungi, Heavy metals, Microbial biomass carbon, Microbial respiration