تاثیر قارچ‌های حل‌کننده پتاسیم بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و برخی شاخص‌های رشد گیاه ذرت (*Zea mays L.*)

سعید صادقی آزاد[۱]، میرحسن رسولی صدقیانی[۲]، محسن برین[۳*]، ابراهیم سپهر[۴]، بهنام دولتی[۵]، رقیه واحدی[۶]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۰۱)

چکیده

از روش‌های تامین پتاسیم مورد نیاز گیاهان بهره‌گیری از کانی‌های سیلیکاتی و استفاده از میکروارگانیسم‌های حل‌کننده پتاسیم می‌باشد. این مطالعه با هدف جداسازی قارچ‌های حل‌کننده پتاسیم از خاک ریزوسفری و ارزیابی توانایی کمی پتاسیم آزادسازی شده توسط سویه‌ها از منابع مختلف سیلیکاته، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشگاهی شامل منبع پتاسیم در چهار سطح (بیوتیت، فلوگوپیت، ایلیت و مسکوویت)، زمان انکوباسیون در شش سطح (۰، ۱، ۳، ۵، ۷ و۱۰ روز) و میکروارگانیسم چهار سویه (*A. niger*، *A. terreus*، *Trichoderma harzianum* و *Penicellium* sp.) و فاکتورهای گلخانه‌ای شامل منبع پتاسیم در پنج سطح (شاهد، پتاسیم محلول، فلوگوپیت، ایلیت و مسکوویت) و تلقیح میکروبی دو سطح (بدون تلقیح میکروبی و تلقیح با قارچ‌ها) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم آزادسازی شده (۳/۲۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) پس از ده روز انکوباسیون مربوط به کانی بیوتیت با تلقیح سویه (KSF2) *A. terreus* بود که با سایر سویه‌های قارچی تفاوت معنی‌داری نداشت. تلقیح میکروبی، ارتفاع گیاه و وزن خشک ریشه را به ترتیب ۲۵/۴۷ و ۳۰/۳۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کاربرد کانی‌های سیلیکاتی و تلقیح میکروبی تاثیر معنی‌داری بر برخی شاخص‌های رشد (قطر ساقه و وزن خشک اندام هوایی) و مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده داشت. تیمارهای میکروبی مقدار پتاسیم بخش‌هوایی و ریشه گیاهان را در کانی ایلیت به ترتیب ۳/۳۷ و ۱/۴۳ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. بطور کلی استفاده از تلقیح قارچی تأثیر قابل توجهی در آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و بهبود رشد گیاه دارد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم غیرقابل تبادل، کانی‌های سیلیکاتی، قارچ، گیاه

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه علـــوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳ - استادیار گروه علـــوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۴- دانشیار گروه علـــوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۵- استادیار گروه علـــوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علـــوم خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*پست الکترونیک: m.barin@urmia.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر ضروری پرمصرف و فراوان‌ترین کاتیون جذب شده در بیشتر گیاهان است که نقشی مهم در متابولیسم گیاهان ایفا می‌کند. پتاسیم افزون بر متابولیسم گیاه، کیفیت محصول را با افزایش وزن دانه، تقویت دیواره سلولی و ساقه بهبود بخشیده همچنین سبب افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌های، آفات و تنش‌ها می‌گردد (Han & lee, 2006). همچنین با توجه به رفتارهای متفاوت کانی‌های رسی خاک در تثبیت و آزادسازی پتاسیم، بررسی وضعیت پتاسیم در خاک در مقایسه با سایر عناصر غذایی پرمصرف، پیچیدگی‌های بیشتری دارد (Sparks & Huang, 1985). پتاسیم همچنین جزء اصلی برخی از کانی‌های خاک است. مقدار چشمگیری از پتاسیم خاک درون کانی‌ها بویژه میکاها، فلدسپارها و فرآورده‌های هوادیدگی آنها است (Sparks, 1987). پتاسیم موجود در کانی‌ها ۹۰ تا ۹۸ درصد از کل پتاسیم خاک را تشکیل می‌دهد، در حالی‌که غلظت پتاسیم موجود در محلول خاک بسیار کم (۲-۱٪) می‌باشد (Spark, 1985 & Martin). تعادل دینامیکی میان اشکال مختلف پتاسیم وجود دارد که منجر به تداوم تامین پتاسیم می‌گردد. اگرچه پتاسیم محلول و تبادلی به عنوان دو شکل قابل جذب برای گیاه تلقی می‌شوند، پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که پتاسیم غیرتبادلی (تثبیت شده و ساختمانی) منبع مهمی از پتاسیم در خاک می‌باشد که می‌تواند پتاسیم مورد نیاز گیاه را در فصل رشد گیاه برآورده کند (Dong, 2010). توزیع پتاسیم از خاکی به خاک دیگر متفاوت است و به نوع کانی‌های غالب خاک بستگی دارد (Memon *et al*., 1988). در میکاها که سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ (فیلوسیلیکات) هستند، پتاسیم به وسیله نیروهای الکترواستاتیک نگهداری می‌شود. رهاسازی پتاسیم از میکاها توسط دو فرآیند شامل انحلال ساختار بلور یا تبادل پتاسیم بین لایه‌ای با کاتیون آبپوشیده انجام می‌شود (Ogaard & Krogstad, 2005). رهاسازی پتاسیم ساختمانی زمانی افزایش می‌یابد که غلظت پتاسیم محلول یا تبادلی خاک در اثر جذب به وسیله گیاهان یا آبشویی کاهش یابد (Jian-Cheng *et al*., 1980) گیاه پتاسیم مورد نیاز خود را از طریق کودهای شیمیایی حاوی پتاسیم و یا از طریق آزاد کردن پتاسیم تثبیت شده در آلومینو سیلیکات‌های اولیه (فلدسپارها و میکاها) تامین می‌کند (Sparks & Huang, 1985). میکروارگانیسم‌ها نقشی مهم در تغییر و تبدیل پتاسیم از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاهان ایفا می‌کنند. زیست‌فراهمی پتاسیم به عوامل فراوانی از جمله مقدار پتاسیم در شکل‌های گوناگون و هوادیدگی کانی‌های پتاسیم‌دار بستگی دارد. وید و همکاران (Weed *et al*., 1969) نشان دادند که زیست فراهمی پتاسیم در میان میکاهای گوناگون به گونه بیوتیت> فلوگوپیت> موسکویت می‌باشد. میکروارگانیسم‌ها در هوادیدگی کانی‌ها کارایی ویژه‌ای دارند. 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 قارچ‌ها را بر روی هوادیدگی کانی‌ها در ناحیه ریزوسفر گزارش کردند (Norozi, 2006; Shady *et al*., 1984; Monib *et al*., 1984; Haby *et al*., 1990). بسیاری از سنگ‌ها و مواد کانی دارای عناصر ضروری بویژه پتاسیم برای رشد میکروارگانیسم‌ها و گیاه می‌باشند. فعالیت میکروارگانیسم‌ها باعث آزادشدن، عناصر غذایی از کانی‌ها می‌شود (Uroz *et al*., 2009). به‌طور کلی میکروارگانیسم‌ها چند مکانیسم برای هوادیدگی کانی‌ها دارند که از آن جمله آزادکردن اسیدهای آلی، لیگاندها و اکسید یا احیا کردن عناصر کانی ها می‌باشد (Dong, 2010). میکروارگانیسم‌های مختلفی شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها جهت انحلال کانی‌های پتاسیمی و تبدیل آن به شکل محلول برای استفاده گیاهان شناخته شده‌اند (Shady *et al*., 1984) که در این میان قارچ‌ها دارای اهمیت بیشتری می‌باشند. اگرچه تعداد باکتری‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیمی بیشتر است، ولی قارچ‌ها توانایی بیشتری برای انجام این عمل دارند. قارچ‌ها بدلیل تولید هیف‌های رونده، به سرعت می‌توانند در سطح وسیعی توسعه یابند. از مهمترین قارچ‌های حل‌کننده کانی‌های پتاسیمی می‌توان به قارچ‌های جنس *Aspergillus* اشاره کرد. این جنس از قارچ‌ها بر حسب نوع منبع غذایی و شرایط کشت، اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک، گلوکونیک، تانیک تولید می‌کنند. این جنس از قارچ‌ها توانایی بسیار بالایی در تجزیه کانی‌های پتاسیمی دارند و قادرند در شرایطی که منبع کربنه و نیتروژنی آن‌ها فراهم شود، پتاسیم را از کانی‌ها جدا و به

