Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد ششم، شماره اول، ۱۳۹۵
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ میکوریز آرباسکولار بر توزیع شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی با سطوح مختلف شوری

*حمیدرضا بوستانی[۱]، مصطفی چرم[۲]، عبدالامیر معزی[۲]، نجفعلی کریمیان[۳]، نعیمه عنایتی‌ضمیر[۴] و مهدی زارعی[۵]

[۱]استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۳]استاد سابق گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، [۴]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۵]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۷

چکیده

سابقه و هدف: روی یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی ضروری می‌باشد که گیاهان برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیکی و زایشی خود به مقدار کم به این عنصر نیاز دارند. در خاک‌های آهکی و شور زیست‌فراهمی روی پایین است، بنابراین مطالعه شکل‌های شیمیایی و تخمین پتانسیل زیست‌فراهمی روی در چنین خاک‌هایی ضروری است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر تلقیح باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل‌های شیمیایی روی با استفاده از عصاره‌گیری دنباله‌ای در خاک آهکی پس از برداشت ذرت با سطوح مختلف شوری بود.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این پژوهش مقدار مناسبی خاک از افق سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) که دارای قابلیت هدایت الکتریکی و میزان ماده آلی پایینی بودند، برداشته شد و سپس برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک توسط روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتور اول شامل سه سطح شوری (۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک) و فاکتور دوم چهار سطح تلقیح میکروبی (قارچ *گلوموس اینترادیسس*، باکتری *سودوموناس*، تلقیح هم‌زمان باکتری- قارچ و بدون تلقیح) بود. پس از اعمال تیمارها بذور ذرت در گلدان‌ها کاشته شد و به‌مدت ۱۰ هفته نگهداری شد. جهت اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های پس از کشت ذرت از روش سینگ و همکاران (۱۹۸۸) استفاده گردید. این روش عنصر روی را به هفت شکل مختلف در خاک جداسازی می‌کند که عبارتند از شکل محلول + تبادلی، کربناتی، آلی، متصل به اکسید منگنز، متصل به اکسید آهن آمورف، متصل به اکسید آهن کریستالی و باقی‌مانده.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری غلظت شکل‌های محلول + تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز افزایش و شکل باقی‌مانده و آلی روی کاهش پیدا کرد. با کاربرد تیمارهای میکروبی غلظت شکل‌های محلول + تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز افزایش و غلظت شکل باقی‌مانده کاهش نشان داد. بیش‌ترین افزایش غلظت شکل‌های محلول + تبادلی (۱۰۱ درصد)، کربناتی (۵۹/۳ درصد) و اکسید منگنز (۱۰۰ درصد) در تیمار کاربرد توأم قارچ و باکتری مشاهده شد.

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

www.SID.ir

Archive of SID

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های محلول+ تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز روی در خاک با روی قابل‌استفاده در خاک وجود داشت که نشان‌دهنده نقش مؤثر این سه شکل شیمیایی در تامین روی مورد نیاز گیاه می‌باشد.
نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تیمارهای میکروبی سبب توزیع مجدد روی از شکل‌های کم‌تر قابل‌استفاده به شکل‌های با قابلیت استفاده بیش‌تر در خاک شدند. همچنین افزایش سطوح شوری خاک سبب توزیع مجدد روی از شکل‌های کم‌محلول به شکل‌های با حلالیت بیش‌تر در خاک و در نتیجه افزایش تحرک و پویایی روی در خاک شدند.

واژه‌های کلیدی: باکتری *سودوموناس*، روی، شوری، عصاره‌گیری دنباله‌ای، قارچ *گلوموس اینترادیسس*

مقدمه

روی یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی ضروری می‌باشد که گیاهان برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیکی و زایشی خود به مقدار کم به این عنصر نیاز دارند (٨). کمبود روی معمولاً در گیاهان به‌صورت گرسنگی پنهان بدون نشان دادن هیچ علایم کمبودی بروز می‌کند و سبب افت شدید عملکرد، به‌ویژه در گیاهان حساس به کمبود روی می‌شود (٢٤). کمبود روی به‌طور گسترده در خاک‌هایی با پ‌هاش بالا، میزان کم ماده آلی، آهکی و شور و سدیمی گزارش شده است (٣٥). روی قابل‌استفاده (عصاره‌گیری شده توسط دی‌تی‌پی‌ا) در بیش از ٥٦ درصد زمین‌های قابل کشت ایران کم‌تر از ٠/٧٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است و این خاک‌ها عمدتاً با کمبود روی مواجه هستند (٤٠). شوری نیز یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی غیرزیستی است که رشد و تولید محصولات را در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌سازد. مقدار کل زمین‌های فاریاب در کشور ما حدود ٧ میلیون هکتار است که ٥٠ درصد آن با مشکل آب و یا خاک شور مواجه هستند (٥). پ‌هاش بالا و غلظت زیاد کلسیم مسئول اصلی کمبود روی در اکثر خاک‌های شور می‌باشند (٤). بنابراین در خاک‌های آهکی و شور قابلیت زیست‌فراهمی روی پایین است. میزان کل روی در خاک‌ها بین ١٠ تا ٣٠٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین ٥٠ میلی‌گرم در کیلوگرم است (٢٧). حتی اگر در خاک میزان کل روی بالا باشد، کمبود روی قابل‌استفاده در آن محتمل است، چون قابلیت استفاده روی به شکل‌های شیمیایی آن در خاک بستگی دارد. در دهه اخیر، جهت مطالعه شکل‌های شیمیایی عناصر و تخمین پتانسیل قابلیت زیست‌فراهمی آن‌ها در خاک از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای استفاده شده است (٣٨). به‌طورکلی روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای با ضعیف‌ترین عصاره‌گیرها شروع شده و به قوی‌ترین عصاره‌گیرها ختم می‌شود و معمولاً ٥ تا ٧ شکل را از فاز جامد استخراج می‌کند (١٧). شکل محلول و تبادلی عناصر بیش‌ترین تحرک و قابلیت استفاده را داراست در حالی که شکل باقی‌مانده در ارتباط با داخل شبکه‌های بلورین کانی‌های خاک است و به‌نظر می‌رسد بسیار غیرفعال باشد. شکل‌های کربناتی، پیوسته به اکسیدهای آهن و منگنز و شکل آلی عناصر بسته به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، به‌طور نسبی فعال و پتانسیل قابل‌استفاده بودن برای گیاه را دارا هستند (٢٣).یکی از روش‌های بیولوژیکی جهت کاهش کمبود روی، استفاده از ریزجانداران خاکزی مانند باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ میکوریز آرباسکولار است. باکتری‌های آزادزی که به‌طور مستقیم (تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه) و یا غیرمستقیم (تولید آنتی‌بیوتیک، افزایش مقاومت گیاه به

www.SID.ir

Archive of SID

تنش‌های غیرزنده) در ریزوسفر سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند را باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌نامند (۵۰). باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌عنوان ذرات آلی بسیار فعال در خاک محسوب می‌شوند که دارای سطحی فعال و باردار و همچنین توانایی تولید و ترشح بسیاری از ترکیبات آلی مانند اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم، کربوهیدرات‌ها و آنزیم‌ها را داراست که از این طریق می‌توان بر قابلیت استفاده عناصر در خاک و آزادسازی آن‌ها تأثیر بگذارد (۱۴). اطلاعات کمی در مورد چگونگی توزیع و جداسازی عناصر سنگین در خاک تحت‌تأثیر باکتری‌ها و قارچ موجود است. گاد (۲۰۰۰) بیان کرد که احتمالاً ترکیبی از سه مکانیسم کاهش پ‌هاش خاک از طریق ترشح پروتون، اسیدهای آمینه و اسیدهای آلی، متصل شدن عناصر به دیواره سلول باکتری و کمپلکس کردن عناصر سنگین و کانی‌های رسی با لیگاندهای آلی که توسط باکتری ترشح می‌شود، جزءبندی عناصر سنگین را در خاک‌هایی که توسط باکتری تلقیح شده است، کنترل می‌کند (۱۰). همچنین، قارچ میکوریز آرباسکولار از طریق توسعه هیف‌های خود، تولید و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز، افزایش کربن آلی خاک و ترشح گلیکوپروتین‌ها خصوصاً گلومالین شرایط بیوشیمیایی خاک را تغییر داده و ممکن است سبب افزایش قابلیت استفاده روی شود (۱۸، ۴۷، ۲۱). این تغییرات ممکن است آزاد شدن روی را از شکل باقی‌مانده به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیش‌تر تسهیل کند. هانگ و همکاران (۲۰۰۴) شکل‌های شیمیایی روی را در یک خاک تحت‌تأثیر کاربرد باکتری *ریزوبیوم* مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که پس از دو هفته شکل‌های کربناتی، متصل به اکسید منگنز و آلی بین ۹ تا ۲۶ درصد کاهش نشان داد در حالی‌که شکل محلول و تبادلی افزایش نشان داد (۱۵). وو و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که ترکیبی از باکتری‌های محرک رشد (*ازوتوباکتر کروکوکم*، *باسیلوس مگاتریم* و *باسیلوس موسیلاژنوس*) سبب افزایش روی محلول در آب از طریق ترشح پروتون و لیگاندهای مختلف شد. همچنین شکل‌های آلی و اکسیدی افزایش و شکل تتمه کاهش یافت (۴۸). سابرامانیان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که همزیستی قارچ میکوریز آرباسکولار سبب افزایش معنی‌دار شکل‌های محلول و تبادلی، آلی و اکسید آهن بی‌شکل روی شد در حالی‌که شکل‌های متصل به اکسید آهن بلورین و تتمه کاهش یافت (۴۴). گزارش‌ها در مورد اثر شوری بر قابلیت استفاده روی در خاک به چند پژوهش محدود می‌شود (۳۴، ۳۰، ۳۲) در حالی‌که مطالعه اثرات شوری بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های تحت کشت گیاه بسیار محدود است. کشاورز و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که افزایش سطوح شوری آب آبیاری طی یک آزمایش انکوباسیون دو ماهه در تعدادی خاک آهکی، سبب توزیع مجدد شکل‌های شیمیایی روی شد به‌طوری‌که شکل باقی‌مانده روی کاهش و شکل محلول + تبادلی و کربناتی روی افزایش یافت (۱۹).

