



تاثیر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بر آزادسازی عناصر کم مصرف از کانی‌های میکایی و جذب آنها توسط گیاه ذرت (*Zea mays* L.)

میرحسین رسولی صدقیانی^۱، محسن برین^{۲*}، ابراهیم سپهر^۳، سعید صادقی آزاد^۴، رقیه واحدی^۴
۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب استاد، استادیار، دانش آموخته ارشد کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه
Email: mbarin@urmia.ac.ir

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تاثیر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات در استفاده از عناصر کم مصرف کانی‌های میکایی و جذب آن توسط گیاه ذرت، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای گلخانه‌ای شامل منبع پتاسیمی (پنج سطح) و تلقیح میکروبی (دو سطح) بودند. نتایج نشان داد که تلقیح میکروبی، مقدار آهن اندام هوایی را ۴۱/۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. بالاترین مقدار آهن اندام هوایی از منبع ایلیت بود که ۳/۹۸ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. بیشترین مقدار روی، مس و منگنز اندام هوایی گیاه با تلقیح میکروبی کانی ایلیت، فلوگوپیت و مسکویت حاصل گردید که به ترتیب ۱/۴۹، ۸/۴ و ۱/۳۴ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تلقیح میکروبی سبب آزادسازی عناصر کم مصرف از کانی‌های سیلیکاتی و بهبود رشد گیاه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کانی‌های سیلیکاته، باکتری حل‌کننده، ذرت

مقدمه

عناصر کم مصرف اثرات مهمی در گیاهان دارند. این عناصر در صورت کمبود می‌توانند گاهی به عنوان عامل محدود کننده رشد و جذب سایر عناصر غذایی باشند و همین امر لزوم توجه بیشتر به کاربرد آن‌ها را مشخص می‌کند (ملکوتی، ۱۳۷۹). ویژگی‌های همچون قلیایی بودن و فقر ماده آلی در خاک‌های آهکی ایران عموماً موجب کمبود عناصر غذایی کم مصرف به ویژه آهن، روی، مس و منگنز در بسیاری از گیاهان زراعی شده است (Rangbar and Bahmaniar, 2007). بنابراین به منظور تأمین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاه، بایستی از طریق اضافه کردن کودهای شیمیایی و یا از طریق آزاد کردن عناصر کم-مصرف از کانی‌های میکایی تأمین گردد. از جمله راهکارهای استفاده از این منابع میکایی، کاربرد باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات می‌باشد. فرآیندهای بیوشیمیایی که در هوادیدگی کانی‌ها دخالت دارند به طور عمده در محیط‌های میکروبی خاک رخ می‌دهند و توسط میکروارگانیسم‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مطالعات مختلفی اثر فرآیندهای بیولوژیکی و مواد مترشحه از ریشه گیاهان و میکروارگانیسم‌ها را بر روی هوادیدگی کانی‌ها در ناحیه ریزوسفر گزارش کردند (Noroz, 2006; Haby et al., 1990). بسیاری از سنگ‌ها و مواد کانی دارای عناصر غذایی برای رشد میکروارگانیسم‌ها و گیاه می‌باشند. فعالیت میکروارگانیسم‌ها باعث آزاد شدن عناصر غذایی از کانی‌ها می‌شود (Uroz et al., 2009). فرایند انحلال سیلیکات‌ها توسط باکتری‌های گرم منفی *Erwinia herbicola*, *Bacterium herbicola* و سویه‌هایی از سودوموناس‌ها گزارش شده است (Duff and Webley, 1959). Groudev (۱۹۸۷) گزارش کرد که انحلال کانیها به علت تولید mucilaginous capsules حاوی اگزوپلی ساکاریدها افزوده می‌شود. تولید اسیدهای آلی مثل اسید استیک، اسید سیتریک و اسید اگزالیک توسط میکروارگانیسم‌ها می‌تواند سرعت انحلال کانیها را افزایش دهد. علاوه بر این نتایج، می‌توان به توانایی هوادیده کردن باکتری‌های درگیر در تولید پروتون، اسیدهای آلی، سیدروفور و لیگاندهای آلی اشاره کرد (Liermann و همکاران، 2000). محققین توانایی مواد لزج و لعابی تولید شده از باکتری *B. mucilaginosus* در انحلال سیلیکات‌ها و نیز کلونیزاسیون و رشد و توسعه این باکتری‌ها در ریزوسفر و غیر ریزوسفر را گزارش کردند (Lin و همکاران، 2002). برخی میکروارگانیسم‌ها قادرند سیلیکات‌ها را تجزیه و عناصری مثل پتاسیم، آهن، روی، سیلیس، فسفر و سایر عناصر کم مصرف را آزاد کنند (Aleksandrov et al., 1967). ترشح سیدروفور در باکتری *Pseudomonas mendocina* مایه رهاشدن آهن از گئوتیت، همتیت، فری‌هیدرایت و