Archive of SID

www.SID.ir

شکل قابل دسترس تبدیل کنند (Tonie, 1999 & Wallander). یوان و همکاران و گلووا و همکاران (Yuan *et al*., 2000; Glowa *et al*., 2003) گزارش کردند که قارچ‌های جنس *Aspergillus* قادر به هوادیده کردن فازهای معدنی و آزاد سازی پتاسیم هستند. لیان و همکاران (Lian *et al*., 2008) پیامد کاربرد میکروارگانیسم‌ها بر رهاسازی پتاسیم از کانی‌های دارای پتاسیم را با دو تیمار مایه‌زنی با قارچ گرما دوست *A. fumigatus* و تیمار بدون مایه زنی بررسی کردند. اندازه-گیری‌های ۳۰ روزه نشان داد که غلظت پتاسیم آزاد شده در تیمارهای مایه زنی شده با قارچ بسیار بیشتر از تیمارهای بدون مایه زنی است. توجه به کارایی میکروارگانیسم‌ها بر حلالیت و آزادسازی پتاسیم از کانی-های سیلیکاتی برای تلقیح گیاهان پر نیاز همانند ذرت که از محصولات راهبردی کشور و از جمله گیاهان پتاسیم دوست با رشد کوتاه و عملکرد بالا بوده و با توجه به هزینه‌های هنگفت و اثرات زیان بار زیست محیطی کودهای شیمیایی استفاده از میکروارگانیسم‌های حل کننده سیلیکات از جمله راهکارهای استفاده از پتاسیم غیر قابل تبادل است. لذا هدف از این تحقیق، جداسازی قارچ‌های حل‌کننده پتاسیم از خاک ریزوسفری و ارزیابی توانایی پتاسیم آزاد شده توسط جدایه‌ها و نیز بررسی تأثیر جدایه‌های برتر آزادکننده پتاسیم بر میزان آزاد سازی پتاسیم از منابع مختلف سیلیکاته در محیط ریشه و همچنین نقش پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه و بهبود شاخص‌های 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 ۳۰-۰ 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 (HU *et al*., 2006). این محیط شامل آگار (۱٪)، سولفات منیزیم (۰/۰۰۰۵٪)، کلرید آهن (۰/۰۰۱٪)، فسفات کلسیم (۰/۲٪)، گلوکز (۰/۵٪) و به منظور تأمین پتاسیم مورد نیاز از منابع سیلیکاته میکایی استفاده گردید.

تهیه و آماده‌سازی کانی‌های میکایی

تمامی کانی‌های مورد استفاده تهیه شده از شرکت مهندسی زمین کاو 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 محیط کشت الکساندروف اضافه گردید (Keshavarz- Zarjani *et al*., 2014).

آزمون کیفی توانایی انحلال میکاها

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 دمای۳۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. پس از این مدت کلنی‌های باکتری‌ها و قارچ‌هایی که هاله‌های شفافی را روی محیط-های کشت تشکیل داده بودند را جداسازی کرده و خالص-سازی آن‌ها در پلیت‌های دیگری به صورت خطی و نقطه-ای بازکشت گردیدند. بنابراین از طریق خالص سازی، قارچ‌های آزادکننده پتاسیم غیرتبادلی انتخاب شدند.

برآورد کمی پتاسیم آزادشده از کانی‌های حاوی پتاسیم در جدایه‌های قارچی

برای این منظور تمامی جدایه‌هایی که توانایی انحلال بالایی در محیط جامد نشان داده بودند انتخاب شدند. سپس این جدایه‌ها به ارلن‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت الکساندروف که به جای منبع پتاسیم حاوی میکا (بیوتیت، فلوگوپیت و مسکوویت) بودند اضافه کرده و ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور شیکردار (۷۰rpm) نگهداری شدند. برای برآورد کمی پتاسیم آزادشده در این پژوهش از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل منبع پتاسیم (بیوتیت، فلوگوپیت، مسکوویت و ایلیت)، زمان انکوباسیون (۰، ۱، ۳، ۵، ۷ و۱۰) و قارچ (چهار سویه

Archive of SID

www.SID.ir

شامل *A. niger, A. terreus, Penicellium sp.,* *(Tricoderma harizanum)* بودند. به‌منظور تلقیح محیط-های کشت، یک میلی‌لیتر از محیط‌های کشت فوق در سه تکرار و با چهار نوع متفاوت از میکاها (بیوتیت، فلوگوپیت، مسکوویت و ایلیت) به ارلن‌های حاوی ۱۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت که شامل ۲ گرم بر لیتر میکا بودند، اضافه شد. همزمان یک نمونه شاهد نیز در سه تکرار با هر چهار منبع میکا به طور جداگانه آماده شد. سپس میزان پتاسیم در پنج مرحله یعنی ۱، ۳، ۵، ۷ و۱۰ روز پس از انکوباسیون در شیکر- انکوباتور (۷۰rpm) و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید. به نحوی که در هر مرحله از ارلن‌های حاوی محیط‌های کشت، ۱۰ میلی‌لیتر برداشته و پس از سانتریفیوژ و صاف کردن نمونه‌ها میزان پتاسیم آنها توسط دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (Sugumaran & Janarthanam, 2007). 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 آماده سازی بستر کشت جهت کشت گلخانه‌ای

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 شد. بستر کشت درون اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲ ساعت استریل شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت مورد استفاده اندازه‌گیری شد (Tandon, 1993) (جدول ۵). به‌منظور تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان از کانی‌های میکایی (فلوگوپیت، بیوتیت و مسکوویت) استفاده شد. تمامی میکاها از الک ۶۰ مش عبور داده شد. برای حذف ناخالصی‌های موجود در سطوح تبادلی کانی‌های میکایی و همچنین جهت اطمینان از خروج پتاسیم محلول و تبادلی، کانی‌های مورد نظر با کلرورکلسیم ۰/۵ مولار اشباع و سپس شتشو شد. بدین منظور به مقادیر یکسان از هر یک از کانی‌های میکایی جداگانه جهت تأمین ۰/۵ درصد وزنی میکا، به گلدان‌ها اضافه و به خوبی با شن کوارتزی مخلوط گردید.

