

کارایی باکتری‌های انحلال‌کننده روی بر جذب روی و برخی شاخص‌های رشدی گندم در گلخانه

بنفشه رضایی‌نیکو، نعیمه عنایتی‌ضمیر* و مجتبی نوروزی‌مصیر^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۹)

چکیده

روی یک عنصر ضروری برای گیاهان است. این عنصر در گیاه موجب بهبود رشد و عملکرد شده و در متابولیسم کربوهیدرات‌ها نقش دارد. کمبود روی در خاک‌ها و گیاهان زراعی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن خاک‌های زراعی، مصرف بی‌رویه کودهای فسفره و مصرف نامتعادل کودها محتمل است. در پژوهش حاضر تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده عنصر روی بر برخی ویژگی‌های گیاه گندم به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. تیمارهای آزمایش شامل باکتری در چهار سطح B_1 (شاهد)، B_2 (*Bacillus megaterium*)، B_3 (*Enterobacter cloacae*)، B_4 (ترکیب دو باکتری مذکور) و کود سولفات روی در سه سطح Zn (شاهد)، Zn_1 (۲۰ کیلوگرم بر هکتار) و Zn_2 (۴۰ کیلوگرم بر هکتار) بودند. طی دوره آزمایش ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره کشت مقدار روی تبادل‌ی خاک، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و مقدار روی در ریشه، ساقه و دانه اندازه‌گیری و عملکرد دانه و مقدار جذب روی در دانه نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد مقدار روی تبادل‌ی خاک با کاربرد هر یک از تیمارهای باکتری نسبت به تیمار شاهد، افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. بیشترین مقدار روی تبادل‌ی، عملکرد دانه، غلظت و جذب روی در دانه در تیمار دارای دو باکتری و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی و پس از آن در حضور *Enterobacter cloacae* با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی مشاهده شد. بیشینه تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در تیمار دارای دو باکتری *Enterobacter cloacae* و *Bacillus megaterium* نشان‌دهنده امکان استفاده از این باکتری‌ها در راستای غنی‌سازی روی در گندم، تولید بهینه محصول و کشاورزی پایدار است.

واژه‌های کلیدی: سولفات روی، عملکرد، کلروفیل، گندم

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: enayatzami@scu.ac.ir

مقدمه

کمبود روی در خاک‌ها و گیاهان زراعی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن خاک‌های زراعی، pH بالا، وجود بی‌کربنات فراوان در آب آبیاری، تنش خشکی و شوری فراوان، پایین بودن مواد آلی خاک، مصرف بی‌رویه کودهای فسفوره و استمرار خشکسالی و تداوم مصرف نامتعادل کودها محتمل است (۱۴). طبق گزارش ملکوتی (۱۴) بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زراعی ایران به درجه‌های مختلف کمبود روی دارند و این مشکل کاهش محصول را سبب می‌شود. روی غیرقابل استفاده برای گیاه را می‌توان با استفاده از باکتری‌های حل‌کننده روی به شکل قابل استفاده درآورد نقش اصلی این باکتری‌ها در انحلال روی با کاهش pH از طریق تولید اسیدهای آلی یا معدنی و به دنبال آن افزایش زیست‌فراهمی این عنصر است (۱۱). برخی از باکتری‌های حل‌کننده روی شامل *باسیلوس*، *گلوکونو/استوباکتر*، *استینوباکتر* و *سودوموناس* هستند (۳۱). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک دارند، این باکتری‌ها از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد (اکسین، سیتوکنین و جیبرلین)، افزایش رهاسازی عناصر غذایی، تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز، افزایش حلالیت فسفر، تثبیت نیتروژن اتمسفری، افزایش حلالیت آهن از طریق تولید سیدروفور و انحلال ترکیبات نامحلول روی موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند (۱۷). تأثیر *Bacillus aryabhatai* بر افزایش جذب عنصر روی در خاک تحت کشت گندم و سویا بر افزایش عملکرد گزارش شده است (۲۴). گوتنتی و همکاران (۸)، در آزمایش تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی بر افزایش جذب عناصر غذایی و رشد گیاه ذرت نشان دادند که *Pseudomonas spp.* و *Bacillus sp.* توانایی انحلال ترکیبات نامحلول روی سبب افزایش رشد گیاه ذرت می‌شوند. اقبال و همکاران (۱۱)، در آزمایش اثر باکتری‌های انحلال‌کننده فسفات روی، بر رشد گیاه ماش نشان دادند که چهار گروه باکتری‌ها از قبیل: *Neisseria*، *Staphylococcus*، *Escherichia coli* و *Bacillus sp.* دارای توانایی انحلال فسفات روی هستند. آنها به این نتیجه رسیدند

در میان محصولات غذایی، گندم (*Triticum aestivum L.*) یکی از مهم‌ترین غلاتی است که در ۵۰ درصد رژیم‌های تغذیه‌ای مصرف می‌شود و در بیشتر موارد در مناطقی که کمبود عناصر غذایی ریز مغذی وجود دارد کشت داده می‌شود (۳۳). این گیاه از لحاظ مصرف در بسیاری از مناطق دنیا در رتبه دوم بعد از برنج قرار دارد و غذای اصلی ۳۵ درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (۷). گندم از مهم‌ترین منابع تأمین روی و آهن در رژیم غذایی انسان‌ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است. در ایران این گیاه تأمین‌کننده بیش از ۴۵ درصد پروتئین و ۵۵ درصد از کالری مورد نیاز مردم کشور است که سالانه حدود ۶/۵ میلیون هکتار به کشت گندم اختصاص می‌یابد (۷). با توجه به اهمیت نان در رژیم غذایی مردم ایران از یک سو و از سوی دیگر اهمیت روی به‌عنوان یک عنصر ضروری که کمبود آن در کشورگسترش دارد، غنی‌سازی روی بیشتر باید پیرامون این محصول متمرکز شود. بخش زیادی از خاک‌های کشاورزی در ایران دارای کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم روی قابل دسترس هستند (۱۴)، گندم کشت شده در این اراضی دارای روی کافی برای تغذیه انسان نیست. روی یک عنصر ضروری برای بقا و زندگی گیاه، دام و انسان است. این عنصر در گیاه موجب بهبود رشد و عملکرد شده و در انسان افزایش ایمنی بدن در برابر بیماری‌ها و کنترل اسیدپتیه معده را بر عهده دارد (۱۴). روی، در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان نقش دارد. فعالیت آنزیم کربنیک‌آنهدراز، به سرعت در اثر کمبود روی، کاهش می‌یابد. کربنیک‌آنهدراز، در سیتوپلاسم و کلروپلاست تجمع می‌یابد و واکنش تبدیل دی‌اکسیدکربن به بی‌کربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم شدن دی‌اکسیدکربن برای فتوسنتز کمک می‌کند (۱۶). عنصر روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌شود (۱). پورفووبیلینوژن پیش‌ماده کلروفیل است که برای تشکیل این ماده عناصر منیزیم و روی مورد نیاز است که در حضور عنصر روی، نهایتاً تشکیل و تکمیل کلروفیل تسهیل می‌شود (۲۲).

