Research Article

Agricultural Engineering., 48(1) (2025) 57- 73
DOI: 10.22055/agen.2025.48339.1752

ISSN (E): 2588-526X

ISSN (P): 2588-5944

Effect of Carbon Black and Zinc-Solubilizing Bacteria on the Chemical Fractions of Zinc in Soil under Salinity Stress

S. Raeisi [1], N. Rangzan [1] and N. Enayatizamir[2]*

1. Master's Graduate and Associate Professor, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 16 November 2024 Accepted: 6 January 2025 *Corresponding Author: n.enayatzamir@scu.ac.ir

Abstract

Introduction: Zinc (Zn) is an essential nutrient for plants, required in small amounts for reproductive and physiological functions. Zinc deficiency is common in soils with high pH, low organic matter, and high calcium carbonate. Soil salinity is a major environmental stress affecting zinc availability, with varied impacts on its chemical forms. Soluble and exchangeable zinc forms are the most mobile and available for plants, while residual zinc forms are less active. Depending on soil properties, carbonate-bound, iron and manganese oxide-bound, and organic zinc forms are relatively active and potentially available for plants. Organic materials like carbon black can influence zinc distribution, and zinc-solubilizing bacteria enhance zinc availability by converting insoluble forms into soluble ones. This study investigates the effects of carbon black and growth-promoting bacteria on zinc forms and soil properties under different salinity levels.

Materials and Methods: In this study, a pot experiment with four replications was conducted to investigate the effect of carbon black and the inoculation of a mixture of two bacteria on the distribution of chemical forms of zinc under salinity stress. The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with three factors: salinity (2, 5, and 8 dS m^{-1}), carbon black (0 and 4% by weight), and a mixture of two bacteria (inoculated and non-inoculated). The bacteria used in this study included *Enterobacter cloacae* and *Bacillus* sp., both of which were obtained from the microbial collection of the Soil Science Department at Shahid Chamran University of Ahvaz. The experiment was carried out in 2023 in the greenhouse of Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University. In 5-kilogram pots, 10 corn seeds were planted and later thinned to 6 plants per pot after germination. Three months after planting, soil samples were taken from the pots. After removing the roots and passing the soil through a 2-mm sieve, the samples were transferred to the laboratory to determine the chemical forms of zinc. The sequential extraction method was used to determine the chemical forms of zinc. The fractions—exchangeable, carbonate, iron and manganese oxides, organic, and residual—were determined. The concentration of zinc in the extracts obtained from the various stages of sequential extraction of the soil was read using an atomic absorption device. Some biological properties of soil, such as microbial biomass carbon (via fumigation-extraction method), catalase activity (via the titration method), and soil respiration (by titration of residual NaOH), were measured.

Results and Discussion: The interaction effect of carbon black, inoculation, and salinity on the chemical forms of Zn was significant. The results showed that the inoculation of a mixture of two bacteria and the addition of carbon black significantly increased the soluble and exchangeable, carbonate, iron and manganese oxide, and organic forms of zinc in the soil. At a salinity level of 2 dSm-1, the inoculation of bacteria and addition of carbon black increased EXCH-zinc from 1.02 to 1.38 mg/kg-1, a 35% increase compared to the

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

control. Inoculation of the bacterial mixture and the addition of carbon black to the soil increased all forms of zinc except the residual form. With increasing salinity, soluble and exchangeable, carbonate-bound, and oxide-bound forms increased, while the organic-bound form decreased. The highest microbial biomass carbon, catalase activity, and soil respiration were measured in the treatment with bacteria, carbon black, and at a salinity level of 2 dS m^{-1}, with values of 19.9 mg-Cmic $100g^{-1}$, 0.95 mL$KMnO_4$ $g^{-1}h^{-1}$, and 70.2 mgCO_2 $100g^{-1}day^{-1}$, respectively. There was a positive correlation between soil respiration and all forms of zinc, except the residual form, which showed a negative correlation. This indicates the influence of microbial activity on different forms of zinc.

Conclusion: The addition of carbon black to the soil and the inoculation of a mixture of two bacteria converted zinc from its residual form to soluble and exchangeable, carbonate, oxide, and organic forms, increasing the availability of zinc in accessible fractions at various salinity levels. Overall, zinc-solubilizing bacteria offer a promising solution for enhancing zinc availability in saline soils, promoting plant health, and contributing to sustainable agricultural practices.

Keywords: Bacterium, Catalase activity, Microbial biomass carbon, Soil respiration, Zinc.

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۸ شماره۱، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

اثر دوده کربن و باکتریهای حل‌کننده روی بر توزیع شیمیایی روی در خاک تحت تنش شوری

سپیده رئیسی[۱]، نفیسه رنگ‌زن[۱] و نعیمه عنایتی‌ضمیر[۲*]

۱- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

کلمات کلیدی:

باکتری،

تنفس خاک،

روی،

کربن زیتوده میکروبی،

فعالیت کاتالاز

* عهده دار مکاتبات

Email: n.enayatzamir@scu.ac.ir

چکیده

بیشتر خاک‌ها یا کمبود روی دارند یا حاوی روی در شکل غیر قابل دسترس برای گیاه هستند. از طرفی شوری خاک یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در جهان است. تاثیر شوری بر شکلهای روی و زیست‌فراهمی آن در خاک متفاوت بوده است. در این مطالعه، به منظور بررسی اثر دوده کربن و مخلوط باکتریایی بر توزیع شکلهای شیمیایی روی تحت تنش شوری، آزمایشی گلدانی با چهار تکرار به صورت فاکتوریل با سه فاکتور شامل شوری در سه سطح (۲، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و دوده کربن در دو سطح (۰، ۴ درصد وزنی) و مخلوط دو باکتری در دو سطح (مایه‌زنی وبدون مایه‌زنی) در قالب طرح پایه‌ی کاملا تصادفی در سال ۱۴۰۲ در گلخانه‌ای دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام گرفت. برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی از روش عصاره‌گیری متوالی استفاده شد. پس از پایان آزمایش کربن زیتوده میکروبی، فعالیت کاتالاز و تنفس خاک اندازه گیری شد. نتایج نشان داد کاربرد مخلوط دو باکتری و دوده کربن باعث افزایش معنی‌دار شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی، اکسید آهن و منگنز و آلی گردید. مایه‌زنی مخلوط باکتریایی و افزودن دوده کربن به خاک در سطح شوری ۲ دسی زیمنس بر متر باعث افزایش شکل محلول و قابل تبادل روی از ۱/۰۲ در خاک بدون اعمال تیمار به ۱/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم شد که معادل ۳۵ درصد افزایش بود. مایه‌زنی مخلوط باکتریها و افزودن دوده کربن به خاک موجب افزایش تمام شکل‌های روی بجز شکل باقیمانده شد. با افزایش سطح شوری مقدار شکل‌های محلول و تبادلی،کربناتی و اکسیدی افزایش و شکل آلی کاهش یافت. بیشترین مقدار کربن زیتوده میکروبی، فعالیت کاتالاز و تنفس میکروبی خاک در تیمار دارای باکتری، دوده کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با مقادیر $mgCmic100g^{-1}$ ۱۹/۹ ، $mLKMnO_4g^{-1}h^{-1}$ ۰/۹۵ و $mgCO_2100g^{-}$ $^{1}day^{-1}$ ۷۰/۲ اندازه‌گیری شد. همبستگی مثبت بین تنفس خاک و تمام شکل‌های روی به جز شکل باقیمانده وجود داشت، اما همبستگی بین

تنفس خاک و شکل باقیمانده روی منفی بود که نشان دهنده تاثیر فعالیت میکروبی بر شکل‌های مختلف روی است.