از آن‌جا که پژوهش‌های بسیار محدودی در مورد اثرات تلقیح میکروبی و شوری بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های آهکی صورت گرفته، بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ میکوریز آرباسکولار بر شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی با درجات مختلف شوری در کشت گیاه ذرت بود.

مواد و روش‌ها

انتخاب و جمع‌آوری خاک: جهت انجام این پژوهش مقدار مناسبی خاک از افق سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از منطقه شمال خوزستان (منطقه صفی

www.SID.ir

Archive of SID

آباد دزفول) که دارای قابلیت هدایت الکتریکی و میزان ماده آلی پایینی بودند، برداشته شد. پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، پ‌هاش به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (۴۵)، ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک و سپس تیتره‌کردن با فروآمونیوم سولفات (۲۸)، فسفر قابل‌استفاده به روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (۲۹)، نیتروژن کل به روش کلدال (۶) و تعیین غلظت آهن، منگنز، مس و روی عصاره‌گیری‌شده با DTPA (۲۲) به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت.

Table 1. Selected physicochemical properties of soil before cultivation.

کلاس بافت خاک Soil textural classes	لومی رسی سیلتی Silty clay loam
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	2
پ‌هاش pH	7.8
کربن آلی (٪) OC (%)	0.7
کربنات کلسیم معادل (٪) CCE (%)	43.2
نیتروژن کل (٪) Total N (%)	0.06
فسفر قابل‌استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P ($mg\ kg^{-1}$)	12
پتاسیم قابل‌استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K ($mg\ kg^{-1}$)	104
آهن قابل‌استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Fe ($mg\ kg^{-1}$)	13.2
منگنز قابل‌استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Mn ($mg\ kg^{-1}$)	9.4
مس قابل‌استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Cu ($mg\ kg^{-1}$)	2.6
روی قابل‌استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Zn ($mg\ kg^{-1}$)	0.5

تیمارها و آزمایش گلخانه‌ای: آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتور اول شامل تلقیح میکروبی در چهار سطح (تلقیح با ترکیبی از باکتری‌های محرک رشد PGPR (B)، تلقیح با قارچ میکوریز آرباسکولار (F)، تلقیح همزمان باکتری‌های

www.SID.ir

Archive of SID

PGPR و قارچ میکوریز (B+F) و بدون تلقیح (C)) و فاکتور دوم شامل شوری (S) در سه سطح (۰(S_0)، ۱۵ (S_1) و ۳۰ (S_2) میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک) از منابع کلریدسدیم (NaCl)، کلریدکلسیم ($CaCl_2, 2H_2O$) و کلریدمنیزیم ($MgCl_2, 6H_2O$) به‌ترتیب به‌صورت ترکیبی ۱:۲:۳ بود. سویه‌های میکروبی مورد استفاده در این آزمایش شامل باکتری‌های محرک رشد *سودوموناس* (ترکیبی از گونه‌های *P. Putida strain 41* و *P. fluorescens strain167, 187*) و قارچ میکوریز آرباسکولار (*Glomus intraradices*) بود. باکتری‌های محرک رشد از بانک میکروبی بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران تهیه شد. قارچ میکوریز نیز از بخش بیولوژی گروه علوم خاک دانشگاه شیراز تهیه شد. در آغاز نمونه‌های هفت کیلوگرمی از خاک هوا خشک که از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده، به گلدان‌های پلاستیکی انتقال داده شد. بعد از این مرحله عناصر پتاسیم و فسفر را به‌صورت کامل از منبع سولفات‌پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سوپرفسفات ساده (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و نیمی از نیتروژن مورد نیاز را از منبع اوره (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر اساس نتایج آزمون خاک، به خاک‌ها افزوده شدند. نوبت دوم نیتروژن، در آخر هفته چهارم رشد گیاه ذرت به خاک گلدان‌ها افزوده شد. برای اعمال تیمارهای میکروبی، در گلدان‌های مربوط به تیمارهای قارچی قبل از کشت، مقداری از خاک سطحی (۱ الی ۵ سانتی‌متری) را برداشته و به آن مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیحی قارچی (متوسط کلونیزاسیون ریشه ۷۵ درصد و تعداد اسپور در هر گرم بستره ۱۰ عدد) افزوده و با خاک مخلوط شد. تیمارهای فاقد قارچ نیز به همان اندازه از زادمایه قارچی سترون شده (اتوکلاو شده در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۵ دقیقه) دریافت کردند. جهت تلقیح بذر با باکتری مورد نظر در هر حفره کاشت بذر، به‌ازای هر بذر یک گرم مایه تلقیح جامد و پودری حاوی 10^8 سلول باکتری زنده و فعال، استفاده گردید. قبل از تلقیح، بذور را به‌مدت ۳۰ ثانیه با الکل ۹۶ درصد و سپس به‌مدت ۱/۵ تا ۲ دقیقه در محلول وایتکس ۱۰ درصد ضدعفونی سطحی کرده و با آب مقطر استریل ۷ تا ۸ مرتبه شستشو داده شد. پس از اعمال تیمارهای میکروبی کشت گیاه به تعداد ۷ بذر ذرت رقم سینگل گراس ۷۰۴ (مبین) در عمق حدود ۲ سانتی‌متری انجام شد. در هفته سوم رشد گیاه در هر گلدان فقط دو بوته نگهداری شد. در طول دوره رشد، رطوبت گلدان‌ها روزانه به‌صورت وزنی با استفاده از آب مقطر (بدون ایجاد زهاب) در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداشته شدند. پس از تنک کردن گیاهان و در پایان هفته سوم رشد، جهت اجتناب از شوک اسمزی ناشی از شوری، مقادیر نمک در هر یک از تیمارها به‌تدریج و به‌مدت یک هفته به آب آبیاری افزوده شد تا در نهایت نمک مصرفی به اندازه تیمار مورد نظر برسد. به‌منظور کنترل سطوح شوری در طول آزمایش از گلدان‌های تخریبی (فاقد گیاه) استفاده گردید. دامنه اندازه‌گیری شده قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمارهای شوری S_0، S_1 و S_2 در طول فصل رشد گیاه به‌ترتیب برابر با ۲/۲–۱/۹، ۵/۵–۴/۶ و ۸/۶–۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی روی در خاک: پس از ۱۰ هفته، گیاهان برداشت شده و قسمتی از خاک گلدان‌ها پس از جدا نمودن ریشه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت تعیین شکل‌های شیمیایی روی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. جهت اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی روی از روش سینگ و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(۱۹۸۸) استفاده گردید (۴۲). این روش، روی را به شکل‌های محلول + تبادلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی‌شکل، اکسیدهای آهن بلورین و باقی‌مانده جدا می‌کند (جدول ۲). شکل باقی‌مانده روی از طریق تفاوت بین میزان کل روی خاک با جمع شکل‌های دیگر محاسبه شد (۱۶). غلظت روی کل در خاک در عصاره به‌دست آمده از ۲ گرم خاک که به‌مدت یک شب توسط ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد هضم شده، اندازه‌گیری شد (۴۳). بعد از عصاره‌گیری روی در هر مرحله، غلظت روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت شد. لازم به ذکر است که استانداردهای روی در محلول‌هایی که از نظر ترکیب و غلظت مشابه عصاره‌گیرهای هر مرحله است، تهیه شد.

جدول ۲- روش عصاره‌گیری دنباله‌ای سینگ و همکاران (۱۹۸۸).

Table 2. Sequential extraction procedure of Sing et al, 1988.

