

تأثیر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های میکایی و جذب آن توسط گیاه ذرت

میرحسین رسولی صدقیانی^{*}، سعید صادقی آزاد، محسن برین، ابراهیم سپهر و بهنام دولتی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۲۲)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.89

چکیده

پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی موجود در بخش سطحی خاک بوده که بخش اعظم آن غیرقابل دسترس برای گیاه می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف جداسازی باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم از خاک ریزوسفری و ارزیابی توانایی کمی پتاسیم آزاد شده توسط سویه‌ها از منابع مختلف سیلیکاته انجام شد. بدین منظور بررسی‌های آزمایشگاهی و نیز گلخانه‌ای با گیاه ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۶۴۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایشگاهی شامل منبع پتاسیم (چهار سطح)، زمان انکوباسیون (هفت سطح) و تلقیح میکروبی (شش سویه) و فاکتورهای گلخانه‌ای شامل منبع پتاسیمی (۵ سطح) و تلقیح میکروبی (چهار سطح) بودند. نتایج نشان داد که از بین سویه‌ها، سویه KSB_{۱۳} دارای بیشترین قطر هاله انحلال (۲۵ میلی‌متر) و شاخص حلالیت (سه) بود. بالاترین مقدار پتاسیم آزاد شده (۳/۳۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر) از منبع بیوتت بوده که توسط سویه KSB_۱ پس از ۱۰ روز انکوباسیون به دست آمد. تلقیح میکروبی، وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه را به ترتیب ۳۰ و ۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین میانگین مقدار پتاسیم و وزن خشک بخش هوایی گیاهان در تیمار میکروبی در کانی‌های سیلیکاته به ترتیب ۳/۷۵ و ۱/۵۷ برابر بیش از تیمار شاهد به دست آمد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تلقیح باکتریایی سبب آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و بهبود رشد گیاه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، باکتری، کانی‌های سیلیکاته

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

مقدمه

از میان عناصر غذایی ضروری برای رشد و نمو گیاه، پتاسیم فراوانی بیشتری در خاک دارد (۱۳). پتاسیم به عنوان یک منبع تجدید نشدنی، عنصر غذایی ضروری و پرمصرف برای گیاه محسوب شده و نقش مهمی را در متابولیسم گیاه بازی می‌کند. علاوه بر متابولیسم گیاه، پتاسیم باعث بهبود کیفیت محصول می‌شود زیرا پتاسیم در پر کردن دانه، وزن دانه، افزایش مقاومت به بیماری‌ها نقش داشته و منجر به افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش‌ها می‌شود (۳). این عنصر به‌طور عمده در سه شکل مختلف در خاک وجود دارد که شامل پتاسیم قابل استفاده، تثبیت شده و پتاسیم موجود در مواد معدنی خاک می‌باشد. در بین سه شکل مختلف پتاسیم در خاک، غلظت پتاسیم موجود در محلول خاک بسیار کم بوده (۲-۱٪) و بخش عمده پتاسیم (۹۸٪) به صورت نامحلول در خاک، سنگ و مواد معدنی موجود می‌باشد (۱۳). بنابراین تنها بخش بسیار اندکی از پتاسیم نهفته در خاک به شکل قابل جذب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. بین اشکال مختلف پتاسیم رابطه تعادلی وجود دارد. این روابط تعادلی در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند (۳۲) به طوری که واکنش‌های تعادلی و سینتیکی موجود بین آنها سطح پتاسیم محلول و قابل دسترس گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۹ و ۳۳). اگرچه پتاسیم محلول و تبادل‌پذیر به عنوان دو شکل قابل جذب برای گیاه تلقی می‌شوند، مطالعات و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که دو شکل پتاسیم تثبیت شده و ساختاری نیز می‌توانند در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه نقش داشته باشند (۱۲ و ۲۰). رهاسازی پتاسیم از خاک به نوع و مقدار کانی‌های پتاسیم دار بستگی دارد. در فلدسپارهای پتاسیم دار، پتاسیم به وسیله پیوند کووالانسی درون چارچوب کریستال‌ها متصل شده است و رهاسازی پتاسیم از کانی تحت تأثیر هوا دیدگی صورت می‌گیرد (۱). در میکاها که سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ هستند، پتاسیم به وسیله نیروهای الکترواستاتیک نگهداری می‌شود. رهاسازی پتاسیم از میکاها می‌تواند به وسیله دو فرآیند شامل انحلال ساختار بلور و یا تبادل پتاسیم بین لایه‌ای با کاتیون

آب پوشیده انجام شود (۲۵). رهاسازی پتاسیم ساختمانی زمانی افزایش می‌یابد که غلظت پتاسیم محلول یا تبادل‌پذیر خاک در اثر جذب به وسیله گیاهان یا آبشویی کاهش یابد (۵). بنابراین تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، بایستی از طریق اضافه کردن کودهای شیمیایی حاوی پتاسیم و یا از طریق آزاد کردن پتاسیم تثبیت شده در کانی‌های حاوی پتاسیم (مانند میکا و فلدسپار) صورت گیرد (۳۲). از جمله راهکارهای استفاده از این منابع پتاسیم، کاربرد میکروارگانیزم‌های حل‌کننده می‌باشد. تحقیقات بسیاری در مورد فعال‌سازی زیستی منابع پتاسه غیرتبادل‌پذیر خاک توسط میکروارگانیزم‌های حل‌کننده پتاسیم صورت گرفته است و نشان داده‌اند که پتاسیم غیرتبادل‌پذیر می‌تواند به عنوان ذخایر پراهمیت، به فراهمی پتاسیم گیاه کمک کند (۲۱).