مقدمه

روی یکی از عناصرغذایی ضروری است که گیاه برای انجام فعالیت زایشی و فیزیولوژیکی به مقدار کم به آن نیاز دارد. کمبود روی منجر به کاهش شدید عملکرد و در موارد حاد مرگ گیاه می‌شود (۳۱).

روی می‌تواند به اشکال مختلفی، عمدتاً به صورت یون‌های آزاد Zn^{2+} و $ZnOH^{+}$ و یا به صورت کمپلکس شده با مواد آلی در خاک وجود داشته باشد. شکل دو ظرفیتی روی در pH خنثی (زیر ۷/۷)، شکل $ZnOH^{+}$ در pH ۷/۷-۹/۱ و $Zn(OH)_2$ در pH بالاتر وجود دارد (۳۹). روی همچنین در بخش کلوئیدی خاک همراه با ترکیبات هیومیک، اکسیدهای هیدراته آهن و آلومینیوم یا به عنوان جزءی از کانی‌های ثانویه و ترکیبات نامحلول وجود دارد. رایجترین اشکال روی که در بخش کلوئیدی یافت می‌شوند $ZnSO_4$ و $ZnHPO_4$ هستند (۱۱و ۳۹).

مقدارکل روی در خاک‌ها بین ۱۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (۴۵). اگرچه میزان کل روی در خاک ممکن است بالا باشد؛ اما کمبود روی قابل استفاده محتمل است. روی در خاک به چندین شکل شیمیایی شامل محلول در آب، قابل تبادل، جذب شده، کلاته یا کمپلکس شده وجود دارد که از نظر حلالیت و زیست‌فراهمی برای گیاهان متفاوت هستند. تعادل بین اشکال مختلف تحت تأثیر pH، غلظت روی و سایر کاتیونها، به ویژه آهن و منگنز قرار می‌گیرد. از میان انواع شیمیایی روی، شکلهای محلول و تبادلی بیشترین تحرک و قابلیت جذب توسط گیاهان را دارند(۴۵). بسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، شکل‌های کربناتی و پیوسته به اکسیدهای آهن و منگنز می‌توانند تحت شرایط خاصی از خاک آزاد شوند و پتانسیل جذب توسط گیاهان را دارند. در حالی که شکل متصل به مواد آلی و بویژه شکل باقیمانده که در شبکه‌های بلورین کانی‌های خاک قرار دارد، بسیار غیرفعال به نظر می‌رسد و نه به راحتی در محیط آزاد و نه به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شوند (۶).

عوامل خاکی که بر زیست‌فراهمی روی برای گیاهان تأثیر می‌گذارند، عواملی هستند که مقدار روی در محلول خاک و جذب-واجذب آن از/به محلول خاک را کنترل می‌کنند. این عوامل شامل: محتوای کل روی، مقدار رس، مقدار کربنات کلسیم، شرایط اکسایش-کاهش، فعالیت میکروبی در ریزوسفر، وضعیت رطوبت خاک، غلظت عناصر کمیاب دیگر، غلظت عناصر پرنیاز به ویژه فسفر و اقلیم می‌باشند (۳).

از دلایل اصلی کمبود روی در خاک‌های ایران: خاکهای آهکی با pH بالا (عمدتا با بیش از ۳۰ درصد آهک، با pH ۸-۸/۵)، مصرف زیاد کودهای فسفره، مقادیر بالای بی‌کربنات در آب آبیاری، و عدم مصرف کودهای دارای روی گزارش شده است (۴۰). در خاک‌های آهکی زیست‌فراهمی روی تحت تاثیر pH خاک، کانی های معدنی ، نوع و مقدار آنیون‌ها در محلول خاک قرار دارد (۵۰). مطالعه پیشین نشان داده است که در خاک ایران روی عمدتا در بخش باقیمانده و متصل به کربناتها توزیع شده است (۵۷).

شوری یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در جهان است. این تنش غیرزنده به طور قابل توجهی تولیدات کشاورزی را کاهش داده و بحران‌های غذایی ایجاد می‌کند(۲۸و ۴۱). شوری معمولاً در خاکهای کشاورزی آبی، به ویژه در مناطق با بارندگی کم و تبخیر و تعرق بالا، مشاهده می‌شود. مدیریت نادرست آبیاری و روشهای ضعیف کشاورزی از علل اصلی شوری خاک هستند (۲۸). تاثیر شوری بر شکلهای روی و زیست‌فراهمی آن در خاک متفاوت بوده است. به عنوان

مثال، آکوستا و همکاران[1] (۲۰۱۱) و شومان و همکاران[2] (۱۹۸۶) گزارش دادند که افزایش شوری بر جذب روی در خاکهای معتدل تأثیر نمی‌گذارد؛ در حالی که لینده و همکاران (۲۰۰۷) و چو و همکاران[3] (۲۰۱۵) گزارش کردند که جذب روی با افزایش شوری کاهش می‌یابد.

پس از استفاده از کودهای محلول روی در خاکهای آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک، ۹۶ تا ۹۹ درصد از روی محلول و قابل استفاده به شکلهای غیرقابل استفاده تبدیل می‌شود(۴۳). تغییر شکل روی در خاکهای آهکی نسبت به خاکهای اسیدی یا خنثی پیچیده‌تراست (۵۴).

مواد آلی نقش کلیدی در تنظیم زیست‌فراهمی روی در خاک دارند. این مواد با گذشت زمان روی را آزاد کرده و از طریق تغییرات در خواص فیزیکوشیمیایی خاک، زیست‌فراهمی آن را برای ریشه‌ها افزایش می‌دهند(۱۰). کلمنته و همکاران[4] (۲۰۱۰) دریافتند که روی قابل استخراج با افزایش محتوای کربن آلی در خاک افزایش می‌یابد (۱۴). مواد آلی باعث افزایش حلالیت روی در خاک می‌شود. مواد آلی اضافه شده به خاک روی را به محلول خاک آزاد می‌کنند که این امر به روی اجازه می‌دهد تا با سایر اجزای خاک کمپلکس شود و در نتیجه حلالیت آن تغییر کند (۱۲). با این حال، اگر مقدار مواد آلی در خاک بیش از حد بالا باشد، مانند خاکهای پیت و مردابی، این امر می‌تواند به کاهش زیست‌فراهمی روی منجر شود؛ زیرا روی به بخش جامد مواد هیومیک متصل می‌شود (۱۷).

دوده کربن به عنوان اصلاح کننده آلی دارای سطح جذب زیادی است، ویژگی‌های شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد و با تقویت فعالیت‌های زیستی و میکروبی باعث بهبود کیفیت خاک می‌گردد (۹).

جوامع میکروبی ریزوسفری بر زیست‌فراهمی روی تاثیرگذار هستند. به باکتری‌های ریزوسفری یا همزیست گیاه که قادرند به طور مستقیم یا غیرمستقیم با یک یا چند مکانیسم، رشد و نمو گیاه را بهبود بخشند، باکتری-های محرک رشد گیاه گفته می‌شود. باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند رشد گیاه را مستقیماً با تولید فیتوهورمون‌ها، تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات، تولید سیدروفور، تسهیل جذب مواد مغذی از خاک و به طور غیرمستقیم با کنترل زیستی عوامل بیماریزا بهبود - بخشند(۳۵).

باکتریهای حل‌کننده روی[5] می‌توانند روی غیرقابل استفاده را به شکل قابل استفاده تبدیل کنند(۴۳). نقش اصلی این باکتری‌ها در انحلال روی، کاهش pH از طریق تولید اسیدهای آلی یا معدنی، انحلال روی و به دنبال آن افزایش زیست فراهمی این عنصر است(۴۲).