کائولینیت می‌شود (Dong, 2010). سیلیکات‌هایی مانند میکاهای تری اکتاهدرال که دارای آهن (II) در ساختار خود هستند، در برابر سیلیکات‌های دیگر با تندی بیشتری هوادیده می‌شوند. آهن (II) در نتیجه اکسایش به آهن (III) تبدیل می‌شود. میکروارگانیزم‌ها به طور غیر مستقیم بر روی واکنش‌های اکسیدی آهن (II) تاثیر می‌گذارند (Hopf et al., 2008). فرایند انحلال میکروبی سیلیکات‌ها به علت مداوم بودن و تأمین درازمدت عناصر کم مصرف برای گیاه ذرت مفید می‌باشد. در نتیجه تعیین گونه‌های میکروبی توانا به انحلال کانی‌ها، می‌تواند علاوه بر تأمین منابع عناصر کم مصرف، از خطرات آلودگی زیست محیطی بوسیله کاربرد زیاد کودهای شیمیایی جلوگیری کرد. لذا مطالعه حاضر با هدف جداسازی میکروارگانیزم‌های حل‌کننده سیلیکات از خاک ریزوسفری و ارزیابی عناصر کم مصرف آزادسازی شده توسط سویه‌ها از منابع مختلف سیلیکاته در محیط ریشه و همچنین نقش عناصر کم مصرف در تغذیه و بهبود رشد گیاه ذرت صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش تعداد ۴۰ نمونه خاک ریزوسفری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از مزارع سیب زمینی استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی برداشت گردید. جداسازی میکروارگانیزم‌های نمونه‌های خاک به روش رقت‌های ده‌تایی در محیط کشت الکساندروف، صورت پذیرفت (HU et al., 2006). تمامی کانی‌های مورد استفاده شامل بیوتیت، فلوگوپیت، مسکوویت و ایلیت، به وسیله آسیاب پودر شده و از غربال ۶۰ مش عبور داده شدند. سپس با اسید کلریدریک ۰/۰۱ مولار شستشو داده شد تا پتاسیم قابل استفاده خارج گردد. برای اطمینان از خروج کامل پتاسیم قابل استفاده، پتاسیم با روش استات آمونیوم استخراج و اندازه‌گیری و اسید شویی تا حصول اطمینان از خروج کامل پتاسیم قابل استفاده ادامه یافت. سپس تا خشک شدن کامل در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت مقدار ۲ گرم نمونه خشک شده به یک لیتر محیط کشت الکساندروف اضافه گردید (Keshavarz- Zarjani et al., 2014). از رقت‌های 10^{-3} و 10^{-4} مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر برداشته و به پلیت‌های حاوی محیط کشت جامد الکساندروف اضافه و سپس پلیت‌ها به مدت ۱۰ روز و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. پس از این مدت باکتری‌هایی که در اطراف خود، دارای هاله انحلال بودند به عنوان حل‌کننده کانی‌های سیلیکاتی انتخاب شدند. تعداد ۳۰ سویه باکتری جداسازی گردید. برای انجام آزمون گلخانه‌ای از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و ۳ تکرار استفاده گردید. فاکتورهای آزمایش شامل منبع پتاسیمی ۵ سطح: (۱) شاهد (بدون میکا) (۲) پتاسیم محلول (۳) فلوگوپیت (۴) ایلیت (۵) مسکوویت بود و فاکتور دوم تلقیح با زادمایه میکروبی شامل ۲ سطح: (۱) بدون تلقیح میکروبی (۲) تلقیح با باکتری بود. بستر کشت مورد استفاده از شن کوارتزی عبور کرده از الک ۱۰ مش و به خوبی شسته شده با اسید کلریدریک ۰/۰۱ مولار و آب مقطر تهیه و سپس استریل شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت مورد استفاده به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید. تمامی میکاها از الک ۶۰ مش عبور داده شد. برای حذف ناخالصی‌های موجود در سطوح تبدالی کانی‌های میکایی کانی‌های مورد نظر با کلرورکلسیم ۰/۵ مولار اشباع و سپس شستشو شد. بدین منظور به مقادیر یکسان از کانی‌های میکایی جهت تأمین ۰/۵ درصد وزنی میکا، به گلدان‌ها اضافه و به خوبی با شن کوارتزی مخلوط گردید. جهت تهیه زادمایه از سویه‌های منتخب، ابتدا باکتری‌ها (*Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*) بر روی محیط جامد آگار مغذی (Nutrient Agar) بازکشت شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت از رشد، یک لوپ از کشت تازه هر جدایه به درون یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از محیط نوترینت براث مایه‌زنی و در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۸۰ دور در دقیقه (rpm) تکان داده شدند. آزمایش گلدانی، در گلدان‌های ۶ کیلویی حاوی شن کوارتزی و سه نوع کانی میکایی (فلوگوپیت، ایلیت و مسکوویت) تهیه شده از معادن شهرستان ارومیه انجام شد. برای کشت گیاهان ابتدا در ته گلدان‌ها از کاغذ صافی و سپس از شن‌های درشت به عنوان زهکش استفاده شد. سپس مقدار کمی شن کوارتزی در ته هر گلدان (یک چهارم هر گلدان) ریخته شد و پس از آن با مخلوط شن کوارتزی و کانی میکایی (۰/۵ درصد وزنی) پر گردید. سپس مقدار یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتریایی کشت تازه به هر بذر اضافه و تلقیح گردید. پس از افزودن مایه‌های تلقیح، ۸ عدد بذر ذرت سینگل گراس ۶۴۰ (بعد از انجام ضدعفونی سطحی با هیپوکلریت سدیم) در هر کدام از گلدان‌ها قرار داده و مقداری شن کوارتزی روی آن‌ها ریخته شد. ۱۰ روز پس از سبز شدن بذرها، تعداد ۳ بوته (سالم تر و