محققان سویه‌های مختلفی از باکتری‌ها را جهت انحلال پتاسیم، سیلیس و آلومینوم از کانی‌های نامحلول جداسازی کردند (۶). بدر (۸) گزارش کرد که باکتری‌ها قادر به انحلال کانی‌های سیلیکاته از نمونه‌های فلدسپار می‌باشند. محققان دیگر گزارش کردند که باکتری حل‌کننده سیلیکاته *B. mucilaginosus* *subspecies Siliceus* پتاسیم را از فلدسپارها و آلومینوسیلیکات‌ها آزاد کردند (۲۴). همچنین فرآیند انحلال سیلیکات‌ها توسط باکتری‌های گرم منفی *Erwinia herbicola*, *Bacterium herbicola* و سویه‌هایی از سودوموناس‌ها گزارش شده است (۱۰). گرادو (۱۴) گزارش کرد که انحلال مینرال‌ها به علت تولید مواد موسیلاژی و لعابی حاوی آگزوپلی ساکاریدها می‌باشد. تولید اسیدهای آلی مثل استات، سیترات و آگزالات توسط ریزموجودات 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 (۱۷، ۲۶ و ۳۶). محققان 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 به علاوه در غیر ریزوسفر را گزارش کردند (۱۸). فرآیند انحلال میکروبی سیلیکات‌ها به علت مداوم بودن و تأمین

جدول ۱. درصد اکسید عناصر اصلی تشکیل‌دهنده کانی‌های مورد مطالعه به روش XRF

نوع کانی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI*	Total
مسکوویت	۴۷/۳۲	۳۴/۲۴	۰/۰۸	۱/۸۲	۰/۶۲	۱۰/۷۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۶	۴/۴۴	۹۹/۵۵
فلوگوپیت	۴۲/۲۰	۱۴/۳۶	۲۳/۸۱	۴/۹۶	۰/۲۳	۹/۶۶	۲/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۷	۱/۸۲	۹۹/۴۷
بیوتیت	۴۶/۱۲	۱۶/۵۱	۱۱/۱۶	۱۳/۰۷	۰/۳۵	۷/۵۷	۰/۸۸	۰/۳۳	۰/۰۴	۱/۸۳	۱/۵۰	۹۹/۲۶

*: کاهش وزن در دمای بالا (Loss on ignition)

پلیت‌های حاوی محیط کشت جامد الکساندروف اضافه و سپس پلیت‌ها به مدت ۱۰ روز و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس خوابانده شدند. پس از این مدت کلنی‌های که در اطراف خود، دارای هاله شفاف بودند به‌عنوان حل‌کننده پتاسیم نامحلول انتخاب شدند. تمامی پلیت‌ها در طی پنج نوبت، یعنی ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۰ روز پس از تلقیح، از انکوباتور خارج شده و قطر کلنی رشد یافته و نیز قطر هاله شفاف حاصل از انحلال پتاسیم که در اطراف کلنی تشکیل شده بود به‌دقت اندازه‌گیری شد. در نهایت شاخص حلالیت (SI) (Solubilization Index) برای سویه‌های باکتریایی محاسبه شد. شاخص حلالیت به‌صورت حاصل جمع قطر کلنی و قطر هاله تقسیم بر قطر کلنی به‌دست آمد (۱۱).

تهیه و آماده‌سازی کانی‌های میکایی

ترکیب عنصری کانی‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. کانی‌های مورد استفاده شامل فلوگوپیت، مسکوویت و بیوتیت به‌وسیله آسیاب پودر شده و از غربال ۶۰ مش عبور داده شدند. بخش عبور داده شده از غربال با HCl ۰/۱ مولار شستشو داده شد تا پتاسیم قابل استفاده خارج گردد. اسید شویی تا حصول اطمینان از خروج کامل پتاسیم قابل استفاده ادامه یافت. در نهایت مقدار ۲ گرم نمونه خشک شده به محیط کشت اضافه گردید (۴).

برآورد کمی پتاسیم آزاد شده از کانی‌های حاوی پتاسیم در سویه‌ها (مرحله آزمایشگاهی)

برای این منظور تمامی جدایه‌هایی که توانایی انحلال بالایی در محیط جامد نشان داده بودند انتخاب شدند (۱۰ سویه). به‌طوری‌که پس از جداسازی کلنی‌های باکتری، آنها را جداگانه

درازمدت پتاسیم برای کشاورزی و باغبانی، بالخصوص برای گیاهان پرنیاز به پتاسیم مثل سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، چغندر قند، آفتابگردان، یونجه و غیره مفید می‌باشد. در نتیجه تعیین گونه‌های میکروبی توانا به انحلال پتاسیم کانی‌ها، می‌تواند علاوه بر تأمین منابع پتاسیم، از خطرات آلودگی زیست‌محیطی به‌وسیله کاربرد زیاد کودهای شیمیایی جلوگیری کرد. لذا مطالعه حاضر باهدف جداسازی میکروارگانیسم‌ها حل‌کننده پتاسیم از خاک ریزوسفری و ارزیابی توانایی کیفی و کمی پتاسیم آزاد شده توسط جدایه‌ها و نیز بررسی تأثیر جدایه‌های برتر آزادکننده پتاسیم بر میزان آزادسازی پتاسیم از منابع مختلف سیلیکاته در محیط ریشه و همچنین نقش پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه و بهبود خصوصیات رشدی گیاه ذرت صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

جداسازی میکروارگانیسم‌های آزادکننده پتاسیم از ریزوسفر
برای جداسازی میکروارگانیسم‌هایی که توانایی انحلال منابع سیلیکاته را دارند، تعداد ۴۰ نمونه خاک ریزوسفری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از مزارع سیب‌زمینی استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی برداشت گردید. جداسازی میکروارگانیسم‌های نمونه‌های خاک به روش رقت‌های ده‌تایی در محیط کشت الکساندروف، صورت پذیرفت (۱۶).

آزمون کیفی توانایی انحلال میکاها

از رقت‌های ۱۰^{-۳} و ۱۰^{-۴} مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر برداشته و به

آماده‌سازی میکاها جهت کشت گلخانه‌ای

از کانی‌های میکایی (فلوگوپیت، بیوتیت و مسکوویت) به‌منظور منبع تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان در این پژوهش استفاده شد. تمامی میکاها از الک ۶۰ مش عبور داده شد. برای حذف ناخالصی‌های موجود در سطوح تبادل کانی‌های میکایی و همچنین جهت اطمینان از خروج پتاسیم محلول و تبدلی، کانی‌های موردنظر با کلرورکلسیم ۰/۵ مولار اشباع و سپس شستشو شد (۲).

آماده‌سازی زادمایه جدایه‌های برتر جهت کشت گلخانه‌ای

بدین ترتیب که جهت تهیه زادمایه از سویه‌های منتخب، ابتدا باکتری‌ها بر روی محیط جامد آگار مغذی (Nutrient Agar) بازکشت شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت از رشد باکتری‌ها، یک لوپ از کشت تازه هر جدایه به درون یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از محیط NB مایه‌زنی و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۸۰ دور در دقیقه (rpm) تکان داده شدند.