با توجه به تاثیر شوری بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک، هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر دوده کربن و باکتریهای انحلال کننده روی بر شکل‌های شیمیایی روی و برخی ویژگی‌های زیستی خاک تحت سطوح مختلف شوری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲در گلخانه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، واقع در ملاثانی (۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز) انجام گردید. نمونه خاک به صورت مرکب (۳۰-۰ سانتی‌متری خاک) تهیه شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری، pH عصاره اشباع با استفاده از pH سنج، شوری با استفاده از دستگاه شوری‌سنج، پتاسیم محلول به روش فلیم فتومتری، مقدار فسفر خاک به روش اولسن (۳۴)، روی کل به روش هضم با اسید نیتریک (۳۰) و روی قابل تبادل

1- Acosta *et al.*
2- Shuman *et al.*
3- Chu *et al.*
4- Clemente *et al.*
5- Zinc Bacteria Solubilization

به روش عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شد (۲۶). خاک مورد استفاده دارای بافت لومی، با pH معادل ۷/۳، هدایت الکتریکی dSm^{-1} ۸ ، آهک ۳۷ درصد، پتاسیم ۱۶۲ میلی‌گرم برکیلوگرم، فسفر ۲۹ میلی‌گرم برکیلوگرم، مقدار روی کل و قابل استخراج با DTPA به ترتیب ۶۸/۵ و ۱/۱ میلی‌گرم برکیلوگرم بود.

برای رسیدن به سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، خاک تحت آبشویی قرار گرفت. دوده کربن از شرکت کربن ایران تهیه شد که دارای سطح ویژه ۱۱۵-۱۰۰ مترمربع در گرم و مقدار pH در عصاره ۱:۵ معادل ۸/۵ بود. باکتری‌های مورد استفاده شامل *Enterobacter cloacae* و *Bacillus* sp. به ترتیب با کد دسترسی KX262849 و OR816114 از کلکسیون میکروبی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شدند. از کشت شبانه باکتری با کدورت معادل نیم‌مک‌فارلند ($۱/۵\times۱۰^{۹}CFU/ml$) به منظور مایه‌زنی به خاک استفاده شد. برای تامین عناصر نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه کوددهی بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های کودی برای گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۳ انجام شد. دوده کربن به میزان صفر و چهار درصد وزنی با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی ۱۰ عدد بذر ذرت کشت شد که پس از اطمینان از جوانه-زنی به ۶ گیاه در گلدان کاهش یافت.آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی با آب مقطر انجام گرفت. پس از گذشت سه ماه از کشت، نمونه خاک از گلدان‌ها تهیه و پس از جدا نمودن ریشه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت تعیین شکل‌های شیمیایی روی به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی در خاک از روش تسیر و همکاران[1] (۴۹) استفاده شد. در این روش ۵ جزء محلول و تبادلی، کربناته، اکسیدهای آهن و منگنز، آلی و باقیمانده تعیین گردید. در نهایت غلظت روی در عصاره‌های بدست آمده از مراحل مختلف عصاره‌گیری پی‌درپی خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Contr AA300) قرائت شد.

دقت روش عصاره‌گیری پی‌درپی در استخراج کامل شکل‌های روی در خاک با محاسبه درصد بازیابی تعیین گردید. درصد بازیابی شکل‌های روی از نسبت مجموع غلظت روی در شکل‌های مختلف اجزاء خاک (محلول و تبادلی، کربناته، اکسیدی، آلی و باقیمانده) به مقدار کل عنصر عصاره‌گیری شده ضرب در ۱۰۰ محاسبه شد (۴۷). برخی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در انتهای آزمایش اندازه‌گیری شد. جهت اندازه گیری مقدار تنفس پایه از روش تیتراسیون استفاده شد (۴). بشر حاوی ۲۵ میلی‌لیتر سود ۰/۲۵ نرمال درون ظرف حاوی ۲۵ گرم خاک ریزوسفری قرار داده شد، سپس درب ظرف را بسته و به مدت ۲ روز در دمای اتاق نگهداری شد. پس از آن به بشر حاوی سود چند قطره کلرید باریم ۰/۵ نرمال وچند قطره فنل فتالئین اضافه گردید، سپس با استفاده از محلول اسید کلریدریک ۰/۳ نرمال تیتراسیون انجام شد. میزان تنفس پایه برحسب میلی‌گرم دی اکسیدکربن متصاعد شده از خاک در واحد روز محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری مقدار کربن زیتوده میکروبی از روش تدخین–استخراج استفاده شد (۳۲). بدین ترتیب که پس از تدخین خاک با کلروفرم با سولفات پتاسیم ۰/۵ مولار به نسبت ۵ قسمت عصاره‌گیر به یک قسمت خاک اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شدند. این روش برای خاک تدخین نشده از هر نمونه نیز انجام شد. سپس مقدار کربن آلی محلول در عصاره نمونه‌های تدخین شده و تدخین نشده به‌روش اکسیداسیون تر و به وسیله تیتراسیون با فروسولفات آمونیوم اندازه‌گیری شد. کربن زیست توده میکروبی از اختلاف مقادیر کربن آلی محلول خاک در نمونه‌های تدخین شده و تدخین نشده و با در نظر گرفتن ضریب ۰/۴۵ به‌عنوان راندمان تجزیه کربن زیست‌توده میکروبی، برحسب میلی‌گرم کربن در صدگرم خاک محاسبه شد.

1- Tessier *et al.*

فعالیت آنزیم کاتالاز با روش تیتراسیون استفاده شد (۲۱). بدین ترتیب که به ۵ گرم خاک مقدار ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۵ میلی‌لیتر محلول آب اکسیژنه ۰/۳ درصد اضافه شد. سوسپانسیون به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس برای متوقف کردن واکنش‌ها، بلافاصله ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۱/۵ نرمال به هر نمونه اضافه شد. نمونه‌ها صاف و با محلول پرمنگنات پتاسیم ۰/۰۵ مولار تا زمانی که محلول به رنگ صورتی ملایم درآید تیتر شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار شامل شوری (۲، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و دوده کربن (۰، ۴ درصد وزنی) و مخلوط دو باکتری (مایه‌زنی و بدون مایه‌زنی) با نرم‌افزار استاتیستیک ۸/۱ انجام و میانگین‌ها با آزمون توکی مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر شکل‌های شیمیایی روی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) بر شکل‌های شیمیایی روی در خاک نشان داد که اثر متقابل دوده کربن، باکتری و شوری در سطح احتمال یک درصد بر شکل‌های شیمیایی روی در بخش تبادلی، کربناته، بخش اکسید آهن-منگنز و بخش متصل به مواد آلی و در سطح پنج درصد بر بخش باقیمانده معنی‌دار بود.

بیشترین مقدار روی محلول و تبادلی در تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار ۱/۴۸ میلی‌گرم برکیلوگرم اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون باکتری و سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر ۱۲/۱۲ درصد افزایش نشان داد (جدول۲). بیشترین اثر تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که باعث افزایش ۳۰ درصدی روی نسبت به تیمار شاهد در این سطح از شوری شد. تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر باعث افزایش ۲۶ درصدی روی نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش سطح شوری مقدار روی در این بخش افزایش نشان داد. در سطوح مختلف شوری، استفاده از باکتری باعث افزایش میزان روی محلول و تبادلی شد. غلظت‌های بالای نمک‌ها ممکن است رفتار شیمیایی فلزات را در خاک تغییر دهند و باعث افزایش یا کاهش زیست‌فراهمی آنها شوند (۸).