انتخاب شدند. از کشت شبانه هر باکتری با کدورت معادل نیم‌مک‌فارلند ($10^8 \times 1/5$ CFU/ml) به منظور مایه‌زنی به خاک استفاده شد. نمونه خاک با pH و هدایت الکتریکی (در نسبت ۱:۱ آب به خاک) به ترتیب معادل ۷/۴ و ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر با بافت لوم رسی از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب (۳۰-۰ سانتی‌متری خاک) تهیه شد. خاک مورد مطالعه دارای ۰/۷۱ درصد ماده آلی، ۰/۰۷ درصد نیتروژن کل، ۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر قابل تبادل، ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل تبادل و ۴۲ درصد کربنات کلسیم بود (۲). میزان عنصر روی قابل تبادل خاک نیز با استفاده از DTPA عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۹). برای گندزدایی دانه‌ها و جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی، بذرها برای ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفته و سپس با آب مقطر سترون چندین بار شستشو داده شدند (۳۰). برای تأمین عناصر نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه، کوددهی بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های کودی برای گیاه گندم انجام شد که به ترتیب از منابع کود اوره (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد (۵). در گلدان‌های شش کیلوگرمی ۱۰ عدد بذر کشت شد که پس از اطمینان از جوانه‌زنی به پنج گیاه در گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه با محدوده دمای ۱۸ تا ۲۷ درجه سلسیوس و با رطوبت نسبی ۴۵ تا ۸۵ در شبانه‌روز، با متوسط ۱۲ ساعت روشنایی نگهداری شدند. درصد رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. طی دوره آزمایش ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-۵۰۲ اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام‌هوایی گیاه در پایان فصل رشد، اندام‌هوایی گندم از سطح خاک جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون، خشک و سپس توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. در انتهای مرحله رسیدگی، مقدار عنصر روی در اندام‌هوایی (ساقه و دانه) و ریشه بعد از هضم خشک نمونه‌ها

که باکتری‌های انحلال‌کننده روی با تولید اسیدهای آلی و در نتیجه کاهش pH باعث افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول روی می‌شوند. ایشان همچنین ذکر کردند که این باکتری‌ها با تولید هورمون، سیدروفور و افزایش جذب عناصر ضروری منجر به توسعه رشد گیاه می‌شوند. شیخ و همکاران (۲۵) در آزمایش تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی بر غنی‌سازی گندم نان نشان دادند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد به همراه منبع اکسیدروی (۱۰۰ گرم اکسید روی در هر کرت آزمایشی) باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه، طول ریشه و وزن تر و خشک گیاه در مقایسه با شاهد (اکسید روی + عدم تلقیح باکتری انحلال‌کننده روی) می‌شود. مطالعات آنها نشان داد که باکتری انحلال‌کننده روی *Exiguobacterium auranticum* می‌تواند تأثیر مثبتی بر غلظت و جذب روی و آهن در دانه گندم داشته باشند. با توجه به اهمیت گندم در تغذیه انسان، اهمیت روی بر سلامت انسان و کمبود روی قابل دسترس گیاه در خاک‌های آهنکی ایران این آزمایش با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی بر غنی‌سازی روی در گیاه گندم انجام شده است.

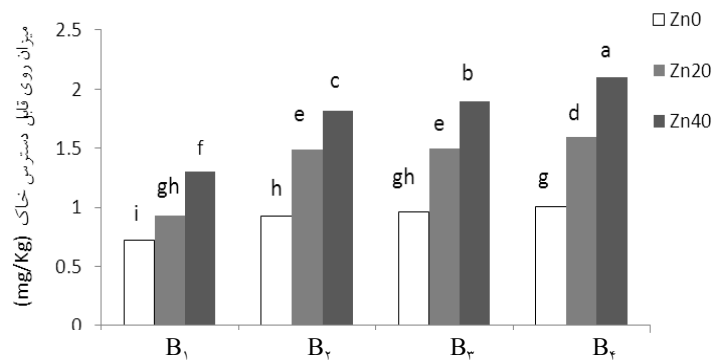
مواد و روش‌ها

تأثیر باکتری‌های قادر به انحلال عنصر روی بر صفات کمی و کیفی گندم رقم چمران در گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل مایه‌زنی باکتری به خاک در چهار سطح (شاهد (B_۱), *Bacillus megaterium* (B_۲), *Enterobacter cloacae* (B_۳) و ترکیب *Enterobacter cloacae* و *Bacillus megaterium* (B_۴) و فاکتور دوم شامل سه سطح سولفات روی شامل Zn (شاهد)، Zn_{۲۰} (۲۰ کیلوگرم بر هکتار) و Zn_{۴۰} (۴۰ کیلوگرم بر هکتار) بودند. *Enterobacter cloacae* که در آزادسازی روی از کارایی خوبی برخوردار هستند (۲۱) از کلکسیون میکروبی دانشگاه شهید چمران اهواز و *Bacillus megaterium* با توانایی انحلال روی نامحلول که از ریزوسفر گیاه ذرت جداسازی و شناسایی شده بود برای مایه‌زنی به خاک و بررسی تأثیر آنها بر رشد و عرضه روی مورد نیاز گیاه