شکل‌های شیمیایی روی Chemical forms of Zn	علامت اختصاری abbreviation	مدت تکان دادن (ساعت) Time of shaking (h)	عصاره‌گیر مورد استفاده Used extractant	جرم مخصوص (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Specific gravity ($g.cm^{-3}$)
محلول و تبادلی Exchangeable and soluble	WsEx-Zn	2	1 M $Mg(NO_3)_2$	1.10
کربناتی carbonatic	Car-Zn	5	1 M NaOAC (PH=5)	1.04
آلی organic	OM-Zn	0.5	0.7 M NaOCl (pH=8.5)	1.00
متصل به اکسیدهای منگنز Mn oxide	MnOx-Zn	0.5	0.1 M NH_2OH, HCl (pH=2, HNO_3)	1.00
متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل Amorphous Fe oxides	AFeOx-Zn	0.5	0.25 M NH_2OH, HCl + 0.25 M HCl	1.01
متصل به اکسیدهای آهن بلورین Crystaline Fe oxides	CFeOx-Zn	0.5	0.2 M $(NH_4)_2C_2O_4$ + 0.2 M $H_2C_2O_4$ + 0.1 M $C_6H_8O_6$	1.02

تجزیه آماری: تجزیه‌های آماری داده‌ها، توسط برنامه‌های کامپیوتری Excel و MSTATC انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. تعیین ضرایب همبستگی، با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بافت خاک لومی رسی سیلتی بوده و دارای پ‌هاش خنثی تا کمی قلیایی، آهکی، شوری پایین، مقدار ماده آلی کم و اکثر عناصر غذایی کم مصرف به‌جز روی، در حد مناسبی وجود دارد.

اثر تلقیح میکروبی و شوری بر اشکال شیمیایی روی در خاک

شکل محلول و تبادلی: شکل محلول و تبادلی عناصر سنگین دارای بیش‌ترین تحرک در خاک و قابلیت استفاده را جهت جذب توسط گیاه دارد (۲۳). اثرات

www.SID.ir

Archive of SID

اصلی کاربرد ریزجانداران میکروبی و شوری بر شکل محلول و تبادلی روی از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما اثر متقابل آن‌ها بر این شکل روی معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد تیمار میکروبی نشان داد که کاربرد همه تیمارهای میکروبی سبب افزایش شکل محلول و تبادلی روی شد بدین‌صورت که تیمارهای باکتری، قارچ و باکتری- قارچ به‌ترتیب سبب افزایش ۴۴/۱، ۷۲/۵ و ۱۰۱ درصدی این شکل روی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح میکروبی) شدند (جدول ۴). بنابراین طبق گزارش وو و همکاران (۲۰۰۶) در این شکی نیست که کاربرد میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش قابلیت استفاده بیولوژیکی روی در خاک می‌شود که نتیجه آن جذب بیش‌تر روی توسط گیاه می‌باشد (۴۸). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از ۰ به ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک مقدار شکل محلول و تبادلی روی از ۰/۴۷۴ به ۰/۶۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید که این افزایش معادل ۴۲/۶ درصد و معنی‌دار بود (جدول ۴). غلامی (۲۰۱۱) نشان داد که در اثر کاربرد قارچ میکوریزا در سطح پایین روی خاک، شکل محلول و تبادلی روی خاک افزایش‌یافته و با افزایش سطوح روی این شکل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۱۲). وو و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که کاربرد ترکیبی از باکتری‌های محرک رشد (*ازوتوباکتر کروکوکم*، *باسیلوس مگاتریم* و *باسیلوس موسیلاجینوس*) سبب افزایش روی محلول در آب از طریق کاهش محسوس در پ‌هاش شد (۴۸). در این آزمایش افزایش سطوح شوری سبب افزایش معنی‌دار شکل محلول و تبادلی روی شد، که احتمالاً به‌دلیل جایگزینی یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم به‌جای روی قابل تبادل می‌باشد. مکانیسم اصلی کنترل‌کننده حرکت و پویایی روی در خاک رقابت با کلسیم بر سر جایگزینی در نقاط جذب سطحی است. بعد از کلسیم، رقابت روی با منیزیم و سولفات در جذب سطحی دیگر عوامل کنترل‌کننده پویایی و حرکت روی در خاک هستند (۱). کاراگرانید و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که با افزایش شوری قدرت یونی محلول خاک افزایش‌یافته، در نتیجه اکتیویته روی در محلول کاهش یافته و جذب روی در سطح تبادلی کانی‌های رسی کم شده و همین امر سبب افزایش غلظت روی دو ظرفیتی در محلول خاک می‌شود (۷). علت کاهش جذب سطحی روی رقابت کاتیون‌های سدیم، کلیسم و منیزیم با کاتیون دو ظرفیتی روی می‌باشد. مقدار روی دو ظرفیتی خاک به عواملی چون غلظت کل روی خاک، نوع نمک یا کود اضافه‌شده، سطح شوری و نیز وجود یا وجود نداشتن گیاه در خاک بستگی دارد (۲۰). کشاورز و همکاران (۲۰۰۶) با کاربرد چهار سطح شوری آب آبیاری (۰، ۳۷/۵، ۷۵ و ۱۵۰ مول بر مترمکعب ار منابع کلرید سدیم و کلسیم به نسبت ۱:۱ در چند خاک آهکی ایران در مدت ۳۰ روز گزارش کردند که شکل محلول و تبادلی روی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد در خاک‌های مختلف افزایش داشته است (۱۹).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٣- میانگین مربعات شکل‌های شیمیایی روی در خاک پس از برداشت ذرت تحت اثر تلقیح میکروبی و سطوح مختلف شوری خاک.

Table 3. Mean of squares of zinc chemical forms in soil after harvesting corn as affected by microbial inoculation and different levels of soil salinity.

باقی‌مانده Res	اکسید آهن کریستالی CFeOx	اکسید آهن آمورف AFeOx	اکسید منگنز Mn-Ox	آلی OM	کربناتی Car	محلول و تبادلی WsEx	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variation
1.03**	0.040^{ns}	0.126^{ns}	0.157*	0.027**	0.075**	0.122**	2	شوری salinity
7.39**	0.062^{ns}	0.821**	1.05**	0.003^{ns}	0.379**	0.234**	3	تلقیح میکروبی microbial inoculation
0.116^{ns}	0.177**	0.052^{ns}	0.015^{ns}	0.003^{ns}	0.016**	0.004^{ns}	6	شوری × تیمار میکروبی salinity × microbial inoculation
0.160	0.056	0.103	0.046	0.001	0.003	0.003	24	خطا Error
0.680	4.00	14.6	16.8	6.95	5.59	9.90		% CV

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

**, * are significant at 1 and 5 % probability level, respectively and ^{ns} not significant.

جدول ٤- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل محلول و تبادلی روی (WEx) (میلی‌گرم در کیلـوگرم خـاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 4. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on WsEx-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

	سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)			
	0	15	30	اثرات اصلی Main effects
شاهد control	0.254^{h}	0.351^{g}	0.517^{ef}	0.374^{D}
باکتری bacteria	0.454^{f}	0.540^{d-f}	0.623^{d}	0.539^{C}
قارچ fungi	0.573^{de}	0.636^{cd}	0.726^{bc}	0.645^{B}
باکتری + قارچ Fungi + bacteria	0.617^{de}	0.801^{ab}	0.838^{a}	0.752^{A}
اثرات اصلی Main effects	0.474^{C}	0.582^{B}	0.676^{A}	

* میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سـطح احتمـال ۵ درصـد معنی‌دار نیستند.