تحقیقات زیادی در مورد تأثیر شوری خاک بر تحرک فلزات ریزمغذی انجام نشده است. شوری به تغییر قدرت یونی محلول خاک معروف است؛ اما اطلاعات کمی در مورد تأثیر آن بر غلظت ریزمغذی‌های قابل دسترس برای گیاهان موجود است (۷).

افزایش تحرک روی، سرب و مس تحت تاثیر شوری ممکن است به تشکیل کمپلکس‌های کلرید محلول و پایدار نسبت داده شود. به دلیل حلالیت و تحرک بالای یونهای کلرید در خاک، یکی از عوامل تأثیرگذار بر حلالیت و تثبیت فلزات کمیاب در خاک، تشکیل کمپلکس با لیگاندهای معدنی مانند کلر است. کمپلکسهای کلریدی اغلب نسبت به کاتیونهای فلزی آزاد تحرک بیشتری دارند (۷ و۱۸). تشکیل کمپلکس‌ها همچنین می‌تواند منجر به افزایش جذب فلزات از طریق انتشار سریعتر به ریشه‌ها و جذب بیشتر شود. چنین کمپلکس‌هایی بار مثبت کمتری نسبت به یونهای فلزی آزاد دارند یا ممکن است بدون بار باشند، بنابراین تحرک بیشتری دارند (۷).

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر تحرک فلزات در خاک، قدرت یونی بالای محلول خاک است. با افزایش شوری قدرت یونی محلول خاک افزایش می‌یابد. افزایش غلظت اشکال قابل دسترس فلز که به دنبال افزایش قدرت یونی ناشی از شوری بالای خاک رخ می‌دهد، می‌تواند به دلیل رقابت کاتیونها برای مکانهای تبادل خاک به دلیل افزایش محتوای کاتیونی خاک، کاهش فعالیت اولیه کاتیونهای فلزی در محلول، تشکیل جفت‌های یونی بدون بار و کمپلکس شدن با لیگاندهای آنیونی موجود در محلول خاک باشد (۷).

باکتریهای حل‌کننده روی با مکانیسم‌های مختلفی موجب افزایش انحلال روی نامحلول می‌شوند، از جمله تولید اسیدهای آلی وسیدروفورها (۱۹و ۵۱).

در آزمایشی جدایه‌های *Bacillus* انحلال‌کننده روی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌دی‌هیدروژناز، بتاگلوکوزیداز، ترشح اسیدهای‌آلی، تولید اکسین، افزایش فعالیت میکروبی و کاهش pH ریزوسفر توانستند روی قابل تبادل در خاک تحت کشت گندم و سویا و همچنین غلظت روی در دانه-گندم را افزایش دهند (۳۶). استفاده از باکتریهای محرک رشد در کشت توت‌فرنگی موجب افزایش محتوای پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و منگنز در خاک شد. علاوه بر این، ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمارها به طور قابل توجهی نسبت به قبل از کاشت افزایش یافت. افزایش دسترسی به محتوای معدنی در خاکها در طول کشت را می‌توان به افزایش معدنی شدن کمپلکس آلی و تولید اسیدهای آلی توسط گیاهان و باکتریها در ریزوسفر نسبت داد (۱۶). استفاده از دوده کربن به عنوان اصلاح کننده آلی با افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک و تغییر در زیست‌فراهمی عناصر ریزمغذی، امکان جذب این عناصر را توسط گیاه بهبود می بخشد (۹).

بیشترین مقدار روی پیوند شده با کربنات‌ها در تیمار دارای باکتری، دود کربن و در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۲/۶۲ میلی‌گرم برکیلوگرم اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون باکتری ، بدون کربن و در سطح شوری دسی‌زیمنس بر متر ۱۰/۰۸ درصد افزایش نشان داد (جدول۲).

جدول (۱) تجزیه واریانس اثر دوده کربن و مایه‌زنی مخلوط دو باکتری به خاک بر شکل‌های مختلف روی در سطوح مختلف شوری.

Table (1) Analysis of variance of the effect of carbon black and inoculation of a mixture of two bacteria into the soil on different forms of zinc at various salinity levels.

RES-Zn باقیمانده	ORG-Zn آلی	FeMnOX-Zn متصل به اکسیدهای آهن و منگنز	CAR-Zn کربناتی	EXCH- Zn محلول و تبادلی	df درجه آزادی	Source of variation
4.11^{**}	2.45^{**}	0.2^{*}	0.22^{**}	0.15^{**}	1	دوده کربن Carbon Black
28.5^{**}	0.76^{**}	0.52^{**}	0.54^{**}	0.30^{**}	1	مایه زنی میکروبی Microbial inoculation
10.7^{**}	0.38^{**}	0.20^{**}	0.21^{**}	0.126^{**}	2	شوری Salinity
2.58^{**}	0.02^{**}	0.002^{ns}	0.003^{*}	0.0003^{ns}	1	دوده کربن × مایه‌زنی Carbon Black×Inoculation
0.04^{*}	0.008^{**}	0.006^{**}	0.004^{**}	0.009^{**}	2	دوده کربن × شوری Carbon Black×Salinity
0.22^{**}	0.006^{**}	0.017^{**}	0.014^{**}	0.011^{**}	2	مایه زنی × شوری Inoculation×Salinity
0.039^{*}	0.006^{**}	0.003^{**}	0.005^{**}	0.002^{**}	2	دوده کربن × مایه زنی × شوری Carbon Black× Inoculation× Salinity
0.01	0.0005	0.0006	0.0006	0.0003	36	خطا Error
1.18	1.45	0.7	1.05	1.43		ضریب تغییرات CV

EXCH- Zn: exchangeable Zn, CAR-Zn: Carbonate bound Zn, ORG-Zn: organic bound Zn FeMnOX-Zn: iron and manganese oxide bound Zn, RES-Zn: residual Zn.

جدول (۲) مقایسه میانگین اثر دوده کربن و مایه‌زنی مخلوط دو باکتری به خاک بر شکل‌های مختلف روی در سطوح مختلف شوری.

Table (2) Mean comparison of the effect of carbon black and inoculation of a mixture of two bacteria on different forms of zinc in soil at various salinity levels.

	Without Caron بدون کربن		With Carbon با کربن	
Salinity ($dS\ m^{-1}$) شوری	without bacteria بدون باکتری	with bacteria با باکتری	without bacteria بدون باکتری	with bacteria با باکتری
EXCH- Zn ($mg\ Kg^{-1}$) روی محلول و تبادلی				
2	1.02^{j}	1.25^{g}	1.20^{d}	1.38^{cd}
5	1.15^{i}	1.33^{e}	1.29^{f}	1.45^{b}
8	1.32^{e}	1.40^{c}	1.36^{d}	1.48^{a}
CAR-Zn ($mg\ Kg^{-1}$) روی متصل به کربناتها				
2	2.02^{i}	2.30^{g}	2.20^{h}	2.45^{cd}
5	2.18^{h}	2.40^{ef}	2.32^{g}	2.55^{b}
8	2.38^{f}	2.47^{c}	2.42^{de}	2.62^{a}
ORG-Zn ($mg\ Kg^{-1}$) روی متصل به مواد آلی				
2	1.30^{h}	1.60^{e}	1.80^{c}	2.10^{a}
5	1.22^{i}	1.38^{j}	1.60^{e}	1.9^{b}
8	1.10^{j}	1.27^{h}	1.45^{f}	1.74^{d}
FeMnOX-Zn ($mg\ Kg^{-1}$) روی متصل به اکسیدهای آهن و منگنز				
2	3.12^{i}	3.40^{g}	3.3^{h}	3.55^{cd}
5	3.28^{h}	3.50^{ef}	3.41^{g}	3.65^{b}
8	3.48^{f}	3.57^{c}	3.52^{de}	3.70^{a}
RES-Zn ($mg\ Kg^{-1}$) روی باقیمانده				
2	60.42^{a}	58.10^{d}	59.20^{b}	57.90^{d}
5	59.20^{b}	57.20^{g}	58.17^{d}	57.10^{g}
8	58.40^{c}	56.70^{h}	57.50^{f}	56.50^{i}

توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. اعداد با حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون

Numbers followed by same letters in each column are not significantly different according to the Tukey's HSD test at 5% probability level. EXCH- Zn: exchangeable Zn, CAR-Zn: Carbonate bound Zn, ORG-Zn: organic bound Zn FeMnOX-Zn: iron and manganese oxide bound Zn, RES-Zn: residual Zn.