آماده سازی زادمایه جدایه‌های برتر جهت کشت گلخانه‌ای

جهت تهیه زادمایه از سویه‌های منتخب، ابتدا قارچها بر روی محیط کشت جامد دکستروز آگار (PDA[1]) بازکشت شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت از رشد قارچها، یک لوپ از کشت تازه هر جدایه به درون یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از محیط نوترینت براث (NB[2]) مایه زنی و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد در شیکر (۸۰rpm) تکان داده شدند.

طرح آزمایشی و اعمال تیمارها و کشت گیاهان

در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار استفاده گردید. فاکتورهای آزمایش شامل منبع پتاسیمی شامل پنج سطح: ۱) شاهد (بدون میکا) ۲) پتاسیم محلول ۳) فلوگوپیت ۴) ایلیت ۵) مسکوویت می‌باشند و فاکتور دوم تلقیح با زادمایه میکروبی شامل دو سطح: ۱) شرایط بدون تلقیح میکروبی ۲) تلقیح باقارچ (*A. niger, A. terreus* , *Penicellium sp., Tricoderma haianumz.*) بود. آزمایش گلدانی، در گلدان‌های ۶ کیلویی حاوی شن کوارتزی و سه نوع کانی میکایی (فلوگوپیت، ایلایت و مسکوویت) تهیه شده از منابع 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 هرگلدان (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 قارچی کشت تازه به فاصله چند میلیمتری 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 ۰/۵ درصد) در هرکدام از گلدان‌ها قرار داده و مقداری شن کوارتزی روی آن‌ها ریخته شد. ۱۰ روز پس از سبز شدن بذرها، تعداد ۳ بوته سالم‌تر و قوی‌تر در هر گلدان نگه داری شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه با دمای ۲۵±۵ درجه سانتی گراد نگه‌داری 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 ۷۰روز دوره رشد، ارتفاع و قطر ساقه گیاهان اندازه‌گیری و بخش هوایی گیاهان از رویه خاک بریده و ریشه‌ها نیز از

1- Potato Dextrose Agar
2- Nutrient Broth

Archive of SID

www.SID.ir

خاک جدا شدند. بخش هوایی و ریشه‌ها 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. پتاسیم در بخش هوایی نمونه‌های گیاهی به روش هضم خشک عصاره‌گیری و با فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Tandon, 1993).

نتایج و بحث

برآورد پتاسیم آزادشده از کانی‌های حاوی پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس مقادیر پتاسیم آزادسازی شده توسط سویه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. تاثیر منبع پتاسیمی، زمان و تلقیح میکروبی همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر مقادیر پتاسیم آزاد شده توسط سویه‌های قارچی معنی‌دار گردید (P<۰/۰۰۱). مقایسه میانگین اثر متقابل منبع پتاسیمی و زمان انکوباسیون نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم آزادسازی شده (۴/۰۶ میکروگرم در میلی‌لیتر) و کمترین آن (۱/۳۶ میکروگرم در میلی‌لیتر) پس از ۱۰روز انکوباسیون به ترتیب در تیمار کانی‌های بیوتیت و مسکوویت مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح میکروبی و منبع پتاسیمی نشان داد که تلقیح قارچی منجر به افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم آزادسازی شده از کانی‌های میکایی بودند، که در این میان بیشترین میزان پتاسیم آزادسازی شده (۳/۲۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) مربوط به کانی بیوتیت با تلقیح سویه KSF2 بود که با سایر سویه‌های قارچی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین مقدار پتاسیم آزادشده (۰/۰۴ میکروگرم در میلی‌لیتر) نیز مربوط به کانی مسکوویت (بدون تلقیح) بود (جدول ۳). اثر متقابل تلقیح میکروبی و زمان انکوباسیون منجر به افزایش معنی‌داری در میزان پتاسیم آزادسازی شده بود. بطوری‌که بیشترین میزان افزایش پس از ۱۰ روز انکوباسیون کانی‌ها، مربوط به سویه KSF3 بود که نسبت به تیمار شاهد (۰/۴۴ میکروگرم در میلی‌لیتر) ۸/۴ برابر افزایش نشان داد (جدول۴).

جدول ۱ -تجزیه واریانس مقدار پتاسیم آزادشده توسط جدایه‌های قارچی

Table 1. Analysis of variance for potassium release by fungal isolates

Source of variation	df	Mean of Square
Potassium source (K)	3	43.820***
Incubation time (T)	5	46.548***
(Microbial inoculation) (M)	4	49.853***
K*T	15	2.423***
K*M	12	2.122***
T*M	20	2.875***
K*T*M	60	0.348***
(Error)	240	0.088
(CV) (٪)		15.81

% Significant at the level of 0.1 ***

جدول۲- مقایسه مقادیر اثر متقابل منبع پتاسیم و زمان انکوباسیون بر محتوای پتاسیم آزاد شده

Table 2. Mean comparisons of interactional effect of the potassium source and incubation time on the content of released potassium

	Content of potassium released (µg ml^{-1})					
	0	1	3	5	7	10
Potassium source	Day of incubation					
Biotite	0.90 ^{ijk}	1.62 ^{fgh}	2.57 ^{e}	3.00 ^{cde}	3.23 ^{bc}	4.06 ^{a}
Phlogopite	0.79 ^{jk}	1.41 ^{ghi}	2.03 ^{f}	2.60 ^{e}	2.88 ^{cde}	2.70 ^{de}
Muscovite	0.06 ^{l}	0.74 ^{jk}	0.94 ^{ijk}	1.06 ^{ij}	1.26 ^{hij}	1.36 ^{ghi}
Illite	0.48 ^{kl}	1.06 ^{ij}	1.64 ^{fgh}	1.86 ^{fg}	3.14 ^{bcd}	3.51^{b}
LSD $_{0.05}$	0.47					

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan tests.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- مقایسه اثر متقابل بین محلول میکروبی و منابع پتاسیم بر میزان پتاسیم آزاد شده