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس پیامد تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم و مقدار روی تبدالی خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	ارتفاع	وزن ریشه	وزن اندام هوایی	وزن دانه	وزن هزار دانه	روی تبدالی خاک
کود	۲	۵۹/۱۰**	۴۱۸/۷۳**	۱/۹۳**	۱۲/۶۳**	۹/۸۸**	۳۱۷/۳۴**	۲/۵۳**
باکتری	۳	۳۴/۵۵**	۲۸۵/۵۹**	۰/۵۸**	۷/۲۲**	۳/۷۵**	۱۳۳/۰۷**	۰/۶**
باکتری × کود	۶	۱/۸۳**	۱۹/۵۵**	۰/۳**	۰/۴۲**	۰/۱۸**	۶/۶۰**	۰/۰۴**
خطا	۲۴	۰/۰۱۲	۱/۷۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۰۲	۰/۷۸	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (%)	-	۰/۲۲	۱/۹۱	۳/۰۲	۰/۹۶	۰/۶۶	۲/۰۳	۲/۴۶

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۱. آزمون میانگین تیمارها بر مقدار روی قابل دسترس خاک

B₁ (شاهد)، B₂ (*Bacillus megaterium*)، B₃ (*Enterobacter cloacae*)، B₄ (ترکیب دو باکتری مذکور) و Zn₀ (شاهد)

Zn₂₀ (۲۰ کیلوگرم بر هکتار) و Zn₄₀ (۴۰ کیلوگرم بر هکتار)، حروف یکسان در هر ستون، نشان‌دهنده عدم معنی‌داری تیمارها است.

(۴). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار کود و باکتری ($P < 0.01$) بر مقدار روی تبدالی خاک بود (جدول ۱). بیشترین میزان روی قابل تبادل در حضور ترکیب دو باکتری *Bacillus megaterium* و *Enterobacter cloacae* با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی و پس از آن در حضور *Enterobacter cloacae* و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی مشاهده شد (شکل ۱). نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت باکتری در افزایش روی تبدالی خاک است. کاربرد توأم کود و باکتری تأثیر بیشتری در روی تبدالی خاک نسبت به زمانی که هریک از کود و باکتری به تنهایی به‌کار برده شد، داشتند. واید و همکاران (۳۱) در آزمایش تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی، بر رشد و تغذیه گیاه برنج مشاهده کردند که روی عصاره‌گیری شده با DTPA بعد از برداشت برنج به‌طور معنی‌داری در خاک‌های حاوی تیمار باکتریایی در مقایسه با

توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد. عملکرد (پنج بوته در گلدان) و مقدار جذب روی در دانه (حاصل ضرب عملکرد در غلظت روی) نیز محاسبه شد. پس از برداشت گیاه، از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری شده و غلظت روی قابل تبادل پس از عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه مقادیر میانگین‌ها به وسیله آزمون دانکن انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارها بر مقدار روی تبدالی در خاک

مقدار روی قابل دسترس خاک مورد مطالعه ۰/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در حد بحرانی قرار دارد. حد بحرانی روی قابل دسترس در خاک‌های ایران ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر برخی ویژگی‌های گیاه گندم

ویژگی تیمار	شاخص کلروفیل	ارتفاع اندام هوایی (سانتی‌متر)	وزن ریشه (گرم/گلدان)	وزن اندام هوایی (گرم/گلدان)	وزن دانه (گرم/گلدان)	وزن هزار دانه (گرم/گلدان)
Zn _۰ .B _۱	۴۶/۰۳ ⁱ	۵۸/۸۲ ⁱ	۰/۶۴ ^h	۶/۷ ⁱ	۵/۵ ⁱ	۳۵/۶ ^h
Zn _۰ .B _۲	۴۷/۱ ^h	۶۲/۲۳ ^{ghi}	۰/۶۹ ^{gh}	۷/۱۹ ^h	۵/۸۴ ⁱ	۳۷/۹۵ ^{gh}
Zn _۰ .B _۳	۴۷/۹۶ ^g	۶۴/۸۹ ^{efg}	۰/۷۴ ^{fg}	۷/۶۷ ^g	۶/۲۱ ^h	۳۸/۶۲ ^g
Zn _۰ .B _۴	۴۸/۹ ^f	۶۶/۵۹ ^{ef}	۰/۷۸ ^{fg}	۸/۱۳ ^f	۶/۵۸ ^g	۴۱/۸۵ ^f
Zn _{۲۰} .B _۱	۴۷/۳۶ ^h	۶۰/۴ ^{hi}	۰/۷ ^{gh}	۷/۳۵ ^h	۶/۲۵ ^h	۳۷/۶۹ ^{gh}
Zn _{۲۰} .B _۲	۵۰ ^c	۶۸/۳۶ ^{cd}	۰/۸۲ ^{ef}	۸/۶۹ ^c	۶/۹۳ ^f	۴۳/۱۶ ^{ef}
Zn _{۲۰} .B _۳	۵۰/۹۶ ^d	۷۰/۶۷ ^{cd}	۰/۸۶ ^{de}	۸/۸۵ ^c	۷/۲۶ ^c	۴۵/۰۶ ^{de}
Zn _{۲۰} .B _۴	۵۲/۰۳ ^c	۷۲/۳۳ ^{bc}	۰/۹۱ ^d	۹/۳۵ ^d	۷/۶۵ ^d	۴۷/۰۲ ^{cd}
Zn _{۴۰} .B _۱	۴۸/۱ ^g	۶۳/۳۹ ^{fgh}	۰/۷۴ ^{fg}	۷/۶۴ ^g	۶/۵۹ ^g	۴۱/۶۶ ^f
Zn _{۴۰} .B _۲	۵۲/۱ ^c	۷۴/۶۳ ^b	۱/۲ ^c	۹/۶۷ ^c	۷/۸۹ ^c	۴۸/۹۶ ^{bc}
Zn _{۴۰} .B _۳	۵۳/۰۳ ^b	۷۹/۰۱ ^a	۱/۶۹ ^b	۱۰/۱ ^b	۸/۲۳ ^b	۵۱/۰۳ ^{ab}
Zn _{۴۰} .B _۴	۵۴/۴ ^a	۸۲/۵ ^a	۲/۱۸ ^a	۱۰/۴ ^a	۸/۶۸ ^a	۵۳/۵۳ ^a

حروف یکسان در هر ستون، نشان‌دهنده عدم معنی‌داری تیمارها است.