اثر متقابل تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث افزایش ۲۲/۲ درصدی و ۱۶/۹ درصدی روی نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش سطح شوری مقدار روی پیوند شده با کربنات‌ها افزایش نشان داد و استفاده از باکتری باعث افزایش میزان این شکل از روی شد. شوری باعث افزایش شکل کربناتی روی می‌شود (۲۲). گزارش شده است که استفاده از باکتری‌های محرک رشد در خاک با تبدیل شکل‌های با زیست‌فراهمی کمتر به شکل‌های قابل دسترس در خاک آهکی، موجب فراهم شدن شرایط برای رسوب روی در شکل کربناتی و افزایش شکل کربناتی روی است (۸ و ۵۳). بیشترین مقدار روی پیوند شده با اکسیدها در تیمار دارای باکتری، دوده کربن و در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مقدار ۳/۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون باکتری ، بدون کربن و در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر ۶/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول۲). تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش ۱۳/۷ درصدی روی و در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر باعث افزایش ۱۱/۲ درصدی روی نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش سطح شوری مقدار روی پیوند شده با اکسیدها افزایش نشان داد. گزارش شده است که استفاده از باکتری محرک رشد(۵۳) و افزایش سطح شوری باعث افزایش اکسید روی می‌شود (۸). استفاده از

باکتری و دوده کربن باعث افزایش شکل اکسیدی روی شدند. براساس نتیجه به دست آمده دوده کربن و باکتری باعث افزایش روی به شکل آلی شد و دوده کربن تأثیر بیشتری را نسبت به باکتری نشان داد. بیشترین مقدار روی متصل به ماده آلی در تیمار دارای باکتری، دوده کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر مقدار ۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون دوده کربن و باکتری ۶۱ درصد افزایش نشان داد (جدول۲). با افزایش سطح شوری مقدار روی متصل شده با ماده آلی کاهش نشان داد. ماده‌آلی در خاک مکان‌هایی را برای جذب سطحی روی فراهم و به مرور زمان به محلول خاک آزاد می‌کند. گروه‌های عاملی با تشکیل کمپلکس می‌توانند غلظت روی را در محلول خاک افزایش دهند (۲۰). اصلاح‌کننده‌های آلی با ایجاد لیگاندهایی که توانایی کلات کردن فلزات را دارند، باعث افزایش انحلال فلزات می‌شوند و همچنین با کمپلکس شدن با فلزات (به صورت کمپلکس‌های محلول) مانع جدب فلز توسط قسمت‌های باقیمانده خاک می‌گردند (۲۹). نمکهای محلول پتانسیل اسمزی آب خاک را افزایش می‌دهند (بیشتر منفی می‌شود)، آب را از سلولها خارج می‌کنند که ممکن است از طریق پلاسمولیز میکروبها و ریشه‌ها را از بین ببرد. گیاهان و میکروب‌ها می‌توانند با تجمع اسمولیت‌ها به پتانسیل اسمزی پایین سازگار شوند، اما سنتز اسمولیت‌ها نیاز به مقادیر زیادی انرژی دارد و این منجر به کاهش رشد و فعالیت می‌شود (۵۲). در نتیجه میزان کربن آلی محلول خاک و شکل روی متصل به مواد آلی کاهش می‌یابد (۸). مواد آلی خاک می‌توانند کمپلکس‌های نامحلول با ریزمغذی‌ها تشکیل دهند و در نتیجه آنها را غیرمتحرک کنند. در عین حال، مواد آلی خاک می‌تواند عناصر ریزمغذی را حل کرده و زیست-فراهمی آنها را افزایش دهند. بنابراین، مواد آلی می‌تواند نقش‌های دوگانه‌ای در خاک در رابطه با زیست‌فراهمی ریزمغذی‌ها ایفا کنند (۲۴). کمترین مقدار روی باقیمانده در تیمار دارای باکتری، دوده کربن و درسطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، ۵۶/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون دوده کربن و باکتری ۳/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول۲). بیشترین اثر تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که باعث کاهش ۴/۱ درصدی روی نسبت به تیمار شاهد در این سطح از شوری شد. تیمار دارای باکتری، دوده کربن در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش ۳/۶ درصدی روی نسبت به تیمار شاهد شد. بر اساس نتایج به دست آمده استفاده از دوده کربن و باکتری باعث کاهش روی باقیمانده شد. با افزایش سطوح شوری این بخش از روی کاهش یافت. احتمالا این بخش از روی به صورت روی متصل به کربنات‌ها تبدیل شده است. در اثر فعالیت میکروبی و تغییر pH خاک، روی از شکل باقیمانده به شکلهای قابل استفاده‌تر تبدیل شده است (۴۸).

اعتبارسنجی نتایج جزءبندی شیمیایی

درصد بازیابی عنصر روی از ۹۴ تا ۱۰۶/۳۱ درصد با متوسط ۱۰۰/۹۸ درصد محاسبه گردید. همبستگی نسبتاً بالایی (**۰/۹۴) بین مجموع غلظت روی درشکل‌های مختلف اجزاء خاک با مقدار کل روی خاک بدست آمد. مقدار متوسط بازیابی روی توسط نوروزی و همکاران[1] (۲۰۱۴) در خاک‌های تیمار شده با گیاهان پیش‌کاشت را ۹۱/۸ تا ۱۱۴/۸ درصد گزارش نمودند(۳۳).

تاثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های زیستی خاک

اثر متقابل باکتری، دوده کربن و شوری بر فعالیت آنزیم کاتالاز، کربن زیتوده میکروبی و تنفس خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

1- Norouzi *et al.*

جدول(۳)تجزیه واریانس اثر دوده کربن و مایه‌زنی مخلوط دو باکتری به خاک بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک در سطوح مختلف شوری.

Table (3) Analysis of variance of the effect of carbon black and inoculation of a mixture of two bacteria into the soil on some biological properties of soil at various salinity levels.