طرح آزمایشی و اعمال تیمارها، کشت گیاهان و عملیات داشت

در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور استفاده گردید. فاکتورهای آزمایش شامل منبع پتاسیم در ۵ سطح: (۱) شاهد (بدون میکا) (۲) پتاسیم محلول (۳) فلوگوپیت (۴) بیوتیت (۵) مسکوویت و فاکتور دوم تلقیح با زادمایه میکروبی شامل ۲ سطح: (۱) بدون تلقیح میکروبی (۲) تلقیح با باکتری، که هر کدام از تیمارها در ۳ تکرار طرح‌ریزی شدند. بدین‌منظور از گلدان‌های ۶ کیلویی شامل مخلوط شن کوارتزی و سه نوع کانی میکایی (فلوگوپیت، بیوتیت و مسکوویت) تهیه شده از معادن شهرستان ارومیه استفاده شد. برای کشت گیاهان ابتدا در ته گلدان‌ها از کاغذ صافی و سپس از شن‌های درشت به‌عنوان زهکش استفاده شد. بعد از ریختن مقدار کمی شن کوارتزی در ته هر گلدان (حدود

به ارلن‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت الکساندروف (که منبع پتاسیم همان میکا‌های فوق‌الذکر شامل بیوتیت، فلوگوپیت و مسکوویت بودند) اضافه کرده (۱۶) و یک شبانه‌روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در انکوباتور شیکردار (۷۰ rpm) قرار داده شدند. برای برآورد کمی پتاسیم آزاد شده در این پژوهش از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل منبع پتاسیم (بیوتیت، فلوگوپیت و مسکوویت)، زمان انکوباسیون (۰، ۱، ۲، ۳، ۵، ۷ و ۱۰) و باکتری (شنسویه) بودند. به‌منظور تلقیح محیط‌های کشت، یک میلی‌لیتر از محیط‌های کشت فوق به ارلن‌های حاوی ۱۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت اضافه شد (مقدار میکا مورد استفاده برای همه تیمارهای پتاسیمی ۲ گرم بر لیتر بود). هم‌زمان یک نمونه شاهد نیز در سه تکرار با هر چهار منبع میکا به‌طور جداگانه آماده شد. در هر مرحله ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت برداشته و پس از سانتریفیوژ و صاف کردن نمونه‌ها میزان پتاسیم آنها توسط دستگاه فلیم‌فتمتر اندازه‌گیری شد (۳۴). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

انتخاب و آماده‌سازی بستر کشت گلدانی

بستر کشت مورد استفاده از شن کوارتزی عبور کرده از الک ۱۰ مش و به‌خوبی شسته شده با اسیدکلریدریک یک‌صدم مولار و آب مقطر تهیه شد. بستر کشت در اتوکلاو دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲ ساعت استریل شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت مورد استفاده به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (۳۵). بافت خاک شنی (۱۰۰ درصد شن) و مقدار نیتروژن، کربن آلی و فسفر ناچیز بود. مقدار پتاسیم قابل جذب (۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و هدایت الکتریکی پایین (۰/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر) و واکنش خاک (۷/۲) در حدود خنثی بود.

سیب‌زمینی، تعداد ۳۰ سویه باکتری آزاد کننده پتاسیم جداسازی شد. انتخاب سویه‌های مؤثر بر اساس ایجاد هاله شفاف در اطراف کلنی‌ها صورت گرفت (جدول ۲). همچنین نتایج شاخص حلالیت سویه‌های باکتری‌یابی (عمدتاً از گرم مثبت‌ها) متغیر بود (جدول ۲). از بین سویه‌های باکتری‌یابی حل‌کننده پتاسیم سویه‌های KSB_{۱۳}، KSB_۳ و KSB_{۱۲} به ترتیب با ۳، ۲/۷۷ و ۲/۷۷ از شاخص حلالیت بالایی برخوردار بودند. همچنین در بین سویه‌های باکتری‌یابی، سویه‌های KSB_{۱۳} و KSB_۸ با ۲۵ میلی‌متر قطر هاله انحلال بیشتری نسبت به سویه‌های دیگر بودند. همچنین در بین ایزوله‌های جداسازی شده، سویه‌هایی نیز بودند که قطر هاله انحلال و قطر کلنی تشکیل داده شده توسط آنها یکسان بوده که در این صورت شاخص حلالیت برای آنها یک در نظر گرفته شد.

برآورد کمی پتاسیم آزاد شده از کانی‌های حاوی پتاسیم

تجزیه واریانس، نشان داد که اثر اصلی منبع پتاسیمی، زمان و میکروارگانیزم و همچنین اثر متقابل دوتایی آنها بر میزان پتاسیم آزاد شده معنی‌دار ($P < 0/01$) بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح میکروبی و زمان انکوباسیون بیانگر آن است که بالاترین مقدار پتاسیم آزاد شده (۳/۹۳ میکروگرم در میلی‌لیتر)، پس از ۱۰ روز، مربوط به سویه KSB_۱ و کمترین مقدار (۰/۴۴ میکروگرم در میلی‌لیتر) مربوط به شاهد می‌باشد (جدول ۳). مقایسه میانگین منبع پتاسیمی و زمان انکوباسیون نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم آزاد شده (۴/۲۷ میکروگرم در میلی‌لیتر) و کمترین آن (۱/۴۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) پس از ۱۰ روز انکوباسیون به ترتیب در تیمار کانی‌های بیوتیت و مسکوویت مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تلقیح میکروبی و منبع پتاسیمی نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم آزاد شده (۳/۳۲ میکروگرم در میلی‌لیتر) مربوط به کانی بیوتیت با تلقیح سویه KSB_۱ بود. همچنین کمترین مقدار پتاسیم آزاد شده (۰/۰۶ میکروگرم در میلی‌لیتر) نیز مربوط به کانی مسکوویت (بدون تلقیح) بود (جدول ۵).

یک‌چهارم هر گلدان) مابقی گلدان‌ها با مخلوط شن کوارتزی و کانی میکایی (۵/۰ درصد وزنی) پر گردید. در تیمار پتاسیم محلول، از منبع K_۲SO_۴ (۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) استفاده 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 (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۶۴۰ (بعد از انجام ضدعفونی سطحی با هیپوکلرید سدیم) در هر کدام از گلدان‌ها قرار داده و مقداری شن کوارتزی روی آن‌ها ریخته شد. ۱۰ روز پس از سبزشدن بذرها، تعداد ۳ بوته‌های سالم‌تر و قوی‌تر در هر گلدان نگهداری شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه با دمای ۲۵±۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در طول دوره رشد (۷۰ روز)، از آب مقطر به‌منظور آبیاری و از محلول غذایی کامل فاقد پتاسیم برای تغذیه گیاهان استفاده شد.

برداشت و آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی

در پایان دوره رشد، ارتفاع گیاهان اندازه‌گیری و بخش هوایی گیاهان از رویه خاک بریده و ریشه‌ها نیز از خاک جدا شدند. بخش هوایی و ریشه‌ها پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس، نمونه‌ها برای تعیین عملکرد ماده خشک توزین و آسیاب شدند.