Table 3. Comparison of the interactions between microbial inoculum and sources of potassium on content of released potassium

	Content of potassium released (µg ml^{-1})			
fungal isolates	Biotite	Phlogopite	Muscovite	Illite
Control (no inoculation)	0.60 ^{ghi}	0.39 ^{ij}	0.04 ^{j}	0.55^{hi}
(*Aspergillus niger*) KSF1	2.72 ^{abc}	2.56 ^{bc}	1.19 ^{f}	2.75 ^{abc}
(*A. terreus*) KSF2	3.21 ^{a}	2.59 ^{bc}	1.09 ^{fg}	2.02 ^{de}
(*Penicellium* sp.) KSF3	3.19 ^{a}	2.45 ^{cd}	1.19 ^{f}	2.57 ^{bc}
(*Tricoderma haianumz*.) KSF4	3.10 ^{ab}	2.36^{cde}	1.01 ^{fgh}	1.87 ^{e}
LSD $_{0.05}$	0.47			

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan tests.
Bo, Ph, Ms and Il, respectively biotite, phlogopite, muscovite and illite

جدول۴- مقایسه میانگین اثر متقابل محل انکوباسیون میکروبی و زمان انکوباسیون بر میزان پتاسیم آزاد شده

Table 4. Mean comparisons of interaction of microbial inoculum and incubation time on the content of released potassium

	Content of potassium released (µg ml^{-1})					
	0	1	3	5	7	10
fungal isolates	Days of incubation					
Control (no inoculation)	0.37	0.37	0.39	0.40	0.43	0.44
KSF1	0.61	1.38	2.19	2.75	3.33	3.60
KSF2	0.61	1.40	2.19	2.51	3.20	3.45
KSF3	0.61	1.81	1.25	2.48	3.24	3.72
KSF4	0.61	1.11	1.98	2.52	2.95	3.35
LSD $_{0.05}$	0.47					

KSF:Fungi releasing potassium

مطالعه گلخانه‌ای

بستر مورد استفاده (شن کوارتزی)

جدول ۵ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول خاک مورد استفاده دارای بافت شنی، مقدار نیتروژن،کربن آلی و فسفر ناچیز، هدایت الکتریکی پایین و واکنش خاک در حدود خنثی بود. همچنین مقدار پتاسیم موجود در شن کوارتزی بسیار ناچیز و کمتر از حد آستانه برای گیاه بود و از این نظر برای آزمایش بسیار مناسب بود.

جدول ۵- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شن

Table 5. Physical and chemical properties of sand

Soil texture	Clay	Silt	Sand	OC (%)	Total N	Total P	K	EC	pH
	(%)					(mgkg^{-1})		(dSm^{-1})	
Sandy	0	0	100	0	-	-	3.6	0.35	7.2

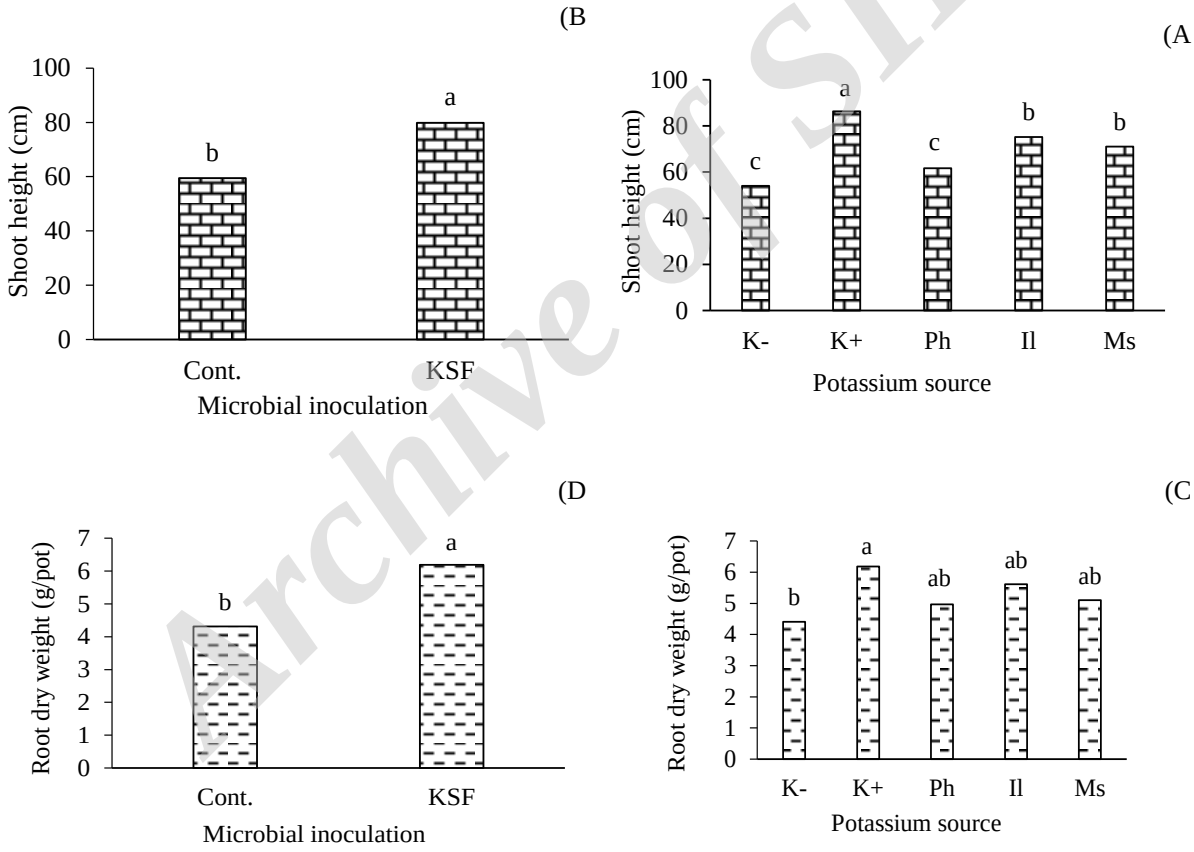
تاثیرتلقیح قارچ‌های حل‌کننده پتاسیم بر برخی شاخص-های رشدی گیاه ذرت

طبق جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی بر ارتفاع گیاه ($p<۰/۰۰۱$) و وزن خشک ریشه ($p<۰/۰۱$)، همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر قطر ساقه ($p<۰/۰۰۱$) و وزن خشک اندام هوایی معنی دار ($p<۰/۰۵$) شد (جدول ۶). بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه با ۸۶/۳۳ و ۵۴ سانتی متر به ترتیب مربوط به تیمار پتاسیم محلول (K+) و شاهد (K-) بود (شکل۱-A). در بین کانی‌ها، کاربرد ایلیت با ۷۵/۱۷ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را به خود اختصاص داد که با مسکویت اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین تلقیح میکروبی منجر به افزایش ۲۵/۴۷ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به شاهد گردید (شکل ۱-B). بالاترین وزن خشک ریشه (۶/۱۸ گرم در گلدان) در تیمار پتاسیم محلول مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با سایر منابع پتاسیمی نداشت و نسبت به