(۱۳) در آزمایش تأثیر *Enterobacter cloacae* بر انحلال روی در سه خاک مختلف مناطق نیمه‌خشک به این نتیجه رسیدند که *Enterobacter cloacae* زمانی که به همراه منبع خاکی روی به خاک اضافه شد از طریق کاهش pH در ریزوسفر خاک توانست تأثیر معنی‌داری بر میزان روی قابل تبادل خاک در مقایسه با شاهد داشته باشد.

تأثیر تیمارها بر اجزای عملکرد گیاه

براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های گندم (جدول ۱) اثر متقابل کود و باکتری بر کلروفیل، ارتفاع اندام هوایی، وزن هزار دانه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین شاخص کلروفیل در تیمار Zn_{۴۰}.B_۴ با ۱۸/۱ درصد افزایش در مقایسه با Zn_۰.B_۱ (شاهد) مشاهده شد (جدول ۲). در تمام سطوح کودی مایه‌زنی باکتری به خاک باعث افزایش شاخص کلروفیل گیاه شد که این افزایش در حضور هر دو باکتری و

شاهد (عدم تلقیح) افزایش پیدا کرد. باکتری‌های محرک رشد با ترشح اسیدهای آلی و در نتیجه انحلال ترکیبات نامحلول روی باعث افزایش روی قابل تبادل در خاک می‌شوند (۱۷). رامش و همکاران (۲۴) در آزمایش تأثیر سویه‌های *Bacillus* انحلال‌کننده روی بر رشد، تحرک و غنی‌سازی روی در سویا و گندم در خاک دچار کمبود روی به این نتیجه رسیدند که باکتری‌های انحلال‌کننده روی از طریق افزایش فعالیت آنزیم دی‌هیدروژناز، بتاگلوکوزیداز، ترشح اسیدهای آلی، تولید اکسین، افزایش فعالیت میکروبی و نهایتاً کاهش pH ریزوسفر توانستند روی قابل تبادل در خاک تحت کشت گندم و سویا و همچنین غلظت روی در دانه‌گندم را توسط فرایندهای ذکر شده افزایش دهند.

رامش و همکاران (۲۳) در آزمایش دیگری درباره تأثیر باکتری *Enterobacter cloacae* روی گیاه گندم و سویا به این نتیجه رسیدند که مقدار قابل تبادل عناصر N، P، K، S، Zn، Cu، Fe و Mn بعد از برداشت سویا و گندم به‌طور معنی‌داری در خاک در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کردند. کریتیکا و همکاران

کردند که در اثر مایه‌زنی *Enterobacter cloacae* به محیط کشت گیاه گندم و سویا وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. باکتری محرک رشد با تولید اکسین بر رشد ریشه تأثیر می‌گذارد، در نتیجه وزن ریشه و دیگر اندام‌ها افزایش یابد. ممتاز و همکاران (۱۹) به ترتیب تأثیر *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus* sp. ۹۴ و ۹۸، ۱۲۲ درصدی و *Bacillus subtilis* را بر وزن خشک ریشه ذرت در مقایسه با شاهد نشان دادند.

موهیت (۱۸) نشان داد که در اثر تلقیح بذر گندم با باکتری‌های ریزوسفری کلروفیل، ارتفاع ساقه و طول ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کردند. با افزایش در ارتفاع ریشه و ساقه وزن آنها نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به نقش عنصر روی در متابولیسم اکسین (۲۹) و همچنین توانایی تولید اکسین توسط برخی باکتری‌های محرک رشد (۱۷)، با کاربرد باکتری‌های محرک رشد و کود سولفات روی تولید اکسین افزایش پیدا می‌کند. هورمون اکسین موجب رشد طولی ریشه می‌شود و با افزایش طول ریشه وزن آن نیز افزایش پیدا می‌کند. آزمون میانگین تأثیر باکتری و کود بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $Zn_4.B_4$ و $Zn_4.B_2$ با میانگین‌های $10/4$ و $10/1$ گرم/گلدان است که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد (با میانگین $6/7$ گرم/گلدان) هستند. نتایج رامش و همکاران (۲۳) نشان داد که در اثر مایه‌زنی *Enterobacter cloacae* در محیط کشت گندم و سویا وزن خشک ساقه این گیاهان در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. باکتری محرک رشد از طریق تولید اکسین، محرک رشد ریشه و در نهایت جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه است (۱۶). نتایج ممتاز و همکاران (۱۹) در آزمایش تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus* و *Bacillus subtilis* بر گیاه ذرت نشان دادند که این باکتری‌ها به‌ترتیب دارای تأثیر 207 ، 176 و 173 درصدی بر وزن

پس از آن در حضور *Enterobacter cloacae* بالاتر بود. عنصر روی با تأثیر بر غلظت عناصر آهن و منگنز (عناصر درگیر در ساخت کلروفیل) می‌تواند به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش محتوای کلروفیل شود (۱۲). باکتری با فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه ساخت رنگریزه را افزایش داده و انتقال آب و مواد فتوسنتزی را در گیاه تسهیل می‌کند (۱۵) و در نتیجه عملکرد گیاه افزایش پیدا می‌کند. تأثیر باکتری و کود بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار ارتفاع اندام هوایی در تیمار $Zn_4.B_4$ با $40/2$ درصد افزایش در مقایسه با شاهد ($Zn_1.B_1$) مشاهده شد (جدول ۲). سودها و استالین (۲۹) در آزمایش تأثیر کود سولفات روی بر گیاه برنج به این نتیجه رسیدند که کود روی باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع گیاه برنج شد. آنها افزایش ارتفاع گیاه را به علت تأثیر عنصر روی بر فعالیت آنزیم‌ها و متابولیسم اکسین (از طریق افزایش ابعاد سلول‌ها) در گیاهان ذکر کردند.