تجزیه‌های شیمیایی گیاه

پتاسیم در بخش هوایی نمونه‌های گیاهی به روش هضم خشک (سوزاندن در کوره الکتریکی و انحلال در اسیدکلریدریک) عصاره‌گیری و با دستگاه شعله‌سنج اندازه‌گیری شد (۳۵).

نتایج

بخش اول (مطالعه آزمایشگاهی)

بررسی توانایی کیفی سویه‌ها در انحلال پتاسیم غیرتبادلی از بین ۴۰ نمونه خاک ریزوسفری برداشت شده از مزارع

جدول ۲. قطر منطقه انحلال یافته (برحسب mm) و شاخص حلالیت باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم

سویه‌های میکروبی	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز هفتم	روز دهم	شاخص حلالیت (SI)
KSB _۱ <i>Bacillus sp.</i>	۱۲	۱۶	۱۶	۱۹	۲۱	۲/۵
KSB _۲ <i>Bacillus sp.</i>	۱۳	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۱
KSB _۳ <i>Bacillus sp.</i>	۱۱	۱۳	۱۵	۲۰	۲۳	۲/۷۷
KSB _۴ <i>Bacillus sp.</i>	۱۳	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۱
KSB _۵ <i>Pseudomonas sp.</i>	۱۰	۱۰	۱۲	۱۴	۱۴	۲/۲۳
KSB _۶ <i>Bacillus sp.</i>	۱۱	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۲/۲۶
KSB _۷ <i>Bacillus sp.</i>	۱۴	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴	۲/۷۱
KSB _۸ <i>Bacillus sp.</i>	۷	۱۴	۱۶	۱۸	۲۱	۲/۷۵
KSB _۹ <i>Bacillus sp.</i>	۱۴	۱۵	۱۷	۱۷	۱۹	۲/۲۵
KSB _{۱۰} <i>Bacillus sp.</i>	۱۲	۱۶	۱۹	۲۱	۲۳	۲/۷۷
KSB _{۱۱} <i>Bacillus sp.</i>	۱۴	۱۹	۲۰	۲۴	۲۵	۳
KSB _{۱۲} <i>Pseudomonas sp.</i>	۱۰	۱۵	۱۵	۱۷	۱۷	۲/۱۵
KSB _{۱۳} <i>Pseudomonas sp.</i>	۱۴	۱۸	۲۱	۲۳	۲۵	۲/۴۵
KSB _{۱۴} <i>Pseudomonas sp.</i>	۱۲	۱۶	۱۸	۲۰	۲۱	۱
KSB _{۱۵} <i>Pseudomonas sp.</i>	-	-	-	۱۱	۱۱	۱/۶۶

بخش دوم (مطالعه گلخانه‌ای)

ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه و بخش هوایی و مقدار پتاسیم بخش هوایی

اثر اصلی منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار ($P < 0/01$) شد (جدول ۶). بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه با ۹۳/۱۷ و ۵۷/۲۵ سانتی‌متر به ترتیب مربوط به تیمار پتاسیم محلول (+K) و شاهد (-K) بود (شکل ۱-الف). در بین کانی‌ها،

کاربرد بیوتیت با ۷۹/۳۳ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را به خود اختصاص داد که با مسکویت اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین تلقیح میکروبی، ارتفاع گیاه را به‌طور معنی‌داری بیشتر (حدود ۲۵ درصد) از شاهد افزایش داد. (شکل ۱-ب).

منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی، وزن خشک ریشه را به‌صورت معنی‌داری ($P < 0/01$) تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۶). بیشترین وزن خشک ریشه (۶/۹۷ گرم در گلدان) مربوط به تیمار پتاسیم محلول بود که با تمامی منابع کانی پتاسیمی

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح میکروبی و زمان انکوباسیون بر میزان پتاسیم آزاد شده ($\mu\text{g ml}^{-1}$) (هر میانگین حاصل سه عدد می‌باشد)

روز پس از انکوباسیون							سویه‌های میکروبی
۱۰	۷	۵	۳	۲	۱	صفر	
۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۶	شاهد
۳/۹۳	۳/۱۹	۲/۷۱	۲/۲۸	۲/۱۶	۱/۳۲	۰/۷۲	KSB _۱
۳/۳۵	۲/۹۴	۲/۸	۲/۱۶	۲/۱۶	۱/۲۸	۰/۷۲	KSB _۲
۳/۱۴	۳/۱۲	۲/۷۳	۱/۹۷	۱/۳۶	۰/۷۸	۰/۶۴	KSB _۷
۳/۰۴	۲/۸۶	۳/۰۶	۲/۲۴	۲/۱۵	۱/۶۲	۰/۶۲	KSB _{۱۳}
۲/۸۵	۲/۷۰	۲/۶۶	۲/۲۷	۲/۱۱	۱/۸۰	۰/۷۸	KSB _۹
۰/۱۸							LSD _{۰.۰۵}

KSB: باکتری حل‌کننده پتاسیم

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منبع پتاسیمی و زمان انکوباسیون بر میزان پتاسیم آزاد شده ($\mu\text{g ml}^{-1}$) (هر میانگین حاصل سه عدد می‌باشد)

روز پس از انکوباسیون							منبع پتاسیمی
۱۰	۷	۵	۳	۲	۱	۰	
۴/۲۷	۳/۶۵	۳/۵۲	۲/۹۵	۲/۶۷	۱/۹۸	۰/۹۵	بیوتیت
۳/۱۶	۳/۰۰	۲/۷۱	۲/۲۸	۱/۸۰	۱/۴۲	۰/۸۴	فلوگوپیت
۱/۴۰	۱/۲۷	۱/۱۸	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۶۱	۰/۰۹	مسکوویت
۰/۱۱							LSD _{۰.۰۵}

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح میکروبی و منبع پتاسیمی بر میزان پتاسیم آزاد شده ($\mu\text{g ml}^{-1}$) (هر میانگین حاصل سه عدد می‌باشد)