Archive of SID

www.SID.ir

شاهد ۱/۴۰ برابر افزایش نشان داد. همچنین بیشترین وزن خشک ریشه (۵/۶۱ گرم در گلدان) در بین کانی‌های میکایی استفاده شده، مربوط به کانی ایلیت بوده که با سایر تیمارهای میکایی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱-C). همچنین تلقیح میکروبی، وزن خشک ریشه گیاه را حدود ۳۰/۳۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱-D). قطر ساقه در تمامی تیمارهای قارچی که حاوی منبع پتاسیمی بودند، نسبت به شاهد (K-) افزایش معنی‌دار نشان داد. به طوری‌که بیشترین قطر ساقه (۰/۹۴ میلی‌متر) مربوط به تیمار پتاسیم محلول با تلقیح قارچی بود و کمترین قطر ساقه (۰/۳۶ میلی‌متر) نیز مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین در بین تیمارهای میکایی بیشترین قطر ساقه (۰/۷۴ میلی‌متر) مربوط به تیمار ایلیت بود که تفادت معنی‌دای با سایر کانی میکایی نداشت (شکل ۲- E). مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داده که بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۱۳/۴۱ گرم در گلدان) در تیمار پتاسیم محلول با تلقیح قارچی مشاهده شد که نسبت به تیمار پتاسیم محلول (بدون تلقیح) ۴۰/۸۵ درصد افزایش نشان داد. در بین کانی‌های تلقیح شده، بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۹/۹۷ گرم در گلدان) و کمترین آن (۳/۹۳ گرم در گلدان) به ترتیب مربوط به تلقیح قارچی اعمال شده روی کانی ایلیت و فلوگوپیت (بدون تلقیح) بود (شکل۲- F).



شکل ۱- مقایسه میانگین منبع پتاسیم و اثر تلقیح میکروبی بر ارتفاع ساقه (A، B)و وزن خشک ریشه (C، D)

Figure 1. mean comparison of potassium source and microbial inoculation main effect on shoot height (A, B) and root dry weight (C, D)

Ms, Il, Ph, K+, K-به ترتیب کنترل، پتاسیم محلول، فلوگوپیت، ایلیت، مسکوویت

K-, K+, Ph, Il and Ms respectively control, soluble potassium, phlogopite, illite, muscovite

KSF, cont به ترتیب کنترل و تلقیح قارچ

Cont and KSF respectively control and Inoculation fungal

Archive of SID
www.SID.ir

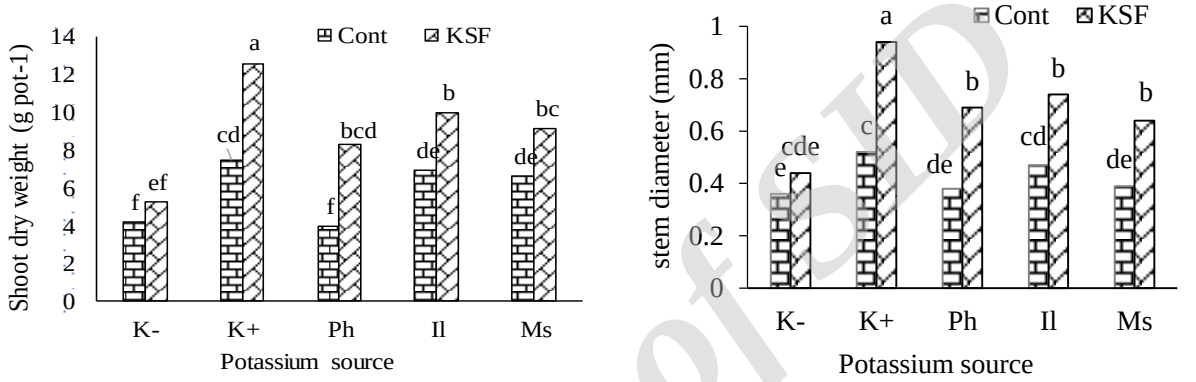
جدول ۶-تجزیه واریانس واریته برای منبع پتاسیم و اثر تلقیح میکروبی بر برخی شاخص های رشد ذرت

Table 6. Analysis of variance for potassium source and microbial inoculation effect on some growth indicators of maize

Source of variation	df	Mean Square			
		Shoot height	Stem diameter	Shoot dry weight	Root dry weight
Potassium source (K)	4	928.867***	0.088***	25.846***	2.711*
Microbial inoculation (M)	1	3100.8***	0.528***	78.894***	26.546***
K*M	4	190.00 ns	0.022***	3.696*	0.681 ns
Error	20	28.833	0.003	0.998	0.525
C.V (%)		7.71	9.38	13.47	13.78

ns, * , ** and *** respectively non-significant, significant at 5%, 1% and 0.1%

(F (E



شکل ۲- مقایسه میانگین منبع پتاسیم و تلقیح میکروبی بر قطر ساقه (E) و وزن خشک ساقه (F)

Figure 2. Mean comparison of potassium source and microbial inoculation on stem diameter (E) and Shoot dry weight (F)

به ترتیب کنترل، پتاسیم محلول، فلوگوپیت، ایلیت، مسکوویت Ms, Il, Ph, K+, K-

K-, K+, Ph, Il and Ms respectively control, soluble potassium, phlogopite, illite, muscovite

به ترتیب کنترل و تلقیح قارچ KSF, cont

Cont and KSF respectively control and Inoculation fungal

مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه

جدول تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر منبع پتاسیمی و تلقیح میکروبی و نیز اثر متقابل این دو فاکتور بر مقدار پتاسیم بخش هوایی ($p<۰/۰۰۱$) و ریشه ($p<۰/۰۱$) معنی‌دارشد (جدول۷). مقایسه میانگین مقدار پتاسیم بخش هوایی و ریشه (جدول۸) نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم بخش هوایی (۷۱۳/۷ میلی‌گرم در گلدان) و ریشه (۷/۲۴ میلی گرم در گلدان) مربوط به تیمار پتاسیم محلول به همراه تلقیح قارچی بود که به ترتیب۱۳/۳۰و ۱/۴۱ برابر نسبت به تیمار شاهد، پتاسیم محلول افزایش نشان داد. در بین تیمارهای میکایی، بیشترین مقدار پتاسیم گیاه (۲۰۷/۳ میلی‌گرم در گلدان) و ریشه (۶/۶۲ میلی‌گرم درگلدان) با تلقیح قارچی کانی ایلیت حاصل گردید. که به ترتیب ۳/۳۷ و ۱/۴۳ برابر نسبت به تیمار شاهد ایلیت افزایش داشت. همچنین کمترین مقدار پتاسیم اندام هوایی گیاه (۲۱/۷۳ میلی‌گرم در گلدان) و ریشه (۳/۶ میلی‌گرم در گلدان) نیز به ترتیب در تیمار بدون تلقیح کانی مسکوویت و فلوگوپیت مشاهده گردید.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷- تجزیه واریانس برای منبع پتاسیم و پتاسیم تلقیح میکروبی بر روی محتوای پتاسیم ذرت