Respiration تنفس	Catalase activity فعالیت کاتالاز	Microbial biomass carbon کربن زیتوده میکروبی	df	Source of variation
95.06^{**}	0.023^{**}	457.57^{**}	1	دوده کربن
289.34^{**}	0.23^{**}	5204.17^{**}	1	Carbon Black مایه زنی میکروبی
150.74^{**}	0.078^{**}	359.41^{**}	2	Microbial inoculation شوری
11.54^{ns}	0.002^{*}	7.52^{ns}	1	Salinity دوده کربن × مایه‌زنی
0.86^{ns}	0.0008^{ns}	5.88^{ns}	2	Carbon Black×Inoculation دوده کربن × شوری
6.48^{ns}	0.019^{**}	7.70^{*}	2	Carbon Black×Salinity مایه زنی × شوری
12.33^{*}	0.004^{**}	51.52^{*}	2	Inoculation×Salinity دوده کربن × مایه زنی × شوری
3.77	0.004	0.67	36	Carbon Black× [noculation× Salinity خطا Error
17.43	3.02	8.10		ضریب تغییرات CV

بیشترین فعالیت کاتالاز در تیمار دارای باکتری، دود کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون باکتری، بدون کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر ۳۹/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱). فعالیت کاتالاز در تیمار دارای باکتری و دوده کربن در سطح شوری ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر به ترتیب افزایش ۱۹/۱ و ۲۴ درصدی کاتالاز نسبت به تیمار شاهد داشت. با افزایش سطح شوری فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش نشان داد. فعالیت کاتالاز خاک، که نشان‌دهنده پاسخ تنش اکسیداتیو میکروبی است، می‌تواند به طور قابل توجهی تحت تأثیر شوری قرار گیرد. در شرایط شور رشد میکروبی و تولید آنزیم مهار می‌شود (۱۵). در این پژوهش استفاده از دوده کربن و باکتری باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد. در خاکهای دارای مواد آلی تحمل ریزجانداران به شوری خاک افزایش یافته و فعالیت کاتالاز بهبود می‌یابد (۱۵).

بیشترین مقدار کربن زیتوده میکروبی در تیمار دارای باکتری، دوده کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون باکتری، بدون کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر ۷۶/۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). با افزایش سطح شوری مقدار کربن زیتوده میکروبی کاهش نشان داد.

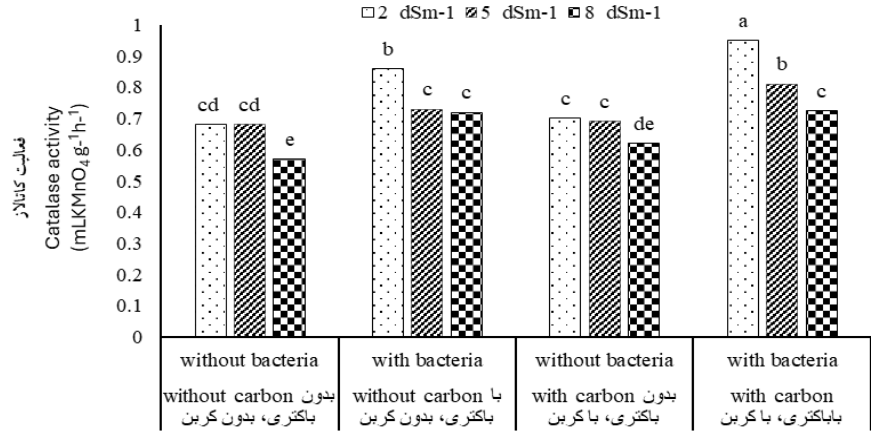
بیشترین مقدار تنفس خاک نیز در تیمار دارای باکتری، دوده کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار بدون باکتری، بدون کربن و در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر ۶۶/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که شوری فعالیت میکروبی، زیتوده میکروبی و ساختار جامعه میکروبی را کاهش می‌دهد (۳۸،۵، ۵۵). شوری زیتوده میکروبی را عمدتاً به دلیل تنش اسمزی که منجر به خشک شدن و لیز سلولها می‌شود، کاهش می‌دهد (۵۵).

از طرفی غلظت بالای یون‌ها در شرایط شور می‌تواند اثر سمی بر ریزجانداران خاک داشته باشد (۲۸). تنفس خاک با افزایش شوری خاک کاهش می‌یابد(۲، ۴۴ و ۵۶). افزودن کربن به خاک می‌تواند رشد میکروبی خاک و تولید

آنزیم‌های خارج سلولی را تحریک کند (۲۳). فعالیت‌های آنزیمی خاک با زیتوده میکروبی همبستگی مثبت دارد(۳۷). در پژوهش حاضر مشاهده شد مایه‌زنی دو باکتری موجب افزایش تنفس و کربن زیتوده میکروبی خاک شد و در حضور دوده کربن مقدار آن‌ها بیشتر بود.

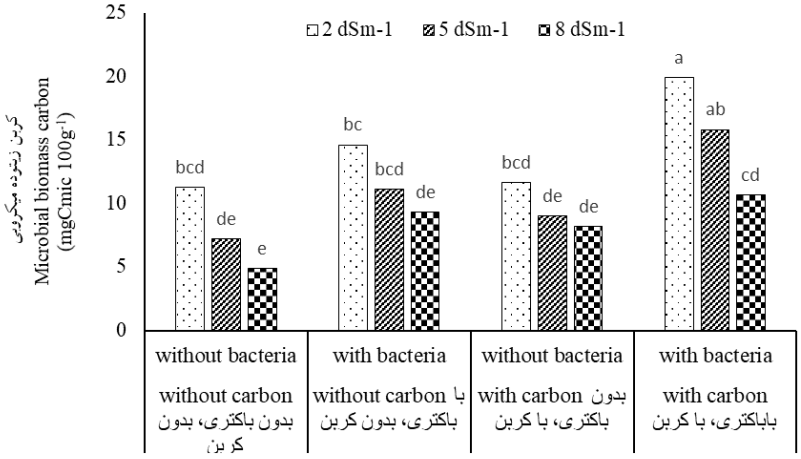
همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با شکل‌های مختلف روی

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴ همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن زیتوده میکروبی و فعالیت کاتالاز خاک با روی متصل به موادآلی وجود دارد. تنفس خاک با تمام شکل‌های روی بجز بخش باقیمانده همبستگی مثبتی داشت که نشان دهنده تاثیر فعالیت میکروبی با افزایش شکل‌های قابل دسترس روی است.



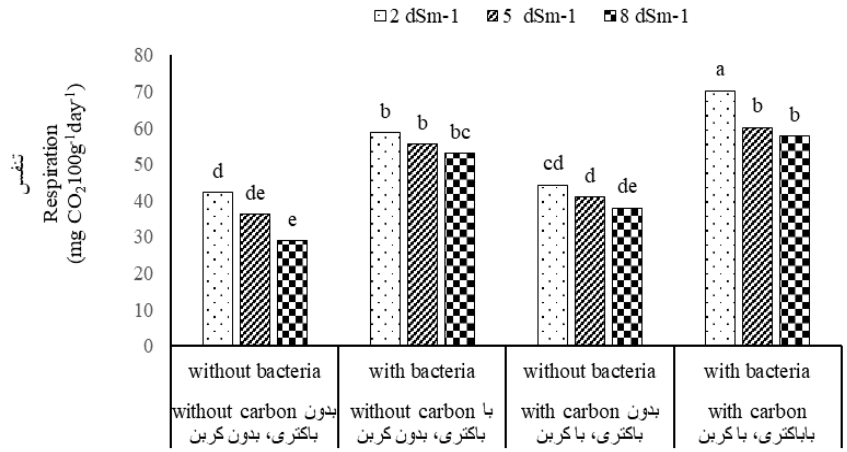
شکل (۱) تاثیر دوده کربن و مایه‌زنی مخلوط دو باکتری بر فعالیت کاتالاز خاک در سطوح مختلف شوری.

Figure (1) Effect of carbon black and inoculation of a mixture of two bacteria on soil catalase activity at various salinity levels.



شکل (۲) تاثیر دوده کربن و مایه‌زنی مخلوط دو باکتری بر کربن زیتوده میکروبی خاک در سطوح مختلف شوری.

Figure (2) Effect of carbon black and inoculation of a mixture of two bacteria on soil microbial biomass carbon at various salinity levels.