قوی تر) در هر گلدان نگه داری شدند. در طول دوره رشد، از آب مقطر به منظور آبیاری و از محلول غذایی کامل فاقد پتاسیم برای تغذیه گیاهان استفاده شد. پس از ۷۰ روز دوره رشد، بخش هوایی گیاهان از رویه خاک جدا شدند. بخش هوایی گیاه پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. سپس، نمونه ها برای تعیین عملکرد ماده خشک و توزین و آسیاب شدند. عناصر آهن، روی، مس و منگنز در بخش هوایی نمونه های گیاهی به روش هضم خشک عصاره گیری و توسط دستگاه جذب اتمی (Shimadzu-AA6300) اندازه گیری گردید.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد استفاده در کشت گلخانه ای را نشان می دهد. تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر مقدار آهن در گیاه معنی دار ($P < 0.001$ و $P < 0.01$)، روی ($P < 0.001$ و $P < 0.01$)، مس و منگنز ($P < 0.001$ و $P < 0.01$) معنی دار بود. همچنین اثرات متقابل این دو فاکتور بر مقدار روی ($P < 0.01$)، مس ($P < 0.001$) و منگنز ($P < 0.05$) معنی دار بود. تلقیح میکروبی، مقدار آهن اندام هوایی را ۴۱/۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۱- الف). بالاترین مقدار آهن اندام هوایی در تیمار ایلیت مشاهده گردید که تفاوت معنی داری با سایر کانی های پتاسیمی نداشت و نسبت به شاهد ۳/۹۸ برابر افزایش نشان داد (شکل ۱- ب). مقایسه میانگین مقدار روی، مس و منگنز اندام هوایی نشان داد که بیشترین مقدار روی، مس و منگنز اندام هوایی مربوط به تیمار پتاسیم محلول با تلقیح باکتریایی بود که به ترتیب ۲۲/۴۱، ۵/۵۴، ۲ برابر نسبت به تیمار شاهد پتاسیم محلول افزایش نشان داد (جدول ۲). مقدار روی، مس و منگنز در تمامی تیمارهای باکتریایی که حاوی کانی های میکایی بودند، نسبت به شاهد کانی- های میکایی افزایش معنی دار نشان داد. بطوریکه بیشترین مقدار روی، مس و منگنز اندام هوایی گیاه با تلقیح باکتریایی کانی ایلیت، فلوگوپیت و مسکویت حاصل گردید که به ترتیب ۱/۴۹، ۶۷/۶۴ و ۱/۳۴ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت.