Table 7. Analysis of variance for potassium source and potassium Microbial inoculation on the potassium content of maize

Source of variation	df	Mean Square	
		Potassium of shoot	Potassium of Root
Potassium source (K)	4	150260.2***	7.034***
Microbial inoculation (M)	1	***129534.126	***2.760
K*M	4	***17000.024	*0.247
Error	20	547.206	0.061
CV (%)		16.03	20.26

ns, * , ** and *** respectively non-significant, significant at 5%, 1% and 0.1%

جدول ۸- مقایسه میانگین منبع پتاسیم و تلقیح میکروبی بر قطر ساقه، وزن خشک ساقه و مقدار پتاسیم در ساقه و ریشه ذرت

Table 8. Mean comparisons of the potassium source and microbial inoculation on stem diameter, shoot dry weight and potassium content in shoot and root of maize

Potassium source (K)	Potassium of shoot (mg pot^{-1})		Potassium of shoot (mg pot^{-1})	
	Cont	KSF	Cont	KSf
K^-	7.53 ^{f}	17.97 ^{f}	4.02^{de}	4.79^{cde}
K^+	42.67^{ef}	567.90^{a}	5.12 ^{bcd}	7.24^{a}
pH	42.67^{b}	147.8^{d}	3.67^{e}	6.27^{ab}
Il	61.50^{e}	207.30^{c}	4.61^{de}	6.62^{a}
Ms	21.73^{ef}	117.3^{d}	4.15^{de}	6.06 ^{abc}
$LSD_{0.05}$	39.84		1.23	

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan tests.

- K, + K, Ph, Il and Ms respectively the control treatments (without potassium), potassium, phlogopite, illite, muscovite

Cont and KSF respectively control and Inoculation fungal

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، بالاترین مقادیر پتاسیم غیرتبادلی آزاد سازی شده از کانی بیوتیت و پایین‌ترین مقدار از کانی مسکوویت مشاهده گردید (جدول ۲). روند پایین آزادسازی پتاسیم در مسکوویت احتمالا به دلیل ساختمان کانی مسکویت است. در این کانی 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 به خصوص بیوتیت، این موقعیت نرمال بوده و پروتون نزدیک پتاسیم قرار گرفته و نیروی دافعه بیشتری دارد. همچنین ورقه‌های اکتاهدرال در مسکویت بزرگتر از بیوتیت هستند. محققین نشان دادند که آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها در ایلیت بیشتر از فلدسپار و آن هم بیشتر از مسکوویت می‌باشد (Badr, 2006 & Sheng, 2005). تمامی جدایه‌های قارچی در حضور کانی مسکوویت از قدرت آزادسازی پایینی برخوردار بودند (جدول۳). تفاوت در مقادیر آزاد سازی شده پتاسیم توسط میکروارگانیسم‌ها را می‌توان به تفاوت در ماهیت کانی‌های حامل پتاسیم مرتبط دانست (Yakhontova *et al*., 1987).

همچنین نتایج نشان داد که درتمامی سویه‌های قارچی میزان پتاسیم آزادشده در طول نمونه‌برداری در ۵ زمان سیر صعودی نشان داد (جدول۴). چنین به نظر می‌رسد که مقادیر آزاد سازی شده پتاسیم از کانی‌ها، توسط قارچ های حل کننده سیلیکات ها احتمالا به دلیل تنوع و تعدد در اسیدهای آلی تولید شده (بالاخص اسید سیتریک و اسید اگزالیک) و یا سایر مکانیسم‌های به کار گرفته شده توسط سویه‌های قارچی مورد کاربرد باشد. (Rogers & Bennett, 2004). محققین گزارش کردند که برهمکنش *A. fumigatus* با کانی‌های پتاسیمی از طریق واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منجر به آزاد سازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیمی شد (Lian *et al*., 2008). آرگلیس و همکاران (Argelis *et al*.,1993) مکانیسم‌های هوادیدگی انجام شده توسط *Pencillium frequentans* و *Cladosporium* روی ماسه سنگ، سنگ آهک و گرانیت را گزارش کردند. همچنین پژوهشگران گزارش کردند که هر دو گونه قارچی جداسازی شده دارای ظرفیت تولید مقادیر زیادی اسید اگزالیک، اسید سیتریک و اسید گلوکونیک می‌باشند که باعث تجزیه بیشتر سیلیکات‌های رسی، میکا و فلدسپارها از ماسه سنگ، گرانیت و کلسیت

Archive of SID

www.SID.ir

و دولومیت از سنگ آهک می‌شوند. در نهایت چنین نتیجه‌گیری کردند که ریسه‌های قارچها به دلیل ترشح اسیدهای آلی باعث هوازدگی وسیع سنگ‌ها می‌شوند بطور کلی شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شده درگیاه شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه، در کانی‌های ایلیت و مسکویت بیشتر از فلوگوپیت بود (ایلیت>مسکویت> فلوگپیت). همچنین هر سه کانی به‌طور معنی‌داری تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده را نسبت به شاهد افزایش دادند. مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه (ریشه و اندام هوایی) نیز در ایلیت نسبت به دو کانی دیگر افزایش داشت. از طرفی دیگر بین سه کانی از نظر مقدار پتاسیم جذب شده توسط ریشه گیاه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت هر چند مقدار جذب پتاسیم در تیمار مسکویت کمتر از دو کانی دیگر بود. بنابراین افزایش صفات رشدی گیاه را نمی‌توان صرفا به آزادسازی پتاسیم نسبت داد چرا که احتمالا عناصر دیگر (مثل آهن، منیزیم و غیره از ساختمان) غیر از پتاسیم هم آزادشده که سبب افزایش صفات رشدی گیاه ذرت شده است و نیز ممکن است نواقص ساختمانی و یا نوع ایلیت و فلوگوپیت مورد استفاده در این تحقیق باعث شده عناصر بیشتری آزاد نماید که با نتایج حاصل از مطالعه مورتلند و لاوتون (Mortland & Lawton. 1961) مطابقت دارد. بعضی موسکویت ها گاها دارای ناپیوستگی در طول قاعده ای می‌باشند؛ این صفحات ناپیوسته در آغاز تندی آزادسازی عناصر را افزایش می‌دهند (Khayamim *et al*., 2009).