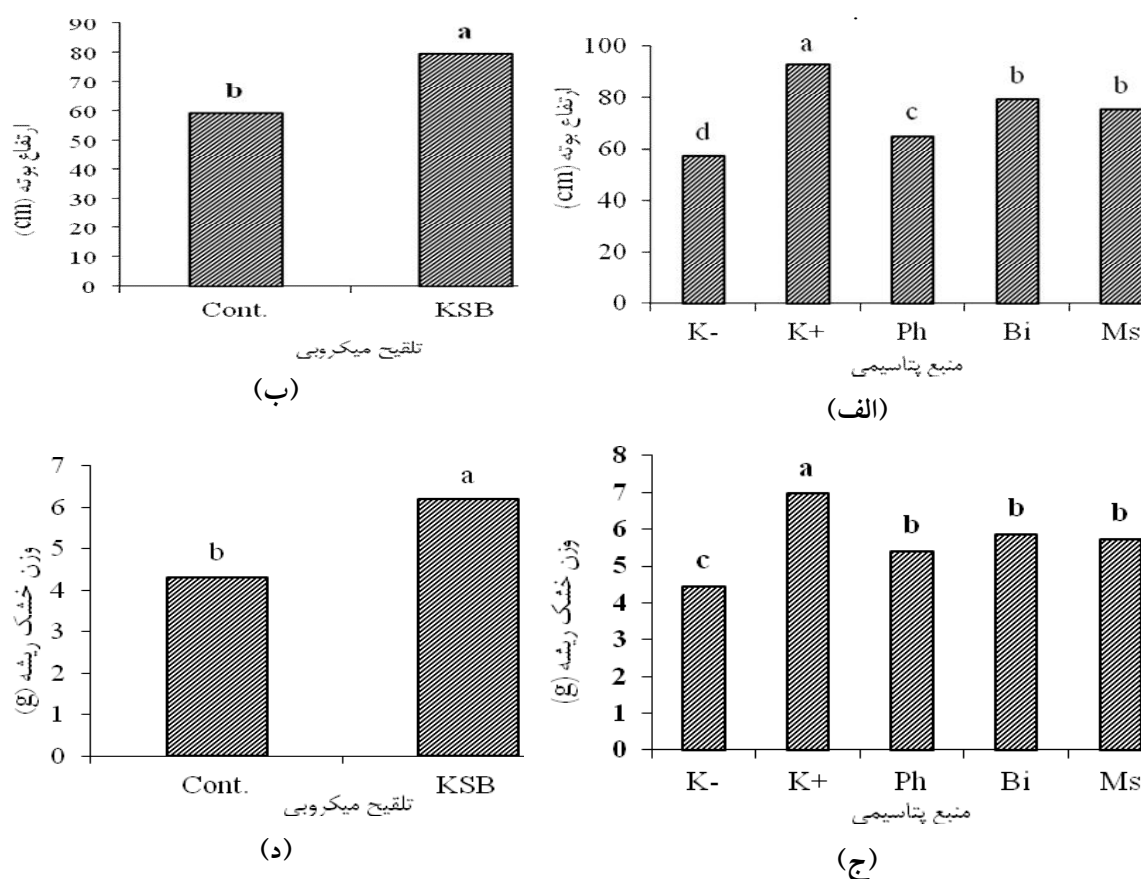
سویه‌های میکروبی			مسکوویت
بیوتیت	فلوگوپیت	شاهد	
۰/۵۹	۰/۳۹	۰/۰۶	
۳/۳۲	۲/۳۸	۰/۷۴	KSB _۱
۳/۱۳	۲/۳۱	۰/۷۰	KSB _۲
۲/۷۶	۱/۹۸	۰/۹۳	KSB _۷
۳/۰۷	۲/۲۸	۱/۱۹	KSB _{۱۳}
۳/۱۴	۲/۳۶	۰/۹۹	KSB _۹
۰/۱۴			LSD _{۰.۰۵}

KSB: باکتری حل‌کننده پتاسیم

جدول ۶. تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر صفات اندازه‌گیری شده ذرت

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
مقدار پتاسیم بخش هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک بخش هوایی	ارتفاع بخش هوایی		
۴۸۸۲۷۴/۸**	۱۰/۱**	۷۵/۵**	۲۲۷۹/۵**	۴	منبع پتاسیمی (K)
۷۰۹۹۵/۹**	۱۱/۴**	۳۱/۸**	۱۴۸۲/۷**	۳	تلقیح میکروبی (M)
۱۵۴۸۵/۳**	۰/۶۴ ^{ns}	۳/۳*	۴۳/۵ ^{ns}	۱۲	K*M
۲۳۲۶/۹	۰/۶۳	۱/۶	۳۳/۵	۴۰	خطا
۲۸/۳	۱۴/۲	۱۶/۲	۷/۸		ضریب تغییرات (%)

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱. الف و ب) اثر اصلی سطوح منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر ارتفاع بوته و ج و د) وزن خشک ریشه برگ‌های ذرت

مربوط به کانی بیوتیت بوده که با سایر تیمارهای میکایی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱-ج). همچنین تلقیح میکروبی، وزن خشک ریشه گیاه را حدود ۳۰ درصد نسبت به شاهد

تلقیح شده تفاوت معنی‌داری داشته و نسبت به کنترل ۵۶/۶۴ درصد افزایش نشان داد همچنین بیشترین وزن خشک ریشه (۵/۸۶ گرم در گلدان) در بین کانی‌های میکایی استفاده شده،

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر مقدار پتاسیم و وزن خشک بخش هوایی ذرت

وزن خشک اندام هوایی (g/pot)		مقدار پتاسیم بخش هوایی (mg pot ⁻¹)		منبع پتاسیمی
KSB	شاهد	KSB	شاهد	
۵/۲ ^{ab}	۴/۱ ^b	۱۷/۹ ^{ab}	۷/۵ ^b	بدون پتاسیم
۱۲/۵ ^a	۷/۴ ^b	۵۶۷/۹ ^a	۲۶۷/۶ ^b	پتاسیم محلول
۸/۲ ^a	۳/۹ ^b	۱۴۷/۸ ^a	۴۲/۶ ^b	فلوگوپیت
۹/۹ ^a	۶/۸ ^b	۲۰۷/۳ ^a	۶۱/۵ ^b	بیوتیت
۹/۱ ^a	۶/۶ ^b	۱۱۷/۳ ^a	۲۱/۷ ^b	مسکوویت

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری آماری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. KSB تلقیح باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم می‌باشد.

افزایش داد (شکل ۱-د). نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم بخش هوایی (۵۶۷/۹ میلی‌گرم در گلدان) مربوط به تیمار پتاسیم محلول با تلقیح میکروبی به‌دست آمد و کمترین مقدار پتاسیم بخش هوایی (۷/۵۳ میلی‌گرم در گلدان) در تیمار شاهد (K-) مشاهده شد. در بین تیمارهای میکایی، بیشترین مقدار پتاسیم گیاه (۲۰۷/۳ میلی‌گرم در گلدان) در کانی بیوتیت با تلقیح میکروبی حاصل گردید که نسبت به تیمار بدون تلقیح میکروبی بیوتیت (شاهد) تفاوت معنی‌داری را نشان داد. کمترین مقدار پتاسیم اندام هوایی گیاه (۲۱/۷ میلی‌گرم در گلدان) نیز در تیمار بدون تلقیح کانی مسکوویت مشاهده شد. میانگین مقدار پتاسیم در تیمارهای کانی‌های سیلیکاته ۳/۷۵ برابر بیش از تیمار شاهد بود.