شکل (۳) تاثیر دوده کربن و مایه‌زنی مخلوط دو باکتری بر تنفس میکروبی خاک در سطوح مختلف شوری.
Figure (3) Effect of carbon black and inoculation of a mixture of two bacteria on soil microbial respiration at various salinity levels.

جدول (۴) همبستگی پیرسون شکل‌های مختلف روی با برخی ویژگی‌های خاک.
Table (4) Pearson correlation of different forms of zinc with some soil properties.

Zn's forms	کربن زیتوده میکروبی Microbial biomass carbon	تنفس خاک Soil respiration	فعالیت کاتالاز Catalase activity
EXCH- Zn محلول و تبادلی	0.1958^{ns}	0.4626^{**}	0.2381^{ns}
CAR-Zn متصل به کربناته	0.1852^{ns}	0.4789^{**}	0.2386^{ns}
FeMnOX-Zn متصل به اکسیدهای آهن و منگنز	0.1885^{ns}	0.4801^{**}	0.2452^{ns}
ORG-Zn متصل به مواد آلی	0.7654^{**}	0.7067^{**}	0.7403^{**}
RES-Zn باقیمانده	-0.1114^{ns}	-0.4675^{**}	-0.2085^{ns}

EXCH- Zn: exchangeable Zn, CAR-Zn: Carbonate bound Zn, ORG-Zn: organic bound Zn, RES-Zn: residual Zn, FeMnOX-Zn: iron and manganese oxide bound Zn.

نتیجه‌گیری

نتایج کاربرد مخلوط باکتریایی و دوده کربن در سطوح مختلف شوری بر توزیع شیمیایی روی، نشان داد که افزودن مخلوط باکتریایی و دوده کربن به خاک موجب کاهش pH خاک و افزایش روی به شکل‌های محلول و تبادلی، کربناتی، اکسید و آلی شد. با افزایش سطح شوری، مقدار روی پیوند شده با کربناتها و اکسیدها افزایش یافت. استفاده از دوده کربن و باکتری باعث کاهش روی باقیمانده شد و با افزایش سطوح شوری این بخش از روی کاهش یافت. نتایج همبستگی بین ویژگی‌های زیستی خاک و شکل‌های روی به ویژه بخش متصل به مواد آلی نشان دهنده تاثیر مخلوط باکتریایی و دوده کربن در سطوح مختلف شوری بر شکل‌های مختلف روی است.

سپاس گزاری

نویسندگان از دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین به دلیل فراهم آوردن امکانات انجام این پژوهش و دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌نمایند.

Reference

1. Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A. and Martínez-Martínez, S., 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemosphere, 85(8): 1318-1324. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.07.046

2. Adviento-Borbe, M.A.A., Doran, J.W., Drijber, R.A. and Dobermann, A., 2006. Soil electrical conductivity and water content affect nitrous oxide and carbon dioxide emissions in intensively managed soils. Journal of Environmental Quality, 35(6):1999-2010. doi.org/10.2134/jeq2006.0109

3. Alloway, B.J., 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association and International Fertilizer Association, 16.

4. Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration. In. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, ed. A.L. American Society of Agronomy, Madison Wisconsin, pp 831-871.

5. Andronov, E.E., Petrova, S.N., Pinaev, A.G., Pershina, E.V., Rakhimgalieva, S.Z., Akhmedenov, K.M., Gorobets, A.V. and Sergaliev, N.K., 2012. Analysis of the structure of microbial community in soils with different degrees of salinization using T-RFLP and real-time PCR techniques. Eurasian Soil Science, 45: 147-156. doi.org/10.1134/S1064229312020044

6. Barona, A. and Romero, F., 1997. Relationships among metals in the solid phase of soils and in wild plants. Water, Air, and Soil Pollution, 95: 59-74.

7. Bartkowiak, A., Dabkowska-Naskret, H., Jaworska, H. and Rydlewska, M., 2020. Effect of salinity on the mobility of trace metals in soils near a soda chemical factory. Journal of Elementology, 25(2). doi.org/10.5601/jelem.2019.24.2.1875

8. Boostani, H. R., Chorom, M., Moezzi, A. A., Karimian, N. A., Enayatizamir, N., and Zarei, M. 2016. The effect of application of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on the distribution of chemical forms of zinc in a calcareous soil with different salinity levels. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 6(1): 1-24. [In Persian] doi.org/10.22069/ejsms.2016.3001

9. Bozar V., Rang Zan N. and Nadian Qomsheh H. 2010. The effect of carbon black and hair waste on heavy metals uptake and some growth parameters of lettuce and spinach irrigated with metal contaminated water. Agricultural Engineering, 42(1): 61-80. [In Persian] doi.org/10.22055/agen.2019.27197.1452

10. Cakmak, I., 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 23(4): 281-289. doi.org/10.1016/j.jtemb.2009.05.002

11. Chahal, D.S., Sharma, B.D. and Singh, P.K., 2005. Distribution of forms of zinc and their association with soil properties and uptake in different soil orders in semi-arid soils of Punjab, India. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(19-20): 2857-2874. doi.org/10.1080/00103620500306031

12. Chen, Y., Cui, J., Tian, X., Zhao, A., Li, M., Wang, S., Li, X., Jia, Z. and Liu, K., 2017. Effect of straw amendment on soil Zn availability and ageing of exogenous water-soluble Zn applied to calcareous soil. PLoS One, 12(1), p.e0169776. doi.org/10.1371/journal.pone.0169776

13. Chu, B., Chen, X., Li, Q., Yang, Y., Mei, X., He, B., Li, H. and Tan, L., 2015. Effects of salinity on the transformation of heavy metals in tropical estuary wetland soil. Chemistry and Ecology, 31(2): 186-198. doi.org/10.1080/02757540.2014.917174

14. Clemente, R., Hartley, W., Riby, P., Dickinson, N.M. and Lepp, N.W., 2010. Trace element mobility in a contaminated soil two years after field-amendment with a greenwaste compost mulch. Environmental Pollution, 158(5):1644-1651. doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.006

15. Erdel, E. 2022. Effects of salinity and alkalinity on soil enzyme activities in soil aggregates of different sizes. Eurasian Soil Science, 55(6): 759-765.

16. Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M. and Gunes, A., (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Scientia Horticulturae, 124(1): 62-66. doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012

17. Hafeez, B.M.K.Y., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. American Journal of Experimental Agriculture, 3(2): 374-391. doi: 10.9734/AJEA/2013/2746.

18. Hanif, M., Bullen, J., Plancherel, Y., Kirby, M., Kirk, G. and Weiss, D., 2024. Significant effect of salinity on zinc adsorption on tropical coastal and floodplain soils. European Journal of Soil Science, 75(5), p.e13575. doi.org/10.1111/ejss.13575

19. Haroon, M., Khan, S.T. and Malik, A. 2022. Zinc-solubilizing bacteria: an option to increase zinc uptake by plants. Microbial Biofertilizers and Micronutrient Availability: The Role of Zinc in Agriculture and Human Health, pp.207-238. doi.org/10.1007/978-3-030-76609-2_11

20. Herencia, J. F., Ruiz, J. C., Morillo, E., Melero, S., Villaverde, J., and Maqueda, C. (2008). The effect of organic and mineral fertilization on micronutrient availability in soil. Soil Science, 173(1): 69-80. doi.org/10.3390/agronomy10101452

21. Johnson J.L., and Temple K.L. 1964. Some variables affecting the measurement of catalase activity in soil. Soil Science Society of America Journal, 28 (2): 207–209. doi.org/10.2136/sssaj1964.03615995002800020024x

22. Keshavarz, P., Malakouti, M.J., Karimian, N. and Fotovat, A., (2006). The effects of salinity on extractability and chemical fractions of zinc in selected calcareous soils of Iran. Journal of Agricultural Science and Technology, 8: 181-190.