تیمار پتاسیم محلول مقدار شاخص‌های رشدی گیاه را نسبت به سایر تیمارهای پتاسیمی به‌طور معنی‌داری افزایش داد. رحیم زاده و همکاران (Rahimzadeh *et al* ., 2013) گزارش کردند که رشد بهتر گیاه کلزا در تیمار پتاسیم محلول بیانگر این است که احتمالاً مقدار پتاسیم آزاد شده در کانی های سیلیکاتی کافی نبوده و تیمار پتاسیم محلول در اثر تعادل عناصر غذایی بهتر توانست رشد گیاه را بهبود بخشد.

افزایش معنی‌دار ارتفاع، قطر 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 آهن، منیزیم و غیره) را از کانی آزاد کرده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند. میکروارگانیسم‌ها با تحت تاثیر قرار دادن فرایندهای متابولیک (مانند تولید و ترشح پروتون، اسید های آلی، سیدروفور و لیگاندهای آلی) سبب تجزیه کانی-های سیلیکاتی می‌شوند (Badr, 2006; Rogers & Bennett, 2004; Liermann *et al*., 2000). بانیک و دی (Banik & Dey, 1982) گزارش کردند که قارچ‌های *Aspergillus fumigatus* و *Aspergillus candidus* قادر به ترشح اسیدهای اگزالیک، تارتاریک و سیتریک هستند که عوامل فنلی (C_6H_6O) و کربوکسیلی (COOH) موجود در ساختار این اسیدها با عناصر موجود در سیلیکات‌ها واکنش داده و تشکیل پیوندهای پیچیده‌ای می‌دهند که سبب آزادشدن عناصر از شبکه کریستالی شده و منجر انتقال آنها به داخل محلول خاک می‌شوند (Welch *et al*., 1999). افزایش قابل توجه شاخص‌های رشدی گیاه، عملکرد و جذب پتاسیم در گیاه تحت کشت گلخانه‌ای در اثر تلقیح میکروارگانیسم‌های آزاد کننده پتاسیم با کانی-های میکایی در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است (Youssef *et al*. 2010; Singh *et al*. 2010; Awasthi *et al*. 2011; Basak & Biswas, 2012; Zhang *et al*. 2013; Keshavarz zarjani *et al*., 2012; Rahimzadeh *et al*., 2013). پراجاپاتی و همکاران (Prajapati *et al*., 2013) با مطالعه تاثیر میکروارگانیسم‌های حل کننده پتاسیم محرک رشد بر بامیه (*Abelmoscus Esculantus*) مشاهده کردند که سویه‌های *Aspergillus terreus* منجر به افزایش ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، پتاسیم در گیاه و سایر خصوصیات رشدی گیاه شد. افزایش مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه در اثر تلقیح با میکروارگانیسم‌های حل کننده پتاسیم توسط برخی محققین گزارش شده است (Sheng *et al*., Badr, 2006 2008).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که سویه‌های قارچی جداسازی شده از ریزوسفر قادر به آزادسازی پتاسیم از منابع سیلیکاته مورد کاربرد بوده و روند آزادسازی پتاسیم بصورت بیوتیت> فلوگوپیت> ایلیت> مسکوویت بود. با توجه به نتایج آزمون گلخانه‌ای، می‌توان پی به توانایی بالای سویه‌های قارچی مورد کاربرد در آزادسازی پتاسیم بین لایه‌ای از کانی‌های سیلیکاتی مورد استفاده در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم برد. به وضوح مشاهده گردید که سویه‌های قارچی به خوبی توانسته‌اند

Archive of SID

www.SID.ir

در محیط حاوی میکاهای مختلف بالاخص ایلیت، پتاسیم موجود در بین لایه‌های این کانی‌ها را آزاد کنند. همچنین کانی‌های میکایی پتاسیم مورد نیاز ذرت را تا ۷۰ روز کشت تأمین کرده و غلظت پتاسیم گیاه را در محدوده کفایت نگه دارند. در مواقع کمبود پتاسیم در اثر سازوکار-هایی که در ریزوسفر رخ می‌دهد کانی‌ها هوادیده شده و پتاسیم خود را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. همچنین 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، به عنوان میکروارگانیسم‌های پتاسیمی محرک رشد، باعث تحریک رشد گیاه شوند. توجه به قابلیت‌های ذاتی و بسیار متنوع میکروارگانیسم‌ها از جمله قارچ‌ها برای تولید و مدیریت استفاده از کودهای زیستی پتاسیمی می‌تواند کمبود پتاسیم خاک به خصوص در مزارع یا مناطقی که تحت کشت گیاهان پر توقع نسبت به پتاسیم هستند را جبران کرده و گامی همسو با سیاست‌های پایدار کشاورزی باشد. بنابراین با توجه به مشکلات زیست محیطی و اثرات مثبت کودهای زیستی بر افزایش محصولات کشاورزی استفاده از کاربرد همزمان کانی‌های حاوی پتاسیم و کودهای زیستی حاوی میکروارگانیسم‌های حل‌کنندهٔ سیلیکات‌های نامحلول پیشنهاد می‌گردد.

Reference

Argelis D.T., Gonzala D.A, Vizcaino C., and Gartia M.T. 1993. Biochemical mechanism of stone alteration carried out by filamentous fungi living in monuments. *Biogeochemistry*, 19: 129-147.

Awasthi R., Tewari R., Nayyar H. 2011. Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: effects on growth and physiology of crops. *International Research Journal of Microbiology*, 2: 484-503.

Badr, M.A. 2006. Efficiency of K-feldspar combined with organic materials and silicate dissolving bacteria on tomato yield. *Journal of Applied Science Research*, 2: 1191-1198.

Banik S., and Dey B.K. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate solubilizing microorganisms. *Plant and Soil*, 69: 353-64.

Basak B.B., Biswas D.R. 2012. Modification of waste mica for alternative source of potassium: evaluation of potassium release in soil from waste mica treated with potassium solubilizing bacteria (KSB). Germany: *Lambert Academic Publishing*.

Dong, H. 2010. Mineral-microbe interactions: a review. *Frontiers of Earth Science*, China, 4(2):127-147.

Glowa K.R., Arocena J.M. and Massicotte H.B. 2003.Extraction of potassium and/or magnesium from selected soil minerals by Piloderma. *Geomicrobiology Journal*, 20, 99-112.

Haby V.A., Russelle M.D., and Skogley E.O. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In: S. H. Mickelson (Eds). *Soil Testing and plant analysis*, Madison. WI., USA. p. 181-227.

Han H., Supanjani S., and Lee K.D. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant Soil Environmental*, 52(3): 130-136.

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.

Jian- Cheng X., Mao- Tong M., Cheng- Lin D., and Ji-Xing C. 1980. On the potential of K- nutrition and the requirement of K- fertilizer in important paddy soils of China. *Institute of Soil Sciences*, Academia Sinca, Nanjing.