بحث

براساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که برخی سویه‌ها دارای قطر هاله انحلال، شاخص حلالیت و نیز میزان پتاسیم آزاد شده از منابع پتاسیم غیرتبادلی بالایی برخوردار بودند. از جمله دلایل احتمالی انحلال پتاسیم از منابع غیرتبادلی و آزادسازی پتاسیم توسط سویه‌ها، می‌توان به تولید اسیدهای آلی و معدنی، سیدروفور، آگزو پلی‌ساکاریدها و آنزیم‌هایی که توسط این میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود، اشاره کرد که باعث انحلال پتاسیم از این منابع می‌گردند (۱۵). مویرا و همکاران

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی ($P < 0/01$) و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار ($P < 0/05$) شد (جدول ۵). بیشترین وزن خشک بخش هوایی (۱۲/۵۸ گرم در گلدان) در تیمار پتاسیم محلول با تلقیح میکروبی حاصل شد که نسبت به تیمار پتاسیم محلول بدون تلقیح میکروبی ۴۰/۸۵ درصد افزایش نشان داد. همچنین در بین کانی‌های تلقیح شده، بیشترین وزن خشک بخش هوایی (۹/۹۸ گرم در گلدان) مربوط به تلقیح میکروبی اعمال شده روی کانی بیوتیت و کمترین آن (۳/۹۳ گرم در گلدان) مربوط به فلوگوپیت بدون تلقیح میکروبی بود. به‌طورکلی میانگین وزن خشک بخش هوایی گیاهان در تیمار میکروبی در کانی‌های سیلیکاته ۱/۵۷ برابر تیمار شاهد بدست آمد.

Cont, Bi, Ph, K, Ms به‌ترتیب شاهد، پتاسیم محلول، فلوگوپیت، بیوتیت و مسکوویت می‌باشند. KSB و Cont به‌ترتیب شاهد و تلقیح باکتری‌های حل‌کننده می‌باشند. حروف غیرمشابه در بالای شکل از نظر آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند.

منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی و نیز اثر متقابل این دو فاکتور بر مقدار پتاسیم بخش هوایی معنی‌دار ($P < 0/01$) شد (جدول ۷). مقایسه میانگین مقدار پتاسیم بخش هوایی (جدول

کانی‌ها، توسط سویه‌های مختلف باکتری متفاوت می‌باشد. این امر احتمالاً به دلیل تنوع و تعدد در اسیدهای آلی تولید شده (بالاخص اسید سیتریک و اسید اگزالیک) و یا سایر مکانیسم‌های به‌کارگرفته شده توسط سویه‌های مؤثر مورد کاربرد باشد.

صفات رویشی اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع، وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه در حضور بیوتیت و مسکویت بیشتر از فلوگوپیت بود. همچنین هر سه کانی به‌طور معنی‌داری تمام صفات اندازه‌گیری شده را نسبت به شاهد افزایش دادند از طرفی دیگر بین سه کانی از نظر مقدار پتاسیم جذب شده گیاه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت هر چند مقدار جذب پتاسیم در تیمار مسکویت کمتر از دو کانی دیگر بود. بنابراین افزایش صفات رویشی مربوطه را نمی‌تواند فقط به آزادسازی پتاسیم نسبت داد احتمالاً عناصر دیگر (مثل آهن، منیزم و غیره از ساختمان) غیر از پتاسیم هم از ساختمان کانی‌ها آزاد شدند و نیز ممکن است نواقص ساختمانی و یا نوع بیوتیت و فلوگوپیت استفاده شده در این تحقیق باعث آزادسازی بیشتر عناصر شده باشد. مورتلند و لوتون (۲۳) گزارش دادند که وجود برخی نواقص ساختمانی در میکاها نیز از عوامل تاثیرگذار بر آزادسازی عنصر از آن‌ها می‌باشد. بعضی موسکویت‌ها گاهی دارای ناپیوستگی در طول قاعده‌های می‌باشند؛ این صفحات ناپیوسته در آغاز سرعت آزادسازی عناصر را افزایش می‌دهند (۱). تیمار پتاسیم محلول توانست صفات رویشی مورد اندازه‌گیری را نسبت به سایر منابع پتاسیم به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. رشد بهتر گیاه در تیمار پتاسیم محلول نشان می‌دهد که احتمالاً مقدار پتاسیم آزاد شده در کانی‌های سیلیکاتی کافی نبوده و تیمار پتاسیم محلول در اثر تعادل عناصر غذایی بهتر توانست رشد گیاه را بهبود ببخشد (۲).

افزایش معنی‌دار ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و مقدار پتاسیم در تیمارهای میکروبی نسبت به شاهد را می‌توان چنین توجیه کرد که این میکروارگانیسم‌ها با تخریب کانی‌های پتاسیم‌دار، این عنصر و احتمالاً برخی عناصر دیگر (همچون

(۲۲) تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌ها را جداسازی نمودند که پتانسیل آزادسازی یون‌های فلزی از منابع سیلیکات‌ها، سنگ و خاک‌ها را داشتند. کانی‌های مورد استفاده در مطالعه آنها ساپونیت و ورمیکولیت بودند. آنها همچنین بیان داشتند که این میکروارگانیسم‌ها اسید سیتریک و اسید اگزالیک را که به‌طور عمده در تجزیه یا انحلال سیلیکات‌های طبیعی و در انتقال یون‌های فلزی مؤثرند تولید می‌کنند.

همچنین در این تحقیق مشاهده شد که میزان پتاسیم آزاد شده توسط برخی از سویه‌ها (KSB_{۱۳}) پس از یک مدت مشخصی روند نزولی و یا ثابت را داشته که این روند احتمالاً به دلیل کمبود یا اتمام منابع پتاسیمی در محیط و حتی استفاده از پتاسیم آزاد شده باشد. به طوری که با افزودن مقادیر بیشتر میکا به محیط‌های کشت افزایش قابل توجهی در میزان آزادسازی پتاسیم مشاهده شد (در آزمایش دیگر این تحقیق نیز انجام شد که در این مقاله به دلیل حجم زیاد آورده نشده است).