نتایج ممتاز و همکاران (۱۹) در آزمایش تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus* sp. و *Bacillus subtilis* بر گیاه ذرت نشان داد که این باکتری‌ها به‌ترتیب دارای تأثیر 207 ، 176 و 173 درصدی بر وزن تر ساقه ذرت در مقایسه با شاهد (عدم حضور باکتری) هستند، همچنین این باکتری‌ها دارای تأثیر 103 ، 172 و 152 درصدی بر طول ساقه ذرت بودند که می‌تواند به‌علت تأثیر باکتری‌های محرک رشد و عنصر روی بر محتوای کلروفیل باشد که به‌دنبال آن فتوسنتز افزایش یافته، مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه منتقل می‌شود و ارتفاع ساقه افزایش می‌یابد. آزمون میانگین تأثیر باکتری و کود بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک ریشه به‌ترتیب در حضور مخلوط دو باکتری و با کاربرد 40 کیلوگرم بر هکتار سولفات روی و پس از آن در حضور *انتروباکتری‌کلواسه* و با کاربرد 40 کیلوگرم بر هکتار سولفات روی با میانگین‌های $2/18$ و $1/69$ گرم در گلدان در مقایسه با سایر تیمارها به‌دست آمد (جدول ۲). رامش و همکاران (۲۳) بیان

کیلوگرم بر هکتار سولفات روی و پس از آن در حضور *Enterobacter cloacae* و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی به ترتیب با میانگین‌های ۵۳/۵۳ و ۵۱/۰۳ گرم درگلدان به‌دست آمد (جدول ۲).

استفاده از کود و باکتری تأثیر قابل توجهی بر وزن هزار دانه نشان داد به طوری که افزایش ۲۸ درصدی در وزن هزار دانه در تیمار $Zn_4 \cdot B_4$ نسبت به تیمار $Zn_0 \cdot B_4$ مشاهده شد. بین تیمارهای $Zn_4 \cdot B_4$ و $Zn_4 \cdot B_1$ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که نشان‌دهنده تأثیر مخلوط دو باکتری حتی در صورت عدم مصرف کود سولفات روی است. قابل ذکر است باکتری‌های محرک رشد از طریق فرایندهایی مانند انحلال فسفر، روی، پتاسیم، تولید اکسین، افزایش فعالیت آنزیمی (بتاگلوکوزیداز، اریل سولفاتاز، دهیدروژناز، فیتاز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی) سبب افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف از قبیل آهن، روی، مس، منگنز، فسفر، نیتروژن توسط گیاه شده و منجر به افزایش عملکرد می‌شوند (۲۳). سودها و استالین (۲۹) در آزمایش تأثیر کود سولفات روی بر عملکرد برنج بیان کردند که افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در اثر کاربرد کود روی می‌تواند به این علت باشد که عنصر روی بر فعالیت آنزیم کربنیک انهدراز تأثیر گذاشته و در نتیجه باعث تجمع بیشتر کربوهیدرات‌ها در دانه شود که به تبع آن وزن هزار دانه نیز افزایش پیدا می‌کند (۲۹). شکیل و همکاران (۲۶) گزارش کردند که استفاده از باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Bacillus cereus* تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه برنج، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل و وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد دارد.

تأثیر تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم

جدول (۳) تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر غلظت و جذب روی در ریشه، ساقه و دانه را نشان می‌دهد. اثر متقابل کود و باکتری بر غلظت روی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مطابق جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) بیشترین غلظت روی در ریشه و ساقه و دانه در حضور *Enterobacter cloacae*

در واقع باکتری‌های نامبرده می‌توانند با تولید اکسین (۱۹) باعث افزایش رشد ریشه و افزایش تماس سیستم ریشه‌ای با ذرات خاک و متعاقباً افزایش جذب عناصر ریزمغذی شوند (۲۸). در نتیجه عملکرد گیاه از جمله وزن اندام هوایی می‌تواند افزایش پیدا کند. سفقی و همکاران (۳) در آزمایش تأثیر باکتری محرک رشد بر روی گیاه کلزا نشان دادند مایه‌زنی باکتری تجمع نیترون، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز را در اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش داد که این می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش وزن اندام هوایی توسط باکتری‌های محرک رشد باشد. اثر متقابل باکتری و کود بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه در حضور *Enterobacter cloacae* و *Bacillus megaterium* و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی و پس از آن در حضور *Enterobacter cloacae* و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی به ترتیب با افزایش ۵۷/۸ و ۴۹/۶ درصدی در مقایسه با شاهد به‌دست آمد. سودها و استالین (۲۹) در آزمایش تأثیر کود سولفات روی بر عملکرد برنج بیان کردند که افزایش معنی‌دار وزن دانه در اثر کاربرد کود روی می‌تواند به علت تأثیر عنصر روی در خاک دچار کمبود روی بر روی تکثیر ریشه‌های مویین باشد که موجب افزایش جذب روی از خاک و انتقال آن به قسمت‌های هوایی گیاه می‌شود. افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها و انتقال آنها به محل دانه را نیز از دلایل افزایش عملکرد ذکر کردند (۳۲). ملکوتی (۶) نشان داد که با مصرف سولفات روی عملکرد دانه گندم افزایش قابل توجهی می‌یابد. کاربرد عناصر آهن و روی در زراعت گندم، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و تعداد خوشه در واحد سطح را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. علت افزایش عملکرد و اجزای آن در اثر کاربرد آهن و روی، تأثیر این دو عنصر بر مقدار کلروفیل برگ و غلظت ایندول استیک اسید است (۱۰). اثر متقابل باکتری و کود بر وزن هزار دانه به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن هزار دانه در حضور *Enterobacter cloacae* و *Bacillus megaterium* و با کاربرد ۴۰

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم

منبع تغییرات	درجه آزادی	غلظت روی ریشه	جذب روی در ریشه	غلظت روی در ساقه	جذب روی در ساقه	غلظت روی در دانه	جذب روی در دانه
کود	۲	۷۵۰/۶۲**	۰/۰۰۵۹**	۱۲۰۴/۲۱**	۰/۱۹۲**	۴۶۷/۲۹**	۰/۱۷**
باکتری	۳	۳۱۴/۶۴**	۰/۰۰۰۲**	۶۵۹/۲۱**	۰/۱۰**	۶۰۳/۷۸**	۰/۱۰**
باکتری×کود	۶	۱۹/۲۲**	۰/۰۰۰۸**	۱۹/۱۷**	۰/۰۰۰۶**	۱۹/۳۶**	۰/۰۰۲۸**
خطا	۲۴	۰/۳۹	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷	۰/۱۳	۰/۰۰۰۰۰۱۳**	۱/۷۸	۰/۰۰۰۰۰۷۳
ضریب تغییرات (%)	-	۲/۱۵	۲/۵۶	۰/۹۵	۱/۰۵	۱/۵۶	۱/۴۱

** معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم

تیمار	غلظت روی (میلی گرم/کیلوگرم)			جذب روی ساقه (میلی گرم/گلدان)		
	ریشه	ساقه	دانه	ریشه	ساقه	دانه
Zn _۰ B _۱	۱۷/۲۵ ⁱ	۲۰/۱۳ ^k	۶۴/۹۵ ^h	۰/۰۱ ⁱ	۰/۱۳ ⁱ	۰/۳۵ ^h
Zn _۰ B _۲	۲۰/۰۲ ^h	۲۷/۳۳ ^g	۸۳/۶۵ ^{cf}	۰/۰۱۳ ^h	۰/۱۹ ^k	۰/۴۸ ^g
Zn _۰ B _۳	۲۲ ^g	۳۰/۳۳ ^h	۸۰/۹۵ ^f	۰/۰۱۶ ^h	۰/۲۳ ⁱ	۰/۵ ^g
Zn _۰ B _۴	۲۵/۲۵ ^f	۳۵/۳ ^f	۸۷/۷ ^{cd}	۰/۰۱۹ ^g	۰/۲۸ ^g	۰/۵۷ ^e
Zn _{۲۰} B _۱	۲۲ ^g	۲۹/۰۳ ⁱ	۷۶/۹ ^g	۰/۰۱۵ ^h	۰/۲۱ ^j	۰/۴۸ ^g
Zn _{۲۰} B _۲	۲۸/۵ ^e	۴۰/۴۳ ^c	۸۳/۷۵ ^{cf}	۰/۰۲۳ ^f	۰/۳۵ ^f	۰/۵۸ ^e
Zn _{۲۰} B _۳	۳۰/۷۵ ^d	۴۴/۶ ^d	۸۷/۱۵ ^{cd}	۰/۰۲۶ ^e	۰/۳۹ ^e	۰/۶۳ ^d
Zn _{۲۰} B _۴	۳۷ ^c	۴۹/۲۳ ^c	۹۳/۱ ^b	۰/۰۳ ^d	۰/۴۶ ^d	۰/۷۱ ^c
Zn _{۴۰} B _۱	۲۶ ^f	۳۲/۴ ^g	۸۰/۶۵ ^{fg}	۰/۰۱۹ ^g	۰/۲۴ ^h	۰/۵۳ ^f
Zn _{۴۰} B _۲	۳۶/۵ ^c	۴۹/۷۳ ^c	۹۱/۳۵ ^{bc}	۰/۰۴۴ ^g	۰/۴۸ ^c	۰/۷۲ ^c
Zn _{۴۰} B _۳	۳۹/۵ ^b	۵۳/۱۳ ^b	۹۴/۷۵ ^b	۰/۰۶۷ ^b	۰/۵۳ ^b	۰/۷۸ ^b
Zn _{۴۰} B _۴	۴۵ ^a	۵۷ ^a	۱۰۰/۴ ^a	۰/۱ ^a	۰/۵۹ ^a	۰/۸۷ ^a

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم معنی داری تیمارها است.

افزایش مقدار اکسین در ریزوسفر منجر به افزایش جذب عناصر غذایی در هر دو گیاه گندم و سویا شد (۲۳). ناز و همکاران (۲۰) در آزمایش تأثیر باکتری‌های انحلال‌کننده روی بر غلظت روی در گیاه گندم مشاهده کردند که بیشترین غلظت روی در ریشه، ساقه، دانه، برگ و سبوس گندم زمانی مشاهده شد هر یک از باکتری‌های آزوسپریلیوم، سودوموناس و ریزوبیوم به همراه کود شیمیایی استفاده شدند. نتایج آنها نشان که غلظت روی در اندام‌های گیاهی

و *Bacillus megaterium* با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی به ترتیب با افزایش ۱۶۰/۸، ۱۸۳ و ۵۴/۵ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد به دست آمد (بدون کود و عدم حضور باکتری). رامش و همکاران (۲۳) در آزمایش تأثیر *Enterobacter cloacae* بر غلظت عناصر در ریشه گندم و سویا، افزایش غلظت، K, P, N, Cu, Zn و Fe در ریشه و ساقه و دانه گندم و سویا را در مقایسه با شاهد گزارش کردند. این باکتری از طریق کاهش pH و

جذب، N، P، K، Zn، Cu، Fe و Mn در ریشه و ساقه و دانه گندم و سویا در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. افزایش در مقدار اکسین و فعالیت آنزیمی در نتیجه تلقیح باکتری در ریزوسفر منجر به افزایش جمعیت میکروبی و رشد گیاه شد. افزایش جمعیت میکروبی باعث تغییرات کمی و کیفی در ترشحات ریشه‌ای و آزادسازی متابولیت‌های ثانویه میکروبی می‌شود (۲۳) که در نهایت جذب عناصر غذایی از این طریق افزایش پیدا می‌کند. واید و همکاران (۳۱) بیشترین غلظت و جذب روی در دانه برنج را در تیمار دارای دو باکتری *Burkholderia sp.* و *Acinetobacter sp.* در مقایسه با شاهد (عدم مایه‌زنی) با مصرف ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سولفات روی مشاهده کردند که ممکن است به دلیل توانایی انحلال روی توسط سویه‌ها به دلیل تولید گلوکونیک اسید باشد (۳۲). همچنین بیان کردند افزایش همه جانبه رشد گیاه و جذب مواد غذایی توسط گیاه می‌تواند نتیجه انحلال روی و تولید هورمون اکسین به وسیله باکتری‌ها باشد. شارما و همکاران (۲۷) در آزمایش تأثیر سویه‌های *Bacillus firmus*، *Bacillus cereus* و *Bacillus sp. Bacillus amyloliquefaciens* به این نتیجه رسیدند که این سویه‌ها به‌طور معنی‌داری جذب روی در دانه سویا را از طریق کاهش اسید فیتیک دانه (به خاطر رابطه آنتاگونیستی فسفر با روی) در مقایسه با شاهد (عدم مایه‌زنی) افزایش دادند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان‌داد که کاربرد ترکیبی باکتری‌های محرک‌رشد (*Enterobacter cloacae*) و *Enterobacter cloacae* (به‌همراه تمامی سطوح کودی در مقایسه با کاربرد کود سولفات روی به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد گیاه گندم داشت. زمانی که این باکتری‌ها با سطح بهینه کودی سولفات روی (۴۰ کیلوگرم در هکتار) به‌کار برده شدند، بیشترین افزایش در تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گیاه نسبت به حالتی که باکتری یا کود به

گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای باکتریایی در مقایسه با کاربرد کود به‌تنهایی بود.