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

www.SID.ir

Archive of SID

شکل کربناتی: اثرات اصلی تیمارهای میکروبی و شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر شکل کربناتی روی از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار شوری نشان داد که با افزایش شوری میزان روی در شکل کربناتی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. مقدار روی کربناتی با افزایش سطح شوری از ۰ به ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک افزایش پیدا کرد ولی معنی‌دار نبود (جدول ۵). همچنین مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد تیمار میکروبی نشان داد که کاربرد همه ریزجانداران میکروبی در این آزمایش سبب افزایش شکل کربناتی روی نسبت به تیمار عدم کاربرد تیمار میکروبی شد به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش این شکل نسبت به تیمار شاهد مربوط به تیمار کاربرد توأم باکتری و قارچ به‌میزان ۵۹/۳ درصد و کم‌ترین میزان افزایش مربوط به تیمار کاربرد باکتری به‌میزان ۱۳/۷ درصد بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار شوری و میکروبی نشان داد که در همه سطوح شوری (به‌جز سطح اول شوری که تفاوت بین شاهد و تیمار باکتری از نظر آماری معنی‌دار نبود) کاربرد ریزجانداران میکروبی سبب افزایش شکل کربناتی روی نسبت به تیمار عدم تلقیح میکروبی شدند. در سطح اول شوری اثر کاربرد توأم باکتری و قارچ در افزایش این شکل روی نسبت به تیمار شاهد از تیمار کاربرد مجزای باکتری و قارچ به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود در حالی‌که در هر دو سطح شوری ۱۵ و ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک اثر تیمارهای کاربرد قارچ و باکتری- قارچ یکسان و به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار کاربرد باکتری بود (جدول ۵). بنابراین اثر تیمارهای میکروبی در افزایش شکل کربناتی روی به سطوح شوری خاک بستگی داشت. راموس و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که حضور عناصر سنگین در شکل کربناتی نشان‌دهنده پ‌هاش مناسب برای رسوب این عناصر در خاک‌های آهکی است، به این معنی که کربنات‌کلسیم به‌عنوان یک جاذب قوی برای عناصر سنگین بوده و این عناصر به‌صورت $CaCO_3.MCO_3$ رسوب می‌دهد (M نشان‌دهنده یون فلزی است) (۳۳). احتمالاً چون کاربرد قارچ و باکتری سبب تبدیل شکل‌های کم‌تر قابل‌استفاده به شکل‌های با قابلیت استفاده بیش‌تر شده و شرایط برای رسوب روی در شکل کربناتی در خاک آهکی فراهم است، کاربرد باکتری و قارچ سبب افزایش این شکل روی در خاک شده است. غلامی (۲۰۱۱) نشان داد که تلقیح میکوریز در خاک سبب افزایش شکل کربناتی روی از ۱/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار شاهد به ۲/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار کاربر قارچ رسید. او بیان کرد که افزایش شکل کربناتی می‌تواند به این دلیل باشد که قارچ سبب شده است که روی از شکل‌هایی با فراهمی کم‌تر به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیش‌تر تبدیل شود (۱۲). قابلیت استفاده شکل کربناتی برای گیاه کم‌تر از شکل محلول و تبادلی است اما این شکل، شکل ذخیره‌ای روی است که به‌صورت بالقوه می‌تواند برای گیاه قابل‌استفاده باشد (۴۹). وو و همکاران (۲۰۰۶) با کاربرد ترکیبی از باکتری محرک رشد در خاک افزایش شکل کربناتی روی را گزارش کردند (۴۸). کشاورز و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری آب آبیاری سبب افزایش شکل کربناتی روی در خاک شده است (۱۹).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٥- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل کربناتی (Car) روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 5. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on Car-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)				
اثرات اصلی Main effects	30	15	0	
0.728^{D}	0.740^{c}	0.725^{c}	0.720^{c}	شاهد control
0.828^{C}	0.908^{b}	0.884^{b}	0.693^{c}	باکتری bacteria
1.08^{B}	1.17^{a}	1.17^{a}	0.896^{b}	قارچ fungi
1.16^{A}	1.21^{a}	1.15^{a}	1.13^{a}	باکتری + قارچ Fungi + bacteria
	1.01^{A}	0.983^{A}	0.860^{B}	اثرات اصلی Main effects

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

شکل آلی: اثر اصلی تیمار شوری بر شکل آلی روی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر اصلی تیمار میکروبی و اثرات متقابل شوری و فعالیت میکروبی بر این شکل روی حتی در سطح احتمال پنج درصد نیز معنی‌دار نبود (جدول ۳). میزان روی در شکل آلی با کاربرد تیمارهای باکتری و باکتری- قارچ نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. قارچ میکوریزا نیز تغییر معنی‌داری را در این شکل روی ایجاد نکرد (جدول۶). غلامی (۲۰۱۱) نیز تغییر معنی‌داری را در شکل آلی روی در خاک تحت اثر کاربرد قارچ میکوریزا مشاهده نکرد (۱۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از ۰ به ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک، روی در شکل آلی از ۰/۶۰۰ به ۰/۵۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). گزارش شده است که شوری دارای اثر منفی بر میزان جمعیت و فعالیت میکروبی و همچنین فرایندهای بیوشیمیایی ضروری که برای نگه‌داشت ماده آلی خاک ضروری است، دارد (۴۶). ماوی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که افزایش شوری خاک سبب کاهش فعالیت موجودات زنده خاک و در نتیجه میزان کربن آلی محلول را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (۲۶). کاهش معنی‌دار کربن آلی محلول در اثر افزایش شوری توسط دهقانی و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است (۹). شاید بتوان کاهش میزان روی در شکل آلی در اثر افزایش شوری خاک را این طور توجیه کرد که افزایش شوری از یک‌سو سبب کاهش رشد و توسعه ریشه از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک و کاهش جذب

www.SID.ir

Archive of SID

آب توسط ریشه شده و از سوی دیگر نیز فعالیت موجودات زنده خاک را نیز کاهش داده است. بنابراین تولید و ترشح مواد آلی توسط ریشه و موجودات زنده در این شرایط کاهش‌یافته و نتیجه آن کاهش میزان کربن آلی محلول است و از آن‌جا که روی تمایل زیادی برای جذب بر روی مولکول‌های آلی دارد (۳۳) میزان روی در شکل آلی کاهش می‌یابد.

جدول ٦- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل آلی (OM) روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 6. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on OM-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

	سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)			
	0	15	30	اثرات اصلی Main effects
شاهد control	0.571^{bc}	0.562^{bd}	0.473^{f}	0.535^{A}
باکتری bacteria	0.659^{a}	0.550^{be}	0.497^{ef}	0.568^{A}
قارچ fungi	0.576^{bc}	0.515^{cf}	0.510^{df}	0.534^{A}
باکتری + قارچ Fungi + bacteria	0.595^{b}	0.530^{cf}	0.544^{be}	0.556^{A}
اثرات اصلی Main effects	0.600^{A}	0.539^{B}	0.506^{C}	

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

شکل متصل به اکسید منگنز: اثر اصلی تیمار شوری بر شکل روی متصل به اکسید منگنز در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی فعالیت میکروبی بر این شکل روی در سطح احتمال یک درصد از نظر آماری معنی‌دار بود ولی برهم‌کنش شوری و فعالیت میکروبی بر شکل روی متصل به اکسید منگنز معنی‌دار نشد، بنابراین روند تغییرات روی در این شکل در همه سطوح شوری با اعمال تیمارهای میکروبی یکسان بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که این شکل روی از ۱/۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار ۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک به ۱/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک رسید که این افزایش معادل ۱۷/۶ درصد بود (جدول ۷). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار میکروبی نشان داد که کاربرد هر سه تیمار میکروبی سبب افزایش معنی‌دار شکل روی متصل به اکسیدهای منگنز نسبت به تیمار عدم تلقیح میکروبی شد، به‌طوری‌که کاربرد مجزای تیمارهای قارچ و باکتری اثری یکسان بر افزایش این شکل روی داشته و به‌طور

www.SID.ir

Archive of SID

معنی‌داری از کاربرد تیمار توام قارچ و باکتری کم‌تر بود (جدول ۷). بنابراین قارچ و باکتری در افزایش این شکل روی اثر هم‌افزایی مثبتی داشته‌اند. غلامی (۲۰۱۱) گزارش کرد که علی‌رغم این‌که شکل روی متصل به اکسیدهای منگنز در اثر افزودن قارچ به خاک افزایش یافت ولی از نظر آماری معنی‌دار نبود (۱۲). وو و همکاران (۲۰۰۶) نیز افزایش معنی‌دار شکل اکسیدی روی را با افزودن باکتری محرک رشد گزارش کردند (۴۸).

جدول ۷- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل روی متصل به اکسیدهای منگنز (MnOx) (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 7. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on MnOX-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)				
اثرات اصلی Main effects	30	15	0	
0.853^{C}	0.893^{cd}	0.760^{d}	0.853^{cd}	شاهد control
1.30^{B}	1.50^{ab}	1.22^{bc}	1.19^{bc}	باکتری bacteria
1.29^{B}	1.43^{ab}	1.25^{bc}	1.19^{bc}	قارچ fungi
1.67^{A}	1.80^{a}	1.69^{a}	1.53^{ab}	باکتری + قارچ Fungi + bacteria
	1.40^{A}	1.23^{AB}	1.19^{B}	اثرات اصلی Main effects

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

شکل متصل به اکسید آهن آمورف: اثرات اصلی شوری و برهم‌کنش شوری و فعالیت میکروبی بر شکل روی متصل به اکسیدهای آهن آمورف معنی‌دار نبود اما اثرات اصلی تیمار میکروبی بر این شکل روی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بنابراین روند تغییرات روی در این شکل در همه سطوح شوری با اعمال تیمارهای میکروبی یکسان بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار میکروبی نشان داد که کاربرد همه تیمارهای میکروبی سبب افزایش این شکل روی نسبت به تیمار عدم کاربرد ریزجانداران میکروبی شد هر چند فقط اثر تیمار کاربرد باکتری در افزایش این شکل روی معنی‌دار بود (جدول ۸) که احتمالاً نشان‌دهنده توانایی باکتری نسبت به قارچ در به وجود آوردن شرایطی است که در اثر توزیع مجدد روی در خاک، روی از شکل‌های کریستالی خود به شکل آمورف تبدیل شده و احتمالاً بتواند در کشت‌های آینده به‌صورت آسان‌تری آزادشده و در اختیار گیاه قرار گیرد. غلامی

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۱۱) نشان داد که در خاک مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز شکل روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار تلقیح نشده کاهش یافت (۱۲). وو و همکاران (۲۰۰۶) افزایش شکل اکسیدی روی را در اثر کاربرد باکتری در خاک گزارش کردند (۴۸).