تیمار پتاسیم محلول بکاربرده شده توانست مقدار عناصر کم مصرف را نسبت به بقیه تیمارهای پتاسیمی به طور معنی داری افزایش دهد. بهبود رشد و عملکرد گیاه در تیمار پتاسیم محلول نشان می دهد که احتمالاً مقدار عناصر آزاد شده در کانی های سیلیکاتی کافی نبوده و تیمار پتاسیم محلول در اثر تعادل عناصر غذایی بهتر توانست عناصر کم مصرف در گیاه را افزایش داده و رشد گیاه را بهبود بخشد (رحیمزاده و همکاران، ۱۳۹۲). Moira و همکاران (۱۹۶۳) تعداد زیادی از میکروارگانیسم ها را جداسازی نمودند که پتانسیل آزادسازی یون های فلزی از منابع سیلیکات ها، سنگ و خاک ها را داشتند. کانی های مورد استفاده در مطالعه آن ها ساپونیت و ورمیکولیت بودند. آن ها همچنین بیان داشتند که این میکروارگانیسم ها اسید سیتریک و اسید اگزالیک را که به طور عمده در تجزیه یا انحلال سیلیکات های طبیعی و در انتقال یون های فلزی مؤثرند تولید می کنند. Mortland و Lawton (1961) گزارش دادند که وجود برخی نواقص ساختمانی در میکاها نیز از عوامل تاثیرگذار بر آزادسازی عنصر غذایی از آن ها می باشد. بعضی موسکویت ها گاهی دارای ناپیوستگی می باشند؛ این صفحات ناپیوسته در آغاز، تندی آزادسازی عناصر غذایی را افزایش می دهند (خیامیم و همکاران، ۱۳۸۸). مکانیسم تجزیه سیلیکات ها بر حسب نوع میکروارگانیسم تجزیه کننده متفاوت خواهد بود. ولی اساساً این فرایند در نتیجه تأثیر فرایندهای متابولیک (مانند تولید و ترشح پروتون، اسیدهای آلی، سیدروفور و لیگاندهای آلی) این میکروارگانیسم ها روی کانی ها انجام می گیرد (Rogers و 2004 Bennett). محققین گزارش کردند که برخی باکتری ها تولید مواد پلی ساکاریدها (مثل اسیدهای اورنیک) می کنند که این مواد دارای عوامل کربوکسیلی (COOH) و فنلی (C₆H₆O) می باشند که فنل و کربوکسیل موجود در پلی ساکاریدها با عناصر موجود در سیلیکات ها واکنش داده و تشکیل پیوندهای پیچیده ای می دهند که منجر به آزاد شدن عناصر از شبکه کریستالی شده و باعث انتقال آنها به داخل محلول خاک می شوند (Welch و همکاران، ۱۹۹۹). Styriakova و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که تماس باکتری *Bacillus cereus* با کانی سیلیکاتی فلوگوپیت غلظت منیزیم و آلو مینیوم و سایر عناصر غذایی افزایش یافت. افزایش معنی دار عناصر کم مصرف در تیمارهای میکروبی نسبت به شاهد را می توان چنین توجیه کرد که این میکروارگانیسم ها با تخریب کانی های میکایی، عناصر کم مصرف (همچون آهن، روی، مس، منگنز و منیزیم و غیره) را از کانی آزاد کرده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در می آورند. محققین نشان دادند سوبیه هایی از *Pseudomonas*، *Azotobacter*