رامش و همکاران (۲۴) در آزمایش تأثیر سویه‌های بر رشد سویا و گندم بیان کردند که غلظت روی در دانه گندم و سویا در حضور باکتری با افزایش تولید اکسین توسط باکتری‌ها، تولید اسیدهای آلی و کاهش pH ریزوسفر این گیاهان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. سودها و استالین (۲۹) بیان کردند که افزایش معنی‌دار غلظت روی در دانه برنج در اثر کاربرد کود روی به دلیل توسعه عملکرد آنزیمی و متابولیسمی در گیاه است که در حضور عنصر روی افزایش پیدا می‌کند (۲۹). شیخ و همکاران (۲۵) در آزمایش غنی‌سازی بذر گندم به‌وسیله باکتری‌های انحلال‌کننده روی در آزمایش مزرعه‌ای مشاهده کردند که تلقیح بذر دو وارته گندم *Gw-۳۶۶* و *KL-۱* با *Exiguobacterium aurantiacum* به ترتیب باعث افزایش شش و سه برابری غلظت روی در دانه این دو وارته گندم شد. اثر متقابل کود و باکتری بر جذب روی در ریشه و ساقه و دانه به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بالاترین جذب روی در ریشه، ساقه و دانه به ترتیب با میانگین‌های ۰/۱، ۰/۵۹ و ۰/۸۷ میلی‌گرم در گلدان مربوط به تیمار ترکیب دو باکتری و با کاربرد چهل کیلوگرم بر هکتار سولفات روی ($Zn_{۴۰}B_{۴}$) بود. پس از آن بیشترین میزان جذب روی در ریشه و ساقه و دانه مربوط به تیمار باکتری *Enterobacter cloacae* و با کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات روی به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار باکتری بر افزایش جذب روی در دانه گندم است، به‌طوری‌که در تیمار $Zn_{۴۰}B_{۴}$ در مقایسه با تیمار $Zn_{۴۰}B_{۱}$ میزان جذب در دانه تقریباً ۲۴ درصد افزایش یافت. قابل ذکر است میزان جذب روی در دانه در تیمار $Zn_{۴۰}B_{۱}$ کمتر از تیمار $Zn_{۴۰}B_{۴}$ بود که نشان‌دهنده تأثیر مخلوط دو باکتری بر افزایش جذب روی موجود در خاک است. نتایج رامش و همکاران (۲۳) در آزمایش تأثیر *Enterobacter cloacae* بر جذب یا آسیمیلایون عناصر نشان داد که در گندم و سویا،

تنهایی به کار برده شدند، به دست آمد. همچنین توانایی *Bacillus megaterium* در مقایسه با *Enterobacter cloacae* در بهبود رشد گیاه بیشتر بود. خاک‌های خوزستان به دلایل pH بالا، آهکی بودن و استمرار در مصرف کودهای فسفوره (رابطه آنتاگونیستی با روی)، روی قابل استفاده کمی دارند. با توجه به این موضوع که بخش اعظم کود روی بعد از اضافه شدن به خاک به صورت ترکیبات نامحلول در می‌آید و به دنبال آن عملکرد گیاهان نیز کاهش می‌یابد، می‌توان هم‌زمان با مصرف خاکی سولفات روی از باکتری‌های محرک رشد به عنوان کودی استفاده کرد. استفاده از باکتری‌های محرک رشد به عنوان مکملی برای کودهای شیمیایی راهکار مناسبی برای غنی‌سازی گندم است.

منابع مورد استفاده

۱. بهتاش، ف.، س. طباطبایی، م. ج. ملکوتی، م. ح. سرور الدین وش اوستان. ۱۳۸۹. اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی. *مجله پژوهش‌های علوم خاک و آب* ۲۴(۱): ۳۱-۴۱.
۲. رضایی نیکو، ب.، ن. عنایتی ضمیر، و م. نوروزی مصیر. ۱۳۹۶. غربالگری و تأثیر باکتری‌های انحلال کننده روی (Zn) بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی گیاه گندم. رساله کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. سقفی، د.، ح. علیخانی و ب. متشع زاده. ۱۳۹۴. تأثیر کاربرد باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد گیاه بر کاهش اثرات تنش شوری در گیاه کلزا (*Brassica napus L.*). *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار* ۵(۱): ۲۳-۴۱.
۴. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصل خیزی خاک‌های کشاورزی ایران. *نشریه مدیریت اراضی* ۱(۱): ۱-۱۵.
۵. ملکوتی، م. ج. و غیبی، م. ن. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی موثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. چاپ دوم با بازنگری کامل. نشر آموزش کشاورزی. ایران.
۶. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۷. افزایش تولید گندم و بهبود سلامتی مردم از طریق مصرف سولفات روی در مزارع گندم. *مجله خاک و آب ایران* ۱۲(۱): ۳۴-۴۳.
7. FAO, J. and M. H. I. FOODS. 2004. Food and Agriculture organization of the United Nations. Rome.
8. Goteti, P. K., L. D. A. Emmanuel, S. Desai and M. H. A. Shaik. 2013. Prospective zinc solubilising bacteria for enhanced nutrient uptake and growth promotion in maize (*Zea mays L.*). *International Journal of Microbiology* 1-7.
9. Gupta, P. K. 1999. Soil, Plant, Water and Fertiliser Analysis. AGROBIOS (INDIA)
10. Hemantaranjan, A. and O. K. Gray. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality *Triticum aestivum*. L. *Plant Nutrition* 11: 1439-1452.
11. Iqbal, U., N. Jamil, I. ALi and S. Hasnain. 2010. Effect of zinc-phosphate-solubilizing bacterial isolates on growth of *Vigna radiate*. *Annals of Microbiol* 60(2): 243-248.
12. Kaya, C. and D. Higgs. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulture* 93(1): 53-64.
13. Krithika, S., G. Prasad and D. Balachandar. 2016. Zinc solubilizing potential of *Enterobacter cloacae* strain ZSB14 in three different semi-arid tropical soils. *International Journal of Plant and Soil Science* 11 (2): 1-12.
14. Malakouti, M.J. 2008. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants: A review. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 1: 1-12.
15. Marius, S., A. Octavita, U. Eugen and A. Vlad. 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Genetics and Molecular Biology* 12(2): 11-17.
16. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed., Academic PreHarcourt Brace Company, Pub. Co. New York.
17. Mehboob, I., M. Naveed and Z. A. Zahir. 2009. Rhizobial association with non-legumes: mechanisms and application. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28(6): 432-456.
18. Mohite, B. 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Soil Science and Plant Nutrition* 13(3): 638-649.
19. Mumtaz, M. Z., M. Ahmad, J. Moazzam and H. Tanveer. 2017. Zinc solubilizing *Bacillus spp.* Potential candidates