جدول ۸- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل روی متصل به اکسیدهای آهن آمورف (AFeOx) (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 8. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on AFeOX-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)				
اثرات اصلی Main effects	30	15	0	
1.90^{B}	1.95^{cd}	2.01^{cd}	1.74^{d}	شاهد control
2.62^{A}	2.75^{a}	2.67^{ab}	2.45^{ac}	باکتری bacteria
2.12^{B}	2.33^{ad}	2.09^{bd}	1.95^{cd}	قارچ fungi
2.16^{B}	2.19^{ad}	2.04^{cd}	2.26^{ad}	باکتری + قارچ Fungi + bacteria
	2.30^{A}	2.20^{A}	2.10^{A}	اثرات اصلی Main effects

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

شکل متصل به اکسید آهن کریستالی: اثرات اصلی تیمار شوری و تلقیح میکروبی بر شکل روی متصل به اکسیدآهن بلورین معنی‌دار نبود در حالی‌که اثرات متقابل آن دو بر این شکل از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که در همه سطوح شوری کاربردی تیمار باکتری تغییر معنی‌داری را در این شکل روی نداشت در صورتی‌که در سطح شوری ۱۵ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک اثر تیمارهای قارچ و قارچ- باکتری در افزایش این شکل روی یکسان، اما در سطوح شوری ۰ و ۳۰ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک تغییرات معنی‌داری در این شکل مشاهده نگردید (جدول ۹). غلامی (۲۰۱۱) مشاهده کرد که در اثر افزودن قارچ میکوریز به خاک شکل روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین به‌طور معنی‌داری نسبت به خاک شاهد افزایش یافت (۱۲)، در صورتی که سابرامانیان و همکاران (۲۰۰۹) کاهش این شکل روی را تحت اثر افزودن قارچ میکوریز به خاک گزارش کردند (۴۴). بنابراین اثر کاربرد تیمارهای میکروبی در تغییر شکل روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین می‌تواند به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از جمله شوری خاک بستگی داشته باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل روی متصل به اکسیدهای آهن کریستالی (CFeOx) (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 9. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on CFeOX-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)				
اثرات اصلی Main effects	30	15	0	
5.80^{A}	5.99^{ab}	5.64^{bc}	5.78^{ac}	شاهد control
6.00^{A}	6.11^{a}	5.91^{ac}	6.00^{ab}	باکتری bacteria
5.95^{A}	5.70^{ac}	6.11^{a}	6.04^{ab}	قارچ fungi
5.91^{A}	5.74^{ac}	6.12^{a}	5.87^{ac}	باکتری + قارچ Fungi + bacteria
	5.88^{A}	5.94^{A}	5.92^{A}	اثرات اصلی Main effects

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

شکل باقی‌مانده: شکل باقی‌مانده روی در ارتباط با داخل شبکه‌های بلورین کانی‌های خاک است و به‌نظر می‌رسد که کاملاً غیرفعال و توسط گیاه غیرقابل‌استفاده باشد (۲۳). اثرات اصلی تیمار شوری و میکروبی بر شکل باقی‌مانده روی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما برهم‌کنش شوری و فعالیت میکروبی بر این شکل روی معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از ۰ به ۱۵ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک، میزان روی در این شکل از ۵۹/۲ به ۵۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید (جدول ۱۰). همچنین مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار کاربرد میکروبی نشان داد که افزودن تمام تیمارهای میکروبی در خاک سبب کاهش شکل باقی‌مانده روی نسبت به تیمار عدم تلقیح میکروبی شد، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان روی در این شکل مربوط به تیمار کاربرد توأم باکتری و قارچ بود (جدول ۱۰). اثر تیمارهای کاربرد باکتری و قارچ در کاهش این شکل روی یکسان بود. با توجه به نتایج فوق می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ریزجانداران میکروبی و شوری خاک در توزیع مجدد روی از شکل‌های کریستالی و غیر قابل‌استفاده گیاه به شکل‌های با قابلیت استفاده بیش‌تر نقش اساسی دارد. چون برهم‌کنش شوری و کاربرد ریزجانداران خاک بر این شکل روی معنی‌دار نبود، پس می‌توان گفت که تأثیر کاربرد موجودات زنده میکروبی در این آزمایش بر شکل باقی‌مانده روی در سطوح مختلف شوری یکسان و به شوری خاک بستگی نداشت. غلامی (۲۰۱۱) کاهش شکل باقی‌مانده روی را با افزودن قارچ میکوریز به خاک گزارش کرد (۱۲). مارتینو و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که قارچ میکوریز اریکوییدسبب حل‌شدن و آزادسازی روی از شکل‌های نامحلول و کریستالی در نتیجه ترشح اسیدهای آلی با قابلیت کمپلکس‌کردن بالا توسط این قارچ شد (۲۵). ساروانان و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که باکتری *استوباکتر* قادر به حل روی از منابع نامحلول روی از طریق تولید آنزیم آلفاکتوگلوکونیک اسید می‌باشد (۳۷). سابرامانیان و همکاران (۲۰۰۹) کاهش شکل باقی‌مانده روی را این طور توجیه کرد که فعالیت میکروبی فشرده و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در خاک‌های تیمار شده با قارچ سبب کاهش پ‌هاش ریزوسفر شده و می‌تواند سبب آزادسازی روی از شکل‌های کریستالی باشد (۴۴). کشاورز و همکاران (۲۰۰۶) کاهش معنی‌دار شکل باقی‌مانده روی را تحت اثر افزایش سطوح شوری آب آبیاری در خاک‌های آهکی گزارش کردند (۱۹).

جدول ۱۰- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر شکل باقی‌مانده روی (Res) (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Table 10. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on Res-Zn (mg kg^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

	سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)			
	0	15	30	اثرات اصلی Main effects
شاهد control	60.5^{a}	60.30^{a}	59.80^{ab}	60.20^{A}
باکتری bacteria	58.9^{cd}	58.60^{ce}	58.00^{e}	58.50^{BC}
قارچ fungi	59.2^{bc}	58.06^{cde}	58.70^{ce}	58.80^{B}
باکتری + قارچ Fungi + bacteria	58.4^{de}	58.10^{e}	58.00^{e}	58.10^{C}
اثرات اصلی Main effects	59.20^{A}	58.90^{AB}	58.60^{B}	

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک:
محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی تحت‌تأثیر کاربرد تیمار شوری و میکروبی نشان داد (جدول‌های ۱۱ و ۱۲) که در اثر کاربرد ریزجانداران میکروبی، افزایش درصد نسبی شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی، اکسید منگنز و آهن آمورف نسبت به سایر شکل‌ها مشهودتر بود و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای درصد نسبی شکل باقی‌مانده روی کاهش یافت. همچنین در اثر اعمال تیمار شوری درصد نسبی شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز افزایش و شکل‌های آلی و اکسیدآهن کریستالی کاهش پیدا کرد. بنابراین درصد نسبی شکل‌های شیمیایی

www.SID.ir

Archive of SID

روی در خاک نشان می‌دهد که کاربرد تیمار شوری و میکروبی، هر دو سبب توزیع مجدد روی در خاک شده و روی در خاک به‌سمت شکل‌های با قابلیت استفاده بیش‌تر سوق دارد. غلامی (٢٠١١) گزارش کرد که کاربرد قارچ میکوریزا در خاک سبب افزایش درصد نسبی شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی، آلی و متصل به اکسیدهای آهن بلورین و کاهش درصد نسبی شکل‌های متصل به اکسید آهن آمورف و باقی‌مانده شد (١٢).