23. Kuzyakov, Y., 2010. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. Soil Biology and Biochemistry, 42(9):1363-1371. doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003

24. Lakshmi, P.V., Singh, S.K., Pramanick, B., Kumar, M., Laik, R., Kumari, A., Shukla, A.K., Abdel Latef, A.A.H., Ali, O.M. and Hossain, A., 2021. Long-term zinc fertilization in calcareous soils improves wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity and soil zinc status in the rice–wheat cropping system. Agronomy, 11(7), p.1306. doi.org/10.3390/agronomy11071306

25. Linde, M., Öborn, I. and Gustafsson, J.P., 2007. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils. Water, Air, and Soil Pollution, 183: 69-83. doi.org/10.1007/s11270-007-9357-5

26. Linsday, W.L. and Norvell, W., (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 31: 421-428. doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

27. Macêdo, W.V., Sakamoto, I.K., Azevedo, E.B. and Damianovic, M.H.R., 2019. The effect of cations (Na^+, Mg^{2+}, and Ca^{2+}) on the activity and structure of nitrifying and denitrifying bacterial communities. Science of the Total Environment, 679: 279-287.10.1016/j.scitotenv.2019.04.397

28. Machado, R.M.A. and Serralheiro, R.P., 2017. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. Horticulturae, 3(2), p.30. doi.org/10.3390/horticulturae3020030

29. Madrid L. (1999). Metal retention and mobility as influenced by some organic residues added to soils: A case study. Pp. 201-223. Magdi Selim, H and K.Iskandar. I. Fate and Transport of Heavy Metals in the Vadose Zone. Lewis Publishers (Washington).

30. McGrath, S.P. and Cunliffe, C.H., 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. Journal of the Science of Food and Agriculture, 36(9): 794-798. doi.org/10.1002/jsfa.2740360906

31. Natasha, N., Shahid, M., Bibi, I., Iqbal, J., Khalid, S., Murtaza, B., Bakhat, H.F., Farooq, A.B.U., Amjad, M., Hammad, H.M. and Niazi, N.K., 2022. Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review. Science of the Total Environment, 808, p.152024. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152024

32. Nelson D.W. & L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Book Series, Number 5, Madison, WI: 961–1010.

33. Norouzi, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., and Afyuni, M. 2014. Zinc fractions in soil and uptake by wheat as affected by different preceding crops. Soil Science and Plant Nutrition, 60 (5): 670-678. doi.org/10.1080/00380768.2014.937674

34. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cric. 939. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

35. Ramakrishna, W., Yadav, R. and Li, K., 2019. Plant growth promoting bacteria in agriculture: two sides of a coin. Applied Soil Ecology, 138: 10-18. doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019

36. Ramesh, A., Sharma, S. K., Sharma, M. P., Yadav, N., and Joshi, O. P. 2014. Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. Applied Soil Ecology, 73: 87-96. doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.009

37. Ren, Y., Zhang, L., Yang, K., Li, Z., Yin, R., Tan, B., Wang, L., Liu, Y., Li, H., You, C. and Liu, S., 2020. Short-term effects of snow cover manipulation on soil bacterial diversity and community composition. Science of The Total Environment, 741, p.140454. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140454

38. Rousk, J., Elyaagubi, F.K., Jones, D.L. and Godbold, D.L., 2011. Bacterial salt tolerance is unrelated to soil salinity across an arid agroecosystem salinity gradient. Soil Biology and Biochemistry, 43(9):1881-1887. doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.007

39. Sadeghzadeh, B. and Rengel, Z., 2011. The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops. Hawkesford, M and Barraclough, P (Eds.), In The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops (pp. 335-375). John Wiley & Sons Ltd, Chichester West Sussex, UK. doi.org/10.1002/9780470960707

40. Saffari, M., Yasrebi, J., Karimian, N. and Shan XiaoQuan, S.X., 2009. Effect of calcium carbonate removal on the chemical forms of zinc in calcareous soils by three sequential extraction methods. Research Journal of Biological Science, 4(7): 858-865.

41. Salem EMM, Kenawey MKM, Saudy HS, Mubarak M (2021) Soil mulching and deficit irrigation effect on sustainability of nutrients availability and uptake, and productivity of maize grown in calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52:1745–1761. doi.org/10.1080/00103624.2021.1892733

42. Sarathambal, C., Thangaraju, M., Paulraj, C., and Gomathy, M. 2010. Assessing the Zinc solubilization ability of Gluconacetobacter diazotrophicus in maize rhizosphere using labelled 65 Zn compounds. Indian Journal of Microbiology, 50: 103-109. doi.org/10.1007/s12088-010-0066-1

43. Saravanan, V. S., Subramoniam, S. R., and Raj, S. A. 2003. Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacterial (zsb) isolates. Brazilian Journal of Microbiology, 35 (1-2): 121-125. doi.org/10.1590/S1517-83822004000100020

44. Setia, R., Marschner, P., Baldock, J. and Chittleborough, D., 2010. Is CO 2 evolution in saline soils affected by an osmotic effect and calcium carbonate? Biology and Fertility of Soils, 46, pp.781-792. doi.org/10.1007/s00374-010-0479-3

45. Sharma, A., Patni, B., Shankhdhar, D. and Shankhdhar, S.C., 2013. Zinc–an indispensable micronutrient. Physiology and Molecular Biology of Plants, 19:11-20. doi.org/10.1007/s12298-012-0139-1

46. Shuman, L.M., 1986. Effect of ionic strength and anions on zinc adsorption by two soils. Soil Science Society of America Journal, 50(6): 1438-1442. doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000060012x

47. 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, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46 (2): 260-264. doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600020009x

48. 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. Applied Soil Ecology, 49: 32-39. doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.05.009

49. Tessier, A.P.G.C., Campbell, P.C. and Bisson, M.J.A.C., (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry, 51(7): 844-851.

50. Thind, S.S., Takkar, P.N. and Bansal, R.L., 1990. Chemical pools of zinc and the critical deficiency level for predicting response of corn to zinc application in alluvium derived alkaline soils. Acta Agronomica Hungarica, 39: 219-226.

51. Upadhayay, V.K., Singh, A.V. and Khan, A. 2022. Cross talk between zinc-solubilizing bacteria and plants: A short tale of bacterial-assisted zinc biofortification. Frontiers in Soil Science, 1, p.788170. doi.org/10.3389/fsoil.2021.788170

52. Wichern, J., Wichern, F. and Joergensen, R.G., 2006. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. Geoderma, 137(1-2):100-108. doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.001

53. 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. Environmental Pollution, 144(3): 765-773. doi.org/10.1016/j.envpol.2006.02.022

54. Xiang, H.F., Tang, H.A. and Ying, Q.H., 1995. Transformation and distribution of forms of zinc in acid, neutral and calcareous soils of China. Geoderma, 66(1-2): 121-135. doi.org/10.1016/0016-7061(94)00067-K

55. Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C. and Qin, W., 2015. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. International Soil and Water Conservation Research, 3(4): 316-323. doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003

56. Yang, C., Lv, D., Jiang, S., Lin, H., Sun, J., Li, K. and Sun, J., 2021. Soil salinity regulation of soil microbial carbon metabolic function in the Yellow River Delta, China. Science of the Total Environment, 790, p.148258. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148258

57. Yasrebi, J., Karimian, N., Maftoun, M., Abtahi, A. and Sameni, A.M., 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 25(11-12): 2133-2145. doi.org/10.1080/00103629409369177