- for biofortification in maize. *Microbiological Research* 202: 51-60.
20. Naz, I., H. Ahmad, SH. Nasreen Khohar, KH. Khan and A. Hussain Shah. 2016. Impact of zinc solubilizing bacteria on zinc content of wheat. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 16 (3): 449-454.
21. Pirhadi, M., N. Enayatizamir, H. Motamedi and K. Sorkheh. 2016. Screening of salt tolerant sugarcane endophytic bacteria with potassium and zinc for their solubilizing and antifungal activity. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 9: 530-538.
22. Powell, S. R. 2000. The antioxidant properties of zinc. *Journal of Nutrition* 130: 1447-1449.
23. Ramesh, A., S. K. Sharma and M. P. Sharma. 2014. Plant growth-promoting traits in *Enterobacter cloacae* subsp. *dissolvens* MDSR9 isolated from soybean rhizosphere and its impact on growth and nutrition of soybean and wheat upon inoculation. *Agricultural Research* 3(1): 53-66.
24. Ramesh, A., S. K. Sharma, M. P. Sharma, N. Yadav and O. P. Joshi. 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.
25. Shaikh, S. H. and M. Sarafa. 2017. Biofortification of *Triticum aestivum* through the inoculation of zinc solubilizing plant growth promoting rhizobacteria in field experiment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 9: 120–126.
26. Shakeel, M., A. Rais, M. Nadeem Hassan and F. Y. Hafeez. 2015. Root Associated *Bacillus* sp. Improves growth, yield and zinc translocation for Basmati Rice (*Oryza sativa*) varieties. *Frontiers in Microbiology* 6(1286): 1-12.
27. Sharma, S. K., M. P. Sharma, A. Ramesh and O. P. Joshi. 2011. Characterization of zinc solubilizing *Bacillus* isolates and their potential to influence zinc assimilation in soybean seeds. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 22(3): 352-359.
28. Shirmardi, M., G. R. Savaghebi, K. Khavazi, A. Akbarzadeh, M. Farahbakhsh, F. Rejali and A. Sadat. 2010. Effect of microbial inoculants on uptake of nutrient elements in two cultivars of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Saline Soils. *Notulae Scientia Biologicae* 2(3): 57-66.
29. Sudha, S. and S. Stalin. 2015. Effect of zinc on yield, quality and grain zinc content of rice genotypes. *International Journal of Farm Sciences* 5(3): 17-27.
30. Tale Ahmad, S. and R. Haddad. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47(1): 17-27.
31. Vaid, S. K., B. Kumar, A. Sharma, A. K. Shukla and P. C. Srivastava. 2014. Effect of zinc solubilizing bacteria on growth promotion and zinc nutrition of rice. *Soil Science and Plant Nutrition* 14(4): 889-910.
32. Vaid, S. K., B. Kumar, A. Sharma, P. C. Srivastava and M. V. Singh. 2013. Effect of zinc solubilizing bioinoculants on zinc nutrition of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Advanced Research* 1(9): 805-820.
33. White, P. J. and M. R. Broadley. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science* 10(12): 586–593.

The Effect of Zinc Solubilizing Bacteria on Zinc Uptake and Some Properties of Wheat in the Greenhouse

B. Rezaeiniko, N. Enayatzamir* and M. Norouzi Masir¹

(Received: August 29-2017 ; Accepted: February 28-2018)

Abstract

Zinc is essential micronutrients for plants. This element improves plant growth and yield and plays a role in the metabolism of carbohydrates. Zinc deficiency in soils and Iranian crops is possible due to numerous reasons such as calcareous soils, excessive use of phosphorus fertilizers and unbalanced fertilizer use. The effect of zinc solubilizing bacteria on some wheat properties was considered as a factorial experiment in greenhouse conditions based on a completely randomized design. Treatments consisted of four levels of bacteria comprising B₁ (control), B₂ (*Bacillus megaterium*), B₃ (*Enterobacter cloacae*) and B₄ (consortium of both bacterium), and ZnSO₄ fertilizer at three levels including Zn₀ (control), Zn₂₀ (20 Kg/ha) and Zn₄₀ (40 kg/ha). During the experiment, some parameters such as plant height and chlorophyll index were measured. At the end of the cultivation period, soil available zinc, dry weight of root and aerial part, and the zinc concentration of the root, shoot and grain were determined. Grain yield and zinc uptake in the grain were also calculated. The results indicated soil exchangeable zinc content was increased significantly ($P<0.05$) in all bacterial treatments, as compared to the control treatment. The maximum amount of soil exchangeable zinc, grain yield, zinc concentration and uptake in grain were observed in the treatment containing bacteria consortium with the application of 40 kg/ha of zinc sulfate fertilizer, which was followed by the treatment containing *Enterobacter cloacae* with the application of 40 kg/ha of the zinc sulfate fertilizer. The maximum amount of all measured properties in the treatment containing *Enterobacter cloacae* and *Bacillus megaterium* indicated the possibility of applying those bacteria for zinc enrichment in wheat, crop optimal production, and the sustainable agriculture.

Keywords: Chlorophyll, Wheat, Yield, Zinc sulfate

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: n.enayatzamir@scu.ac.ir