با توجه به محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی، ترتیب شکل‌های شیمیایی روی بومی در خاک به‌صورت زیر بود:

باقی‌مانده >> اکسید آهن کریستالی > اکسید آهن بی‌شکل > اکسید منگنز > کربناتی > آلی > محلول و تبادلی

محاسبه درصد نسبی شکل‌های شیمیایی خاک نشان داد که بیش از ٨٥ درصد روی بومی خاک در شکل باقی‌مانده بود که برای گیاه قابل‌استفاده نیست. به‌نظر می‌رسد که در خاک‌های آهکی که مقدار روی کل معمولاً به‌میزان مناسب است، استفاده از تیمارهای میکروبی که سبب توزیع مجدد روی از شکل‌های غیرقابل‌استفاده گیاه به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیش‌تر می‌شود، یک راه کار مناسب جهت بهبود تغذیه روی در گیاه باشد. جلود و همکاران (٢٠١٣) با بررسی قابلیت استفاده و شکل‌های شیمیایی عناصر کم‌مصرف در ٣٧ خاک آهکی عربستان ترتیب شکل‌های شیمیای روی در خاک‌ها را به‌صورت زیر گزارش کردند (٣):

باقی‌مانده > اکسیدی > کربناتی > آلی > محلول و تبادلی

که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهش حاضر بعد از شکل باقی‌مانده شکل‌های اکسیدی آهن شکل غالب روی را در خاک تشکیل می‌داد و کم‌ترین بخش روی در شکل محلول و تبادلی و آلی مشاهده شد. سپهوند و فرقانی (٢٠١١) بیان کردند که در خاک‌های آهکی استان لرستان بعد از شکل باقی‌مانده، شکل غالب روی، روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین و آمورف بود که با پژوهش حاضر مطابقت دارد (٣٩). پری‌زنگنه و همکاران (٢٠٠٧) علت بالا بودن غلظت روی در شکل متصل به اکسیدهای آهن را جذب ترجیحی این عنصر بر سطوح این اکسیدها دانستند (٣١). علیدوست و همکاران (٢٠١٢) بیان کردند که روی متصل به اکسیدهای آهن و منگنز یک منبع ثانویه تامین‌کننده این عنصر برای گیاه است. همچنین بیان کردند که هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد، غلظت روی در شکل متصل به اکسیدهای آهن و منگنز بیش‌تر است (٢). کمالی و همکاران (٢٠١١) نیز با مطالعه بر روی خاک‌های آهکی دریافتند که در بین شکل‌های شیمیایی روی کم‌ترین بخش مربوط به شکل آلی و محلول + تبادلی است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. آن‌ها دلیل این را میزان کم ماده آلی خاک، مقدار بالای کربنات کلسیم و پ‌هاش خاک و همچنین احتمالاً تمایل کم روی برای جذب سطحی توسط سطوح رس‌ها در مقایسه با کربنات‌کلسیم در خاک دانستند (١٦). شوبر و همکاران (٢٠٠٧) گزارش کردند که شکل آلی و تبادلی روی به‌ترتیب همبستگی مثبت و منفی معنی‌داری با میزان کربن آلی و پ‌هاش خاک دارد (٤١). بنابراین با توجه به پ‌هاش بالا و میزان کم ماده آلی خاک مورد آزمایش، در این پژوهش طبیعی است که روی در شکل‌های محلول و تبادلی و آلی نسبت به شکل‌های دیگر به مقدار کم‌تر ظاهر شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱- تغییرات درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی مربوط به میانگین اثرات اصلی تیمارهای میکروبی.

Table 11. Changes of relative percentage of Zn chemical forms reated to main effects of microbial treatments.

باکتری + قارچ Fungi + bacteria	قارچ fungi	باکتری bacteria	شاهد control
شکل محلول و تبادلی WsEx			
1.06	0.91	0.76	0.53
شکل آلی OM			
0.78	0.75	0.8	0.75
شکل کربناتی Car			
1.65	1.53	1.17	1.03
متصل به اکسید منگنز MnOx			
2.37	1.83	1.84	1.18
متصل به اکسید آهن آمورف AFeOX			
3.07	3.01	3.71	2.70
متصل به اکسید آهن بلورین CFeOx			
8.39	8.44	8.53	8.24
شکل باقی‌مانده Res			
82.6	83.5	83.1	85.5

جدول ۱۲- تغییرات درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی مربوط به میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف شوری.

Table 12. Changes of relative percentage of Zn chemical forms reated to main effects of different salinity levels.

سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels of salinity (meq salt/ kg soil)		
30	15	0
شکل محلول و تبادلی WsEx		
0.95	0.82	0.67
شکل آلی OM		
0.71	0.46	0.84
شکل کربناتی Car		
1.42	1.39	1.21
متصل به اکسید منگنز MnOx		
1.99	1.74	1.69
متصل به اکسید آهن آمورف AFeOx		
3.27	3.12	2.97
متصل به اکسید آهن بلورین CFeOx		
8.35	8.44	8.40
شکل باقی‌مانده Res		
83.30	83.60	84.10

www.SID.ir

Archive of SID

ضرایب همبستگی شکل‌های شیمیایی روی در خاک: نتایج ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی در خاک پس از کشت ذرت تحت اثر کاربرد ریزجانداران میکروبی و شوری خاک نشان داد (جدول ١٣) که بین شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز روی، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. همچنین نتایج ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی در خاک با روی قابل‌استفاده خاک (عصاره‌گیری شده توسط دی‌تی‌پی‌ا در زمان ٢ ساعت) در خاک پس از کشت ذرت تحت اثر کاربرد ریزجانداران میکروبی و شوری خاک نشان داد (جدول ١۴) که بین شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز روی در خاک با روی قابل‌استفاده خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت که بین شکل‌های یادشده در بالا در خاک، در شرایط آزمایش حاضر، رابطه‌ای پویا و تنگاتنگ وجود داشته و این شکل‌ها توانایی تبدیل‌شدن به یکدیگر را در خاک دارا هستند. همچنین به‌نظر می‌رسد که مسئول اصلی تامین عنصر روی برای جذب توسط گیاه در شرایط این آزمایش، این سه شکل روی در خاک هستند. سپهوند و فرقانی (٢٠١١) گزارش کردند که برخی شکل‌های روی بین خود دارای همبستگی معنی‌داری بودند که احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آن شکل‌ها در خاک است (٣٩). همچنین آنان همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های روی متصل به اکسیدهای آهن بلورین و بی‌شکل و مقدار روی عصاره‌گیری شده توسط دی‌تی‌پی‌ا مشاهده کردند.آنان بیان کردند که شاید این شکل‌های روی منبع بالقوه‌ای جهت تامین روی مورد نیاز گیاه در خاک‌های آهکی استان لرستان باشند.

جدول ١٣- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی در خاک پس از کشت ذرت تحت اثر کاربرد تلقیح میکروبی و شوری خاک.

Table 13. Person correlation coefficient (r) within Zn chemical forms in soil after corn harvesting as influenced by microbial inoculation and soil salinity.

	محلول+ تبادلی WsEx	کربناتی Car	آلی OM	اکسید منگنز MnOx	اکسیدآهن آمورف AFeOX	اکسیدآهن بلورین CFeOx	باقی‌مانده Res
محلول + تبادلی WsEx	١	0.87**	ns	0.90**	ns	ns	-0.86**
کربناتی Car		١	ns	0.82**	ns	ns	-0.72**
آلی OM			١	ns	ns	ns	ns
اکسیدمنگنز MnOx				١	ns	ns	-0.94**
اکسیدآهن آمورف AFeOX					١	ns	-0.64*
اکسیدآهن بلورین CFeOx						١	ns
باقی‌مانده Res							١

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

**, * are significant at 1 and 5 % probability level, respectively and ns not significant.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ١٤- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین شکل‌های شیمیایی روی و روی قابل‌استفاده (عصاره‌گیری شده توسط DTPA در زمان ٢ ساعت) در خاک پس از کشت ذرت تحت اثر کاربرد ریزجانداران میکروبی و شوری خاک.

Table 14. Person correlation coefficient (r) between Zn chemical forms and Zn-DTPA in soil after corn harvesting as influenced by microbial inoculation and soil salinity.

	محلول + تبادلی	کربناتی	آلی	اکسیدمنگنز	اکسیدآهن آمورف	اکسیدآهن بلورین	باقی‌مانده
	WsEx	Car	OM	MnOx	AFeOX	CFeOx	Res
Zn-DTPA	0.91**	0.72**	ns	0.77**	ns	ns	-0.72**

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

**, * are significant at 1 and 5 % probability level, respectively and ns not significant.

شکل‌های شیمیایی روی در ارتباط با رشد متفاوت ریشه‌ها در تیمارهای مختلف کاربردی: اثرات اصلی تیمارهای میکروبی نشان داد که با کاربرد همه تیمارهای میکروبی به جهت جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی وزن خشک ریشه‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و بیش‌ترین افزایش نیز مربوط به تیمار کاربرد توأم قارچ و باکتری بود (جدول ١٥). همان‌طورکه از نتایج شکل‌های شیمیایی روی مشخص شد، بیش‌ترین افزایش غلظت شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز روی که همبستگی مثبت و معنی‌داری با روی قابل استفاده گیاه داشت، نیز در تیمار کاربرد توأم قارچ و باکتری مشاهده شد، پس می‌توان نتیجه گرفت که رشد بهتر ریشه‌ها در تیمارهای میکروبی اعمال شده در این آزمایش، احتمالاً از طریق تغییر در شرایط بیوشیمیایی خاک (ترشح اسیدهای آلی، میزان ترشحات آنزیم‌های فسفاتاز، دهیدروژناز، محتوای کربن خاک و ...) که همه آن‌ها در واقع معلول استفاده از تیمارهای میکروبی می‌باشند، سبب تغییر در شکل‌های شیمیایی روی، از شکل‌های کم‌تر قابل‌استفاده به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیش‌تر شده است. همچنین افزایش سطوح شوری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش شدید رشد ریشه‌ها (وزن خشک ریشه) شد (جدول ١٥)، بنابراین نتیجه افزایش شوری خاک، کاهش رشد ریشه، ترشحات آن و کاهش میزان کربن آلی محلول خاک است. از آن‌جا که روی تمایل زیادی برای جذب بر روی مولکول‌های آلی دارد (٣٣)، میزان روی در شکل آلی در اثر افزایش سطوح شوری خاک کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ١٥- اثر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری خاک پس از برداشت ذرت.