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 Persian)

Keshavarz Zarjani J., Aliasgharzad N., and Oustan S., 2012. Effects of Six Strains of potassium releasing bacteria on growth and potassium uptake of tomato plant. *Journal of Water and Soil*, 23 (2): 245-255. (In Persian)

Khayamim F., Khademi H., Khoshgoftarmanesh A.H and Ayoubi Sh. 2009. Ability of barley (*Hordeum vulgare* L.) to take up potassium from di- and tri-octahedral micas. *Journal of Water and Soil*, 23 (4): 170-178. (In Persian)

Lian B., Wang B., Pan M.., Liu C., and Teng H. 2008. Microbial release of potassium from K-bearing minerals by thermophilic fungus *Aspergillus fumigatus*. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 72:87-98.

Liermann L.J., Kalinowski B.E., Brantley S.L., and J.G. Ferry. 2000. Role of bacterial siderophores in dissolution of horn blende. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 64: 587-602.

Archive of SID

www.SID.ir

Martin W. H., and Sparks D. L. 1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 16: 133-162.

Memon Y.M., Fergus I.F., Hughes J.D., and Page D.W. 1988. Utilization of non-exchangeable soil potassium in relation to soil types, plant species and stage of growth. *Australian Journal of Soil Research*, 26: 489-496.

Mortland, M. and K. Lawton. 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 rhizospher of barley. M. Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 158 p. (In Persian)

Ogaard A.F., and Krogstad T. 2005. Release of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. *Journal of Plant Nutriton.Soil Science*, 168: 80-88.

Prajapati K., Sharma M.C., and Modi H.A. 2013. Growth promoting effect of potassium solubilizing microorganisms on okra (Abelmoscus Esculantus). *International Journal of Agricultural Science and Research*, 3: 181-188.

Rahimzadeh N., Olamaei M., Khormali F., Dordipour E., and Amini A. 2013. The effect of silicate dissolving bacteria on potassium release from glauconite in Canola (Brassica napus) rhizosphere. *Jornal of Soil Management and Sustainable Production*, Vol. 3(2). (In Persian)

Roger J.R., and Bennett P.C. 2004. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: release of limiting nutrients from silicates. *Chemical Geology*, 203: 91-108.

Shady M.A., Ibrahim I., and Afify A.H. 1984. Mobilization of elements and their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. *Egyptian Journal of Botany*, 27: 17-30.

Sheng X.F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of bacillus edaphicus. *Soil Biology and Biochemestry*, 37: 1918-1922.

Sheng X.F., Zhao F., He L.Y., Qiu G., and Chen L. 2008. Isolation and characterization of silicate mineral-solubilizing Bacillus globisporus Q12 from the surfaces of weathered feldspar. *Canadian Journal of Microbiology*, 54: 1046-1068.

Sparks D.L. and Huang P.M., 1985. Physical Chemistry of Soil Potassium. Potassium in Agriculture, (potassiuminagri), pp.201-276.

Sparks D.L. 1987. Potassium Dynamics in Soils. Advances in Soil Science, 6: 1-63.

Singh G., Biswas D.R, Marwah T.S. 2010. Mobilization of potassium from waste mica by plant growth promoting rhizobacteria and its assimilation by maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum L.*). *Journal of Plant Nutrtion*, 33: 1236–51.

Sugumaran P., and Janarthanam B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3: 350-355.

Tandon, H.L.S., 1993. Methods of Analysis of Soils, Plants, Waters and Fertilizers, Fertilizers Development and Consultation Organization. New Delhi, India, pp.58-60

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.

Wallander H., and Tonie W. 1999. Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal Pinus sylvestris seedlings. *Mycorrhiza*, 9: 25-32.

Weed S.B., Davey C.B., and Cook M.G. 1969. Weathering of mica by fungi. *Soil Science Society of America Proceedings*, 33:702-706.

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.

Yakhontova L.K., Andreev P.I., Ivanova M.Y., and Nesterovich L.G. 1987. Bacterial decomposition of smectite minerals. Doklady Akademii Nauk, *Society for the Scientific Study of Reading*, 296: 203-206.

Youssef G.H., Seddik W.M.A., and Osman M.A. 2010. Efficiency of natural minerals in presence of different nitrogen forms and potassium dissolving bacteria on peanut and sesame yields. *Journal of American Sciences*, 6(11):647-60.

Yuan L., Fang D.H., Wang Z.H., Shun H., and Huang J.G. 2000. Bio-mobilization of potassium from clay minerals: I. By ectomycorrhizas. *Pedosphere*, 10, 339-346.

Zhang A., Zhao G., Gao T., Wang W., Li J., and Zhang S. 2013. Solubilization of insoluble potassium and phosphate by Paenibacillus kribensis CX-7: a soil microorganism with biological control potential. *Journal of Africa Microbiol Research*, 7(1):41-7.

Archive of SID

www.SID.ir

Influence of K- Solubilizing Fungi on Potassium Release from Silicate Minerals and some Growth Indices of Corn (*Zea mays* L.)

Saeid Sadeghi[1], MirHassan Rasouli-Sadaghiani[2], Mohsen Barin[3]*, Ebrahim Sepehr[4], Behnam Dovlti[5], Roghaye Vahedi[6]

(Received: February 2017 Accepted: September 2017)

Abstaract

Application of silicate minerals and potassium solubilizing microorganisms is a common method for supplying of potassium to plants. This study with the aim of isolation of potassium solubilizing fungi from rhizosphere soil and evaluation of quantitative ability of released potassium from different sources of silicate by strains was carried out as factorial experiment based on completely randomized design with three replications. Laboratory factors were including potassium sources in four levels (biotite, phlogopite, illite and muscovite), incubation time in six levels (0, 1, 3, 5, 7 and 10 days) and microorganisms in four strains (*Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Trichoderma harzianum* and *Penicellium* sp.) and greenhouse factors were including potassium sources in five levels (control, soluble potassium, phlogopite, illite and muscovite) and microbial inoculation in two levels (non-inoculated control and inoculation with fungi). Results showed that the highest potassium content (3.21 µg ml^{-1}) was released ten days after incubation from biotite by strains of KSB2 that was not significantly different from other fungal strains. The microbial inoculation increased 25.47 and 30.37 percent plant high and root dry weight compared to control treatments, respectively. The application of silicate minerals and microbial inoculation had a significant effect on some growth indices (stem diameter and shoot dry weight) and the content of potassium. The microbial inoculation increased potassium content of shoot and root in illite 3.37 and 1.43 times higher than control treatment, respectively. In general, the application of fungal inoculum had significant effect on potassium release of silicate minerals and plant growth.

Keyword: Fungus, Non exchangeable potassium, Plant, Silicates minerals

Archive of SID

1- Graduate Student, Department of Soil Science, Urmia University
2- Prof., Department of Soil Science, Urmia University
3- Assist. Prof., Department of Soil Science, Urmia University
4- Assoc. Prof. Department of Soil Science, Urmia University
5- Assist. Prof., Department of Soil Science, Urmia University
6- MSc Student, Department of Soil Science, Urmia University
*Corresponding Author E-mail: m.barin@urmia.ac.ir

www.SID.ir