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایشگاه، بالاترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده از کانی بیوتیت و پایین‌ترین مقدار از کانی مسکوویت مشاهده شد (جدول ۴). تمامی جدایه‌های میکروبی در حضور کانی مسکوویت از قدرت آزادسازی پایینی برخوردار بودند. پایین بودن آزادسازی پتاسیم در مسکوویت احتمالاً به این دلیل است که در کانی مسکوویت موقعیت هیدروکسیل نسبت به ورقه‌های سیلیکات، مایل بوده و فاصله بین پروتون و پتاسیم نیز زیادتر است که در نتیجه پتاسیم کمتر دفع می‌شود ولی در سایر کانی‌های مورد مطالعه به‌خصوص بیوتیت، این موقعیت نرمال بوده و پروتون نزدیک پتاسیم قرار گرفته و نیروی دافعه بیشتری دارد. همچنین ورقه‌های اکتاهدرال در مسکوویت بزرگ‌تر از بیوتیت هستند. به‌هر حال تفاوت در مقادیر آزاد شده پتاسیم توسط باکتری‌ها را می‌توان به تفاوت در ماهیت کانی‌های حامل پتاسیم مرتبط دانست. همچنین شدت تجزیه کانی‌های سیلیکات به‌وسیله باکتری‌ها به ساختمان و ترکیب شیمیایی کانی و توانایی انحلال پتاسیم بستگی دارد (۳۷). همان‌طور که نتایج مشاهده شد مقادیر آزاد شده پتاسیم از

میکروارگانیزم‌های آزاد کننده پتاسیم توسط برخی دیگر محققان گزارش شده است (۸ و ۳۱).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که باکتری مورد استفاده در این مطالعه جهت آزادسازی پتاسیم از منابع سیلیکاته مورد کاربرد، بیشتر روی کانی بیوتیت و سپس به ترتیب روی کانی‌های فلوگوپیت و مسکوویت مؤثر بودند (مسکوویت > فلوگوپیت > بیوتیت). محققان نشان دادند که آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها در ایلیت بیشتر از فلدسپار و آن هم بیشتر از مسکوویت می‌باشد (۸ و ۲۹). مطالعه گلخانه‌ای نشان داد که تلقیح میکروارگانیزم‌های آزاد کننده پتاسیم به ریزوسفر گیاه ذرت منجر به جذب بیشتر پتاسیم توسط گیاه در همه کانی‌های مورد استفاده، در مقایسه با شاهد شد. همچنین رشد گیاه در اثر تلقیح میکروبی به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش شاخص‌های رشد گیاه در تیمارهای تلقیح شده نشان می‌دهد که علاوه بر تأثیر این سویه‌ها بر آزادسازی پتاسیم و عناصر دیگر موجود در کانی، ترکیبات دیگری مثل مواد محرک رشد گیاه ممکن است توسط میکروارگانیزم‌ها تولید شده و در رشد گیاه مؤثر واقع شوند. در نتیجه چنین می‌توان استنباط کرد که این باکتری‌ها به احتمال زیاد دارای این پتانسیل می‌باشند که از آنها به‌عنوان مایه تلقیح در کودهای زیستی پتاسیمی، استفاده کرد.

آهن، منیزم و غیره) را از کانی آزاد کرده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند. مکانیسم تجزیه سیلیکات‌ها برحسب نوع میکروارگانیزم تجزیه کننده متفاوت خواهد بود. ولی اساساً این فرآیند در نتیجه تأثیر فرآیندهای متابولیک (مانند تولید و ترشح پروتون، اسیدهای آلی، سیدروفور و لیگاندهای آلی) این ریز جانداران روی کانی‌ها انجام می‌گیرد (۲۰، ۳۰ و ۳۹). محققان گزارش کردند که برخی باکتری‌ها مواد پلی ساکارییدی تولید می‌کنند که این مواد عوامل کربوکسیلی (COOH) و فنلی (C₆H₅O) دارند که با عناصر موجود در سیلیکات‌ها واکنش داده و تشکیل پیوندهای پیچیده‌ای می‌دهند که منجر به آزاد شدن عناصر از شبکه کریستالی شده و باعث انتقال آنها به داخل محلول خاک می‌شوند (۳۶). یکی دیگر از سازوکارهای افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را می‌توان به تولید مواد محرک رشد گیاه مثل ایندول استیک اسید (IAA) و جیبرلین نسبت داد (۲۸). برخی محققان گزارش کردند که باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Bacillus megaterium* قادر به تولید IAA می‌باشند که این ترکیب تولید شده توسط باکتری می‌تواند منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی و عملکرد گردد (۷ و ۹). شنگ و همکاران (۳۰) مطالعاتی را در مورد تأثیر تلقیح باکتری‌های حل کننده سیلیکات (*Bacillus edaphicus*) روی فلفل و کتان انجام دادند و افزایش مقدار پتاسیم گیاهان را مشاهده کردند. افزایش مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه در اثر تلقیح با

منابع مورد استفاده

۱. خیامیم، ف.، ح. خادمی، ا. ح. خوشگفتارمنش و ش. ایوبی. ۱۳۸۸. توانایی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در جذب پتاسیم از میکاهای دی و تریاکتاهدرال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۳(۴): ۱۷۸-۱۷۰.
۲. رحیم‌زاده، ن.، م. علمایی، ف. خرمالی، ا. دردی‌پور، آ. امینی. ۱۳۹۲. اثر باکتری‌های حل کننده سیلیکات بر آزادسازی پتاسیم از کانی میکایی گلوکونیت در ریزوسفر گیاه کلزا (*Brassica napus*). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ۳(۲): ۱۸۵-۱۶۹.
۳. طباطبایی، ج. ۱۳۸۸. اصول تغذیه معدنی گیاهان. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تبریز.
۴. کشاورز زرجانی ج، علی اصغر زاد ن، اوستان ش و م. عمادی. ۱۳۹۲. آزادسازی پتاسیم و آهن از کانی بیوتیت و فسفر از تری کلسیم فسفات توسط هفت سویه از باکتری‌ها در شرایط آزمایشگاهی. مجله پژوهش‌های خاک ۲۷: ۵۶۴-۵۵۵.