Tanle 15. Effect of PGPR and mycorrhizae funfi application on root dry matter(g pot^{-1}) in different levels of soil salinity after corn harvesting.

	سطوح شوری (میلی‌اکی‌والان نمک بر کیلوگرم خاک) Levels od salinity (meq salt / kg soil)			
	0	15	30	اثرات اصلی Main effects
شاهد control	1.09^{d}	0.8^{f}	0.65^{g}	0.84^{D}
باکتری bacteria	1.51^{b}	1.11^{d}	0.92^{e}	1.18^{C}
قارچ fungi	1.66^{a}	1.20^{c}	1.05^{d}	1.30^{B}
باکتری + قارچ Fungi + bacteria	1.60^{a}	1.47^{b}	1.13^{cd}	1.40^{A}
اثرات اصلی Main effects	1.46^{A}	1.14^{B}	0.94^{C}	

میانگین‌های دارای حروف لاتین بزرگ و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر در متن جدول از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

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

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی با افزایش سطوح شوری غلظت شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی و اکسیدمنگنز افزایش و شکل باقی‌مانده و آلی نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد. شکل‌های اکسیدی آهن (بلورین و بی‌شکل) با اعمال شوری تغییری نیافت. با کاربرد تیمارهای میکروبی غلظت شکل‌های محلول + تبادلی، کربناتی و اکسیدمنگنز افزایش و بیش‌ترین افزایش مربوط به تیمار کاربرد توأم باکتری و قارچ بود و غلظت شکل باقی‌مانده نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. غلظت شکل‌های روی متصل به آهن کریستالی، بی‌شکل و آلی با کاربرد تیمارهای میکروبی تغییری نیافت. ترتیب شکل‌های شیمیایی روی بومی خاک به‌صورت زیر بود: باقی‌مانده >> اکسیدآهن کریستالی> اکسیدآهن آمورف > اکسیدمنگنز > کربناتی > آلی> محلول + تبادلی، در حالی‌که در اثر کاربرد تیمارهای میکروبی ترتیب شکل‌های شیمیایی روی در خاک به‌صورت زیر تغییر یافت: باقی‌مانده >> اکسیدآهن کریستالی > اکسیدآهن آمورف > اکسیدمنگنز > کربناتی > محلول و تبادلی > آلی. بین شکل‌های محلول + تبادلی، کربناتی و اکسید منگنز روی در خاک با روی قابل‌استفاده در خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده نقش مؤثر این سه شکل شیمیایی روی در تامین روی مورد نیاز گیاه می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح میکروبی سبب تبدیل و افزایش آزادسازی و حل‌شدن شکل‌های نامحلول، کریستالی و محبوس روی (باقی‌مانده) به شکل‌هایی از روی با پتانسیل زیست‌فراهمی و پویایی بیش‌تر (محلول + تبادلی، کربناتی و اکسیدمنگنز) شد که احتمالاً نتیجه تغییر در

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط بیوشیمیایی خاک (تولید و ترشح اسیدهای آلی، آنزیم‌های فسفاتاز، دی‌هیدروژناز و ترشح پروتئین گلومالین) و همچنین افزایش کربن آلی خاک می‌باشد(۴۴، ۱۴)، پس تیمارهای میکروبی به‌کار رفته در این پژوهش توانستند مقداری از روی بومی خاک را که بیش از ۸۵ درصد آن در شکل باقی‌مانده بود، حل کرده و به شکل‌هایی با قابلیت استفاده بیش‌تر برای گیاه تبدیل کنند. بنابراین می‌توان با کاربرد تیمارهای بیولوژیک تا حدودی مشکل تغذیه‌ای روی را در خاک‌های آهکی رفع نمود. تأثیر تیمارهای میکروبی کاربردی در تغییر شکل‌های شیمیایی خاک به‌صورت باکتری- قارچ > قارچ > باکتری بود.

همچنین افزایش سطوح شوری خاک سبب توزیع مجدد روی از شکل‌های کم‌محلول به شکل‌های با حلالیت بیش‌تر در خاک و در نتیجه افزایش تحرک و پویایی روی در خاک شدند. بررسی‌های بیش‌تر در ارتباط با تأثیر نوع ریزجاندار زنده و نوع مکانیسم‌های تأثیرگذار آن‌ها، نوع و سطوح نمک‌های دیگر و همچنین مقایسه تأثیر نوع گیاهان کشت شده بر شکل‌های شیمیایی روی و دیگر عناصر کم‌مصرف و همچنین مقایسه تأثیر این تیمارها بر شکل‌های شیمیایی روی و دیگر عناصر کم‌مصرف در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری پیشنهاد می‌شود.

منابع

1.Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbit, K., Faz, A., and Martinez, S. 2011. Salinity increase mobility of heavy metals in soils, Chemosphere, 85: 8. 1318-1324.

2.Alidoust, D., Suzuki, S., Matsumura, S., and Yoshida, M. 2012. Chemical speciation of heavy metals in the fractionated rhizosphere soils of sunflower cultivated on a humic Andosol. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 43: 17. 2314-2322.

3.Al jaloud, A.A., Al rabhi, M.A., and Bashour, I.I. 2013. Availability and fractions of trace elements in arid calcareous soils. Emir. J. Food Agric. 25: 9. 702-712.

4.Alloway, B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association (IZA). http://www.Zinc-crop.org, 128p.

5.Banai, M., Moemeni, A., Baybordi, M., and Malakuti, M.J. 2004. Iranian soil, new developments in the diagnosis and management. Sana publication, Tehran, Iran.

6.Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total, P 1085-1122. In: D.L. Sparks. et al., (eds) Methods of Soil Analysis. Part III. 3rd Ed., Am. Soc. Argon., Madison, WH.

7.Casagrande, J.C., Alleon, L.R.F., Camargo, O.A., and Arnone, A.D. 2004. Effects of pH and Ionic Strength on Zinc Sorption by a Variable Charge Soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 2087-2095.

8.Chidanandappa, H.M., Khan, H., Chikkaramappa, T., and Shivaprakash, B.L. 2008. Forms and distribution of zinc in soils under mulberry (*Morus indica* L.) of multivoltine seed area in Karnataka. J. Agric. Sci. 42: 26-32.

9.Dehghani, A., Fotovat, A., Haghnia, G.H., and Keshavarz, P. 2007. Effect of salinity and cow manure on the concentrations and distribution of species in the soil solution. Sci. Tech. Agric. Natur. Resour. 41: 11. 53-61.

10.Gadd, G.M. 2000. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. Curr. Opin. Biotechnol. 11: 271-279.

11.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, hydrometer method, P 404-408. In A. Klute et al (Eds). Methods of soil analysis. 2nd ed. Part 1. America Society of Agronomy, Madison. WI.

12.Gholami, L. 2011. Effects of mycorrhizal arbuscular symbiosis, zinc levels and organic matter on zinc chemical forms in a calcareous soil and responses of corn. Master Thesis, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University.

www.SID.ir

Archive of SID

13. Gholami, A., Shahsavandi, S., and Nezarat, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maze. Proceeding of World Academy of Science. Engin. Tech. 37: 2070-3740.
14. Huang, Q.Y., Chen, W.L., and Guo, X.J. 2002. Sequential fractionation of Cu, Zn and Cd in soils in the absence and presence of rhizobia. In: proceedings of WCSS, August, 14-21, Thailand, 1453p.
15. Huang, Q., Chen, W., and Guo, X. 2004. Chemical fractionation of copper, zinc and cadmium in two Chinese soils as influenced by rhizobia. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 947-960.
16. Kamali, S., Ronaghi, A., and Karimian, N. 2011. Soil Zinc Transformations as Affected by Applied Zinc and Organic Materials. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 42: 9. 1038-1049.
17. Kabala, C., and Singh, B.R. 2001. Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. J. Environ. Qual. 30: 485-492.
18. Kandeler, E., Marschner, P., Tscherko, D., Gahoonia, T.S., and Nielsen, N.E. 2002. Microbial community composition and functional diversity in the rhizosphere of maize. Plant Soil, 238: 301-312.
19. Keshavarz, P., Malakouti, M.J., Karimian, N., and Fotovat, A. 2006. The effect of salinity on extractability and chemical fractions of zinc in selected calcareous soils of Iran. J. Agric. Sci. Tech. 8: 181-190.
20. Khoshgoftarmanesh, A.H., Shariatmadari, H., Kalbasi, M., and Ma, L.Q. 2003. Effect of NaCl salinity and Znapplication on species of Cd and Zn in soil solution. Seventh International Conference on the Biogeochemistry of Trace Element, Uppsala, Sweden.
21. Kim, K.Y., Jordan, D., and McDonald, G.A. 1998. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biol. Fertil. Soil. 26: 79-87.
22. Lindsay, W.L., and Norvel, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
23. Lu, A., Zhang, S., and Shan, X. 2005. Time effect on the fractionation of heavy metals. Geoderma, 125: 225-234.
24. Mapiki, A., and Phiri, S. 1995. Soil fertility constraints and management options in Northern Zambia. Proceedings of the National Symposium Proceedings: A System Approach to Long Term Soil Productivity, February 7-10, 1995, Department of Soil Science, University of Zambia, Lusaka, Zambia, Pp: 11-29.
25. Martino, E., Perotto, S., Parsons, R., and Gadd, G.M. 2003. Solubilization of insoluble zinc compounds by ericoid mycorrhizal fungi derived from heavy metal polluted soils. Soil Biol. Biochem, 35: 133-141.
26. Mavi, M.S., Marschner, A., Chittleborough, D.J., and Cox, J.W. 2010. Microbial activity and dissolved organic matter dynamics in the soils are affected by salinity and sodicity. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solution for Changing World.
27. Mulligan, C.N., Yong, R.N., and Gibbs, B.F. 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils groundwater: an evaluation. Engineering Geology, 60: 193-207.
28. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P. In: D.L. Sparks et al., (eds). Methods of soil analaysis. Part III. 3rd Ed., Am. Soc. Agron. Madison, WI.
29. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cric. 939. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
30. Page, A.L., Changeand, A.C., and Adriano, D.C. 1996. Deficiencies and Toxicities of Trace Elements. In: "Agricultural salinity assessment and management" No. 71 (Ed.) Tanji, K.K., Pp: 138-160. Amer. Soc. Civil Eng. New York.
31. Parizanganeh, A., Lakhan, V.C., and Jalalian, H. 2007. A geochemical and statistical approach for assessing heavy metal pollution in sediments from southern Caspian coast. Inter. J. Env. Sci. Technol. 4: 351-358.

www.SID.ir

Archive of SID

32.Qadir, M., Qureshi, R.H., and Ahmed, N. 1997. Nutrient Availability in a Calcareous Saline-sodic Soil during Vegetative Bioremediation. Arid Soil Res. 11: 343-352.
33.Ramos, L., Hernandez, L.M., and Gonzaalez, M.J. 1994. Sequential fraction of Cu, Pb, Cd and Zn in soils from or near Donana national Park. J. Environ. Qual. 23: 50-57.
34.Ravikovitch, S., Margolin, M., and Navrot, J. 1968. Zinc Availability in Calcareous Soils: I. Comparison of Chemical Extraction Methods for Estimation of Plant Availability Zinc. Soil Sci. 105: 57-61.
35.Rattan, R.K., and Sharma, P.D. 2004. Main micronutrients available and their method of use. Proceedings IFA International Symposium on Micronutrients, Pp: 1-10.
36.Ruiz, E., Alonso-Azcirate, J., and Rodriguez, L. 2011. *Lumbricus terrestris* L. activity increases the availability of metals and their accumulation in maize and barley. Environ. Pollut. 159: 722-728.
37.Saravanan, V.S., Madhaiyan, M., and Thangaraju, M. 2007. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium Gluconacetobacter diazotrophicus. Chemosphere, 66: 1794-1798.
38.Safari, M., Yasrebi, J., Karimian, N., and Xiao, S. 2009. Evaluation of three sequential extraction methods for fractionation of zinc in calcareous and acidic soils. Res. J. Biol. Sci. 4: 7. 848-857.
39.Sepahvand, H., and Forghani, A. 2011. Distribution of different forms of Iran and its correlation with soil characteristics in some province of calcareous soils. J. Soil Water. 25: 15. 1128-1137.
40.Shahbazi, K., and Besharati, H. 2013. Short investigation of soil fertility status of Iran. J. Land Manag. 1: 1-15.
41.Shober, A.L., Stehouwer, R.C., and MacNeal, K.E. 2007. Chemical fractionation of trace elements in biosolid-amended soils and correlation with trace elements in crop tissue. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38: 7-8. 1029-1046.
42.Singh, J.P., Karwarsa, S.P.S., and Singh, M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils of India. Soil Sci. 146: 359-366.
43.Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cd and Pb solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 260-264.
44.Subramanian, K.S., Tensia, V., Jayalakshmi, K., and Ramachandran, V. 2009. Biochemical changes and zinc fractions in arbascular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) inoculated and inoculated soils under differential zinc fertilization. Appl. Soil Ecol. 49: 32-39.
45.Thomas, G.W. 1996. Soil and Soil acidity, P 475-490. In: D.L. Sparks et al., (eds). Methods of Soil Analysis. Part III. 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI.
46.Tripathi, S., Kumari, S., Chakraborty, A., Gupta, A., Chakrabarti, K., and Bandyapadhyay, B.K. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biol. Fertil. Soil. 42: 273-277.
47.Wamberg, C., Christensen, S., Jakobsen, I., Muller, A.K., and Sorensen, S.J. 2003. The mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) affects microbial activity in the rhizosphere of pea plants (*Pisum sativum*). Soil Biol. Biochem. 35: 1349-1357.
48.Wu, S.C., Luo, Y.M., Cheung, K.C., and Wong, M.H. 2006. Influence of bacteria on Pb and Zn speciation, mobility and bioavailability in soil: A Laboratory Study. Environ. Pollut. 144: 765-773.
49.Yasrebi, J., Karimian, N., Maftoun, M., Abtahi, A., and Sameni, A.M. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as affected by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2133-2145.
50.Yildirim, E., Turan, M., and Donmez, M.F. 2008. Mitigation of salt stress in radish (*Raphanus Sativus* l.) by plant growth promoting rhizobacteria. Roumanian Soc. Biol. Sci. 13: 5. 3933-3943.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 6(1), 2016
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and Arbuscular mycorrhizae fungi (AMF) application on distribution of zinc chemical forms in a calcareous soil with different levels of salinity

***H.R. Boostani[1], M. Chorom[2], A.A. Moezzi[2], N.A. Karimian[3], N. Enayatizamir[4] and M. Zarei[5]**

[1]Assistant Prof., College of Agriculture and Natural Resources of Darab, University of Shiraz, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahwaz, [3]Professor, Dept. of Soil Science, University of Shiraz, [4]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahwaz, [5]Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Shiraz

Received: 11/14/2014; Accepted: 07/29/2015

Abstract

Background and Objectives: Zinc (Zn) is one of the most important essential nutrients that plants require it for their physiological and generation functions.The low bioavailability of Zn is in calcareous and saline soil, therefore the study of chemical forms and bioavailability of Zn in these soils is necessary to estimate the potential availability. The objective of this study was to evaluate the effect of plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizae fungi inoculation on the chemical forms of Zn in a calcareous soil at different salinity levels after harvesting corn by a sequential extraction method.

Materials and Methods: In order to do this study, apporpirate amount of surface soil (0-30 cm) that had low organic matter and electerical conductivity, was collected and then, selected physicochemical properties of soil were measured by laboratory standard methods. A factorial experiment as a completely random design with three replications was conducted in greenhouse conditions. The first factor consisted of three salinity levels (0, 15 and 30 Meq salt kg^{-1} soil) and the second factor was microbial inoculation (without inoculation, *Glumus Intraradices*, *Pesudomonas* bacteria and fungi + bacteria). After applying treatments, corn seeds (*Zea mays* L.) were planted in plastic pots and held for 10 weeks. Sequential extraction procedure of Sing et al. (1988) was used to measure chemical forms of Zn in soil after corn harvesting. The Zn was separated into 7 fractions by this method that include WsEx-Zn, Car-Zn, Om-Zn, MnOx-Zn, AFeOx-Zn, CFeOx-Zn and Res-Zn.

Results: The results showed that increasing salinity levels increased the concentrations of soluble+exchangeable, carbonatic and manganese oxide fractions and the concentrations of residual and organic fractions decreased. By application of all microbial treatments, the concentration of soluble + exchangeable, carbonatic and manganese oxide fractions increased and the concentration of residual fraction declined. The higher increase of concentrations of soluble + exchangeable (101%), carbonatic (59.3%) and manganese oxide (100%) fractions were observed in co-inoculation of bacteria and fungi treatment. There were positive and significant correlation between soluble+exchangeable, carbonatic and manganese oxide fractions with DTPA extractable Zn which indicates the role of these fractions in the supply of Zn to plant.

Conclusion: Results showed that the biological treatments caused the redistribution of Zn from low available fractions to high available fractions in soil. Also, increasing soil salinity levels caused the redistribution of Zn from insoluble fractions to more soluble fractions and therefore, the mobility of Zn in soil increased.

Keywords: *Glomus intradices* fungi, *Pseudomonas* sp. bacteria, Salinity, Sequential extraction, Zinc

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

www.SID.ir