Bacillus و توانایی تولید ترکیبی به نام سیدروفور دارند. سیدروفورها کلاتها یا ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین و با میل ترکیبی شدید و اختصاصی برای کمپلکس شدن با برخی کاتیونها فلزی از جمله آهن و روی هستند. گیاهان می‌توانند از سیدروفورهای تولید شده توسط باکتری‌ها به عنوان عاملی برای تأمین عناصر غذایی به ویژه آهن مورد نیاز خود استفاده کنند (Ahmad et al., 2006).

در مجموع نتایج حاکی از این است که کاربرد باکتری‌های حل کننده سیلیکات سبب افزایش رشد و میزان عناصر غذایی کم مصرف در گیاه می‌شود. این افزایش به‌طور عمده به دلیل تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه توسط باکتری‌ها و اثر آن‌ها بر رشد ریشه می‌باشد که جذب آب و مواد غذایی را بهبود می‌بخشد (Egamberdiyeva et al., 2003).

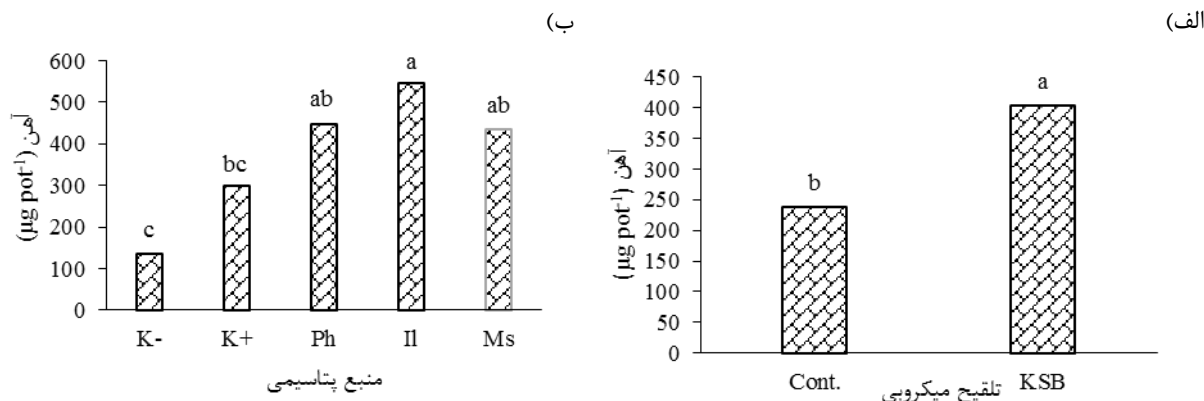
جدول ۱- نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر ماسه‌ای

بستر	رس	سیلت	شن	pH	EC	ماده آلی	ازت کل	فسفر کل	پتاسیم قابل جذب
		(%)			(dS/m)	(%)			(mg/kg)
شنی	۰	۰	۱۰۰	۷/۲	۰/۳۵	<۰/۱	-	-	۳/۶

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر مقادیر عناصر کم مصرف گیاه ذرت

KSB		شاهد (بدون تلقیح)	
منبع پتاسیمی		روی ($\mu\text{g pot}^{-1}$)	
-K	۲۴۷/۴ ^e	۳۵۹/۴ ^{de}	
+K	۳۹۳/۶ ^{cd}	۸۸۲/۵ ^a	
Ph	۲۲۰/۸ ^e	۴۹۴/۸ ^{bcd}	
Il	۳۹۱/۰ ^{cd}	۵۸۴/۹ ^b	
Ms	۴۷۰/۲ ^{bcd}	۵۱۹/۲ ^{bc}	
LSD _{0.05}		۱۳۲/۳	
منبع پتاسیمی		مس ($\mu\text{g pot}^{-1}$)	
-K	۳۷/۵۰ ^{cd}	۷۷/۵۸ ^c	
+K	۳۶/۴۸ ^{cd}	۲۰۲/۳۰ ^a	
Ph	۱۷/۷۶ ^d	۱۵۰/۰ ^b	
Il	۶۳/۶۱ ^{cd}	۸۵/۹۱ ^c	
Ms	۳۸/۷۸ ^{cd}	۴۲/۴۱ ^{cd}	
LSD _{0.05}		۴۹/۷۸	
منبع پتاسیمی		منگنز ($\mu\text{g pot}^{-1}$)	
-K	۴۰۷/۲ ^e	۴۹۱/۶ ^{de}	
+K	۴۹۱/۷ ^{de}	۹۸۳/۸ ^a	
Ph	۳۹۷/۴ ^e	۶۵۳/۶ ^{bcd}	
Il	۵۰۷/۵ ^{cde}	۶۷۰/۲ ^b	
Ms	۵۱۰/۷ ^{ede}	۶۸۶/۳ ^{bc}	
LSD _{0.05}			

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
KSB, KSF, KSB+KSB به ترتیب تلقیح باکتریایی، تلقیح قارچی و تلقیح مضاعف
-K, +K, Ph, Il, Ms به ترتیب بیانگر تیمارهای شاهد (بدون پتاسیم)، پتاسیم محلول، فلوکوپیت، ایلیت و مسکوویت.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر اصلی منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر آهن گیاه ذرت KSB و Cont به ترتیب شاهد و تلقیح باکتریایی Cont, K, Ph, Il و Ms به ترتیب شاهد، پتاسیم محلول، فلوگوپیت، ایلیت و مسکوویت

منابع

- خیامیم، ف.، ح. خادمی، ا.ح. خوشگفتارمنش و ش. ایوبی. ۱۳۸۸. توانایی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در جذب پتاسیم از میکاهای دی و تری اکتاهدرال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۴): جلد بیست و سوم، شماره ۴، صفحه‌های ۱۷۰ تا ۱۷۸.
- رحیمزاده، ن.، م. علمایی، ف. خرمالی، ا. دزدی‌پور، آ. امینی. ۱۳۹۲. اثر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بر آزادسازی پتاسیم از کانی میکایی گلوکونیت در ریزوسفر گیاه کلزا (*Brassica napus*). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۳(۲). جلد سوم، شماره ۴، صفحه‌های ۱۶۹ تا ۱۸۵.
- ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۹. روش جامع تشخیص و ضرورت مصرف بهینه کودهای شیمیایی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- Ahmad F, Ahmad I. and Khan M.S. 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbial. Reserch.*, 36:1-9.
- Aleksandrov V.G., Blagodyr R.N. and Iiiev I.P. 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. *Journal Microbiology*. 29: 111-114.
- Dong H. 2010. Mineral-microbe interactions: a review. *Frontiers of Earth Science, China*, 4(2):127-147.
- Duff, R.B. and D.M. Webley. 1959. *2-ketoglutaric acid and neutral chelator produced by soil bacterial*. Chem. India, PP.1376-1377.
- Egamberdiyevaa D. and Hoflich G. 2003. Influence of growth-promoting bacteria on the growth of wheat in different soils and temperatures. *Soil Biochemical*. 35: 973-978.
- Groudev S.N. 1987. Use of heterotrophic micro-organisms in mineral biotechnology. *Acta Biotechnologica*. 7: 299-306.
- Haby V.A., Russelle M.D., and Skogley E.O. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In: S. H. Mickelson (ed). *Soil Testing and plant analysis*. Madison. WI., USA. p. 181-227.
- Hopf J., Langenhorst F., Pollok K., Merten D., and Kothe E. 2008. Influence of microorganisms on biotite dissolution: an experimental approach. *Chemie Der Geochemistry*, 6: 45-56.
- Hu X.F., Chen J., and Guo J.F. 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tiannu mountain, Zhejiang, China. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 22: 983-990.
- Keshavarz Zarjani J., Aliasgharzad N., Oustan S., and Emadi, M. 2014. Release of potassium and iron from biotite and phosphorus from Tri-calcium phosphate by seven strains of bacteria under in -vitro conditions. *Iranian Journal of Soil Research*. 4: 555 – 564. (In Farsi with English Summary).
- Liermann L.J., Kalinowski B.E., Brantley S.L. and Ferry J.G. 2000. Role of bacterial siderophores in dissolution of horn blende. *Geochimica and Cosmochimica Acta*. 64: 587-602.
- Lin Q.M., Rao Z.H., Sun Y.X., Yao J. and Xing L.J. 2002. Identification and practical application of silicate – dissolving bacteria. *Agricultural Sciences in China*. 1: 81-85.



- Moira E.K., Henderson M.E.K. and Duff R.B. 1963. The release of metallic and silicates ions from minerals, rocks and soils by fungal activity. *Journal of Soil Science*. 14: 237-245.
- Mortland M. and Lawton K. 1961. Relationships between particle size and potassium release from biotite and its analogues. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 25:473-476.
- Norozi S. 2006. Release of Potassium from some mica minerals through some organic acid in rhizosphere of barley. M. Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. 158 p. (In Persian with English Summary).
- Ranjbar G.A. and bahmanyar M.A., 2007. Effects of soil foliar application of Zinc fertilizer on yield and growth characteristic of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Asian Journal. Plant Sci.*, 6(6): 1000-1005.
- Rogers, J.R. and P.C. Bennett. 2004. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: release of limiting nutrients from silicates. *Chemical Geology*. 203: 91-108.
- Styriakova, I., Bhatti, T. M., Bigham, J. M., Styriak, I., Vuorinen, A., and Tuovinen, O. H. 2004. Weathering of phlogopite by *Bacillus cereus* and *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Canadian Journal of Microbiology*, 50:213- 219.
- Uroz S., Calvaruso C., Turpault M. P., and Frey-Klett P. 2009. Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. *Trends in Microbiology*. 17 (8): 378–387.
- Welch S.A., Barker W.W. and Banfield J.F. 1999. Microbial extra cellular polysaccharides and plagioclase dissolution. *Geochimica and Cosmochimica Acta*. 63: 1405-1419.

The effect of silicate solubilizing bacteria on micronutrients release from mica minerals and their uptake by corn plants (*Zea mays* L.)

H. Rasouli-sadaghiani¹, M. Barin^{2*}, E. Sepehr³, S. Sadeghi⁴, and R. Vahedi⁴

1-Prof. of Soil Science, Department of Soil Science, Urumia University, Urumia, Iran

2-- Assistance Prof. of Soil science, Department of Soil Science, Urumia University, Urumia, Iran

3- Associate Prof. of Soil Science, Department of Soil Science, Urumia University, Urumia, Iran

4- Graduate Student of Soil Science, Urumia University, Urumia, I.R. Iran

* Corresponding author E-mail: m.barin@urmia.ac.ir.

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of silicate dissolving bacteria on releasing the micronutrients from micaceous minerals and their uptake by corn. The experiment was carried out as factorial completely randomized design with three replications. Greenhouse factors were including potassium sources (five levels) and microbial inoculation (two strains). The results showed that the highest iron content was from biotite that increased 3.98 times compared to the control. The highest zinc, copper and manganese contents were in microbial inoculation of phlogopite, illite and muscovite with 1.49, 8.4 and 1.34 times higher than control treatment, respectively. It could be concluded that microbial inoculation causes micronutrients releasing from silicate minerals and improves plant growth.

Keywords: Silicate minerals, solubilizing bacteria, corn