۵. ملکوتی، م.، ع. ا. شهابی و ک. بازرگان. ۱۳۸۴. پتاسیم در کشاورزی ایران. چاپ اول، انتشارات سنا، تهران.
6. Aleksandrov, V. G., R. N. Blagodyr and I. P. Iiiev. 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. *J. Microbiol.* 29: 111-114.
 7. Archana, D. S. 2007. Studies on potassium solubilizing bacteria. Master degree Thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad.
 8. Badr, M. A. 2006. Efficiency of K-feldspar combined with organic materials and silicate dissolving bacteria on tomato yield. *J. Appl. Sci. Res.* 2: 1191-1198.
 9. Chakraborty, U., B. Chakraborty and M. Basnet. 2006. Plant growth promotion and induction of resistance in *Camellia sinensis* by *Bacillus megaterium*. *J. Basic Microbiol.* 46: 186-195.
 10. Duff, R. B. and D. M. Webley. 1959. 2-ketoglutaric acid and neutral chelator produced by soil bacteria. *Cherne Ind.* 31(44): 1376-1377.
 11. Edi-Premono, M., M. A. Moawad and P. L. G. Vleck. 1996. Effect of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* on the growth of maize and its survival in the rhizosphere. *Indones. J. Crop Sci.* 11: 13-23.
 12. Evangelou, V. P., A. D., Karathanasis and R. L. Blevins. 1986. Effect of soil organic matter accumulation on potassium and ammonium quantity-intensity relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 378-382.
 13. Goldstein, A. H. 1994. Involvement of the quino protein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogeneous mineral Phosphates by gram negative bacteria. PP: 197-203. *In: Torriani-Gorini, A., E. Yagil, and S. Silver (Ed.), Phosphate in Microorganisms: Cellular and Molecular Biology.* ASM Press, Washington, D.C.
 14. Groudev, S. N. 1987. Use of heterotrophic micro-organisms in mineral biotechnology. *Acta Biotechnol.* 7: 299-306.
 15. Henderson, M. E. K., E. K. Moira and R. B. Duff. 1963. The release of metallic and silicates ions from minerals, rocks and soils by fungal activity. *J. Soil Sci.* 14: 237-245.
 16. Hu, X. F., J. Chen and J. F. Guo. 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tiannu mountain, Zhejiang, China. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 22: 983-990.
 17. Liermann, L. J., B. E. Kalinowski, S. L. Brantley and J. G. Ferry. 2000. Role of bacterial siderophores in dissolution of horn blende. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64: 587-602.
 18. Lin, Q. M., Z. H. Rao, Y. X. Sun, J. Yao and L. J. Xing. 2002. Identification and practical application of silicate – dissolving bacteria. *Agric. Sci. China* 1: 81-85.
 19. Martin, H. W. and D. L. Sparks. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 883-887.
 20. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1980. Potassium in crop production. *Adv. Agron.* 33: 59-110.
 21. Mengel, K. and K. Uhlenbecker. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by ryegrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:761-766.
 22. Moira, E. K., M. E. K. Henderson and R. B. Duff. 1963. The release of metallic and silicates ions from minerals, rocks and soils by fungal activity. *J. Soil Sci.* 14: 237-245.
 23. Mortland, M. and K. Lawton. 1961. Relationships between particle size and potassium release from biotite and its analogues. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:473-476.
 24. Norkina, S. P. and L. V. Pumpyansakya. 1956. Certain properties of silicate bacteria. *Crop Sci. Soc. Japan* 28: 35-40.
 25. Ogaard A. F. and T. Krogstad. 2005. Release of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 80-88.
 26. Paul, E. A. and F. E. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press, San Diego, Calif.
 27. Rogers, J. R. and P. C. Bennett. 2004. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: release of limiting nutrients from silicates. *Chem. Geol.* 203: 91-108.
 28. Rongchang, L. and L. Fenyting. 1995. International training course on biological fertilizer. *Bodenk Boading, China.*
 29. Sheng, X. F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. *Soil Biol. Biochem.* 37: 1918-1922.
 30. Sheng, X. F., J. J. Xia and J. Chen. 2003. Mutagenesis of the *Bacillus edaphicus* strain NBT and its effect on growth of chilli and cotton. *Agric. Sci. China* 2: 400-412.
 31. Sheng, X. F., F. Zhao, L. Y. He, G. Qiu and L. Chen. 2008. Isolation and characterization of silicate mineral-solubilizing *Bacillus globisporus* Q12 from the surfaces of weathered feldspar. *Can. J. Microbiol.* 54: 1046-1068.
 32. Sparks, D. L. and P. M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. PP: 201-276. *In: Munson, R. D. (Ed.) Potassium in Agriculture.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 33. Sparks, D. L. and W. O. Liebhardt. 1981. Effect of long term lime and potassium applications on quantity – intensity (Q/I) relationships in sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 786-790.
 34. Sugumaran, P. and B. Janarthanam. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. *World J. of Agric. Sci.* 3: 350-355.

35. Tandon, H. L. S. 1993. Methods of analysis of soils, plants, waters and fertilizer (Ed.), Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.
36. Welch, S. A., W. W. Barker and J. F. Banfield. 1999. Microbial extra cellular polysaccharides and plagioclase dissolution. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63: 1405-1419.
37. Yakhontova, L. K., P. I. Andreev, M. Y. Ivanova and L. G. Nesterovich. 1987. Bacterial decomposition of smectite minerals. *Dokl. Akad. Nauk, SSSR*. 296: 203-206.

The Effect of Silicate Solubilizing Bacteria on Potassium Release from Mica Minerals and its Uptake by Corn Plants

MH. Rasouli-Sadaghiani*, S. Sadeghi, M. Barin, E. Sepehr and B. Dovlati¹

(Received: Aug. 31-2015 ; Accepted: June 11-2016)
DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.89

Abstract

Potassium is the most abundant nutrition element in the surface soil but most of the potassium is unavailable to the plants. The present study was conducted with the aim of isolation of potassium solubilizing bacteria from rhizosphere soil and evaluation of quantitative ability of released potassium from different sources of silicate by strains. For this propose, laboratory and greenhouse evaluations were carried out on corn (*Zea mays* L. Cv. single cross 640) as a factorial in a completely randomized design with three replications. Laboratory factors were potassium sources (four levels), incubation time (seven levels) and microbial inoculation (six strains) and greenhouse factors were potassium sources (five levels) and microbial inoculation (four strains). The results showed that among the bacterial strains KSB₁₃ had maximum dissolution diameter (25 mm) and solubilisation index (SI=3). The highest potassium content (3/32 µg/mL) was released from biotite by strains of KSB₁₀ after ten days incubation. The microbial inoculation increased root dry weight and plant height for 30 and 25 percent, respectively, compared to control treatments. Also the mean shoot dry weight and K content in microbial treatments of silicate minerals were respectively increased 3/75 and 1/57 times higher than control treatment. It can be concluded that microbial inoculation causes potassium release from silicate minerals and improved plant growth.

Keywords: Bacteria, Release of non-exchangeable potassium, Silicates minerals

1. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Urmia Univ., Urmia, Iran.

*: Corresponding Author, Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir