Archive of SID

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره ششم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

اثر قارچ میکوریز آربسکولار، باکتری و تنش خشکی بر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و جذب پتاسیم در گیاه ذرت

المیرا لطفی[۱]، *مجید باقرنژاد[۲]، نجف‌علی کریمیان[۲] و مهدی زارعی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز،
[۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: هوادیدگی کانی‌ها و آزاد شدن عناصری چون پتاسیم با حضور ریزجانداران افزایش می‌یابد. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد گیاه علاوه بر بهبود وضعیت رشد و تغذیه گیاه میزبان و خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، می‌توانند گیاه میزبان را در برابر تنش‌های محیطی مثل خشکی حمایت کنند. با توجه به کمبود اطلاعات، این مطالعه با هدف بررسی گلخانه‌ای عوامل میکروبی و محیطی بر شکل‌های مختلف پتاسیم در یک خاک آهکی و هم‌چنین جذب کل پتاسیم در گیاه ذرت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور نیل به اهداف فوق مطالعه‌ای گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار طراحی شد. فاکتورها شامل قارچ میکوریز آربسکولار در دو سطح (تلقیح‌نشده با قارچ و تلقیح‌شده با قارچ *گلوموس اینترارادیسز*)، باکتری در دو سطح (تلقیح‌نشده با باکتری و تلقیح‌شده با باکتری *سودوموناس فلورسنس*) و تنش خشکی در چهار سطح (بدون تنش، تنش FC ۷۵٪، تنش FC ۵۰٪ و تنش FC ۲۵٪) بود. بعد از برداشت گیاه وزن خشک نمونه و غلظت و جذب عنصر غذایی پتاسیم در اندام هوایی گیاه بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و رنگ‌آمیزی ریشه‌ها انجام گردید. خاک گلدان‌ها نیز پس از هوا خشک‌شدن برای تعیین شکل‌های مختلف پتاسیم استفاده و در ادامه نتایج تجزیه آماری شدند.

یافته‌ها: با افزایش تنش خشکی غلظت شکل‌های مختلف پتاسیم و جذب پتاسیم توسط گیاه افزایش و درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت. کاربرد قارچ میکوریز و باکتری درصد کلنیزاسیون ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. با افزایش تنش خشکی، کاربرد به تنهایی قارچ و کاربرد هم‌زمان قارچ و باکتری، شکل‌های مختلف پتاسیم و به دنبال آن مقدار جذب پتاسیم گیاه را نسبت به سطح بدون کاربرد قارچ و باکتری افزایش داد.

نتیجه‌گیری: باکتری محرک رشد گیاه، همزیستی میکوریزی و برهم‌کنش آن‌ها بر شکل‌های مختلف پتاسیم و جذب آن توسط گیاه تأثیر معنی‌دار دارند.

واژه‌های کلیدی: *سودوموناس فلورسنس*، *گلوموس اینترارادیسز*، تنش خشکی، جذب پتاسیم، ذرت

* مسئول مکاتبه: majidbaghernejad@yahoo.co.uk

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در بررسی روابط خاک و گیاه و عناصر غذایی، مسایل مربوط به پتاسیم، جزء مهم‌ترین مسایل محسوب می‌شود. پتاسیم به‌طور متوسط ۲/۶ درصد وزنی پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (36). به‌طور کلی پتاسیم به چهار شکل مختلف در خاک وجود دارد: پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی یا تثبیت‌شده و پتاسیم ساختمانی یا معدنی. بخش عمده پتاسیم خاک در بخش ساختمانی بوده و پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی فقط بخش اندکی از پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهند (36). چهار شکل مختلف پتاسیم به‌ترتیب قابلیت استفاده آن برای گیاه به‌صورت محلول> تبادلی> غیرتبادلی> ساختمانی می‌باشد (35). عوامل مختلف فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی، آزادسازی پتاسیم به‌وسیله واکنش‌های تبادل کاتیونی و فرایندهای انحلال را کنترل می‌کنند. این عوامل شامل اندازه ذرات، یون‌های هیدرونیوم (pH خاک)، فعالیت‌های بیولوژیکی، کاتیون‌های غیرآلی، تری و خشکی، کودهای فسفاته، مقدار پتاسیم کل و دیگر عوامل می‌باشند (44, 16). در واقع کشاورزی پایدار به‌عنوان یک نظام زراعی، شامل رهیافت‌هایی است که وابستگی کارورزان به برخی نهاده‌های کشاورزی را کاهش داده و منجر به کاهش تخریب محیط زیست و تعادل بین نسل‌ها می‌شود. روش‌های مختلفی برای آزادسازی پتاسیم وجود دارد اما استفاده از ریزجانداران حل‌کننده سیلیکات به‌دلیل راحتی استفاده و هزینه کم می‌تواند نقش تکمیل‌کنندگی خوبی در تغذیه گیاه داشته باشد (6). ریزجانداران مختلف شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها، جلبک‌ها، و گلسنگ‌ها می‌توانند سیلیکات‌ها را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی، و سیلسیم را آزاد کنند (24 ,33).

کول و همکاران (2009) در بررسی اثر متقابل قارچ میکوریز و هم‌چنین دو گونه باکتری بر هوادیدگی کانی‌ها و عملکرد عناصر غذایی گیاه کاج رشدیافته روی لایه بیوتیت- کوارتز، به این نتیجه رسیدند که هیچ اثر معنی‌داری از دو گونه باکتری بر جذب پتاسیم مشاهده نشد، اما تلقیح مشترک به‌طور معنی‌داری زیست‌توده گیاه را افزایش داد (19). این نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن بیش‌تر اکولوژی ریزجانداران به‌ویژه اثرات متقابل قارچ‌باکتری در زمانی‌که هوادیدگی کانی‌ها و عناصر غذایی گیاه مورد نظر باشد مفید خواهد بود. از اثرات سودآور دیگر ریزجانداران خاک‌زی، بهبود وضع تغذیه گیاه میزبان، کمک به کاهش تنش‌های محیطی، مثل شوری و خشکی، و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد. نی (1979) اظهار داشت که سرعت جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌ها به‌میزان نیاز اندام مصرف‌کننده عناصر، اندازه و گستردگی سیستم جذب‌کننده و هم‌چنین تحرک عناصر غذایی در خاک بستگی دارد (28). در مواردی که غلظت عناصر غذایی در محلول خاک خیلی پایین بوده ولی شکل‌های جامد و غیرقابل دسترس آن عناصر در خاک وجود داشته باشند، می‌توان انتظار داشت که همزیستی میکوریزی باعث افزایش رشد و نمو گیاه شود (39). انشعابات میسلیومی این قارچ‌ها قادرند نقش مهمی را در جذب و انتقال آب ایفا کنند. یکی از دلایل مهم حمایت میکوریز در شرایط تنش خشکی از گیاه میزبان، افزایش جذب عناصر غذایی در خاک و تغذیه بهتر گیاه است (18). بررسی‌های اکوفیزیولوژیک اثبات کرده‌اند که همزیستی با قارچ میکوریز آربسکولار اغلب سرعت حرکت آب به درون، در طول و خارج از گیاه میزبان را تغییر می‌دهد و هم‌چنین اثرهایی بر

www.SID.ir

Archive of SID

آبگیری بافت و فیزیولوژی گیاه دارد. اکنون پذیرفته شده است که همزیستی میکوریز آربسکولار در مقاومت گیاه به خشکی نتیجه تجمع مجموع اثرات سلولی، فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای و فیزیکی می‌باشد. علاوه بر این، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که همزیستی میکوریز آربسکولار می‌تواند با تنظیم پتانسیل اسمزی[1] در گیاه، اثر تنش خشکی را کاهش دهد (1). گراهام و سیورنتسن (1984) اظهار داشتند که احتمالاً انتقال آب از طریق هیف‌ها عامل افزایش جذب آب به‌وسیله گیاهان میکوریزی می‌باشد (13). در حالی‌که آلن (1982) معتقد است که سطح اضافی ایجاد شده به‌وسیله هیف‌های برون ریشه‌ای عامل افزایش جذب آب به‌وسیله گیاهان میکوریزی است. افزایش سطح ایجادشده به‌وسیله هیف‌های برون‌ریشه‌ای قارچ‌های میکوریزی در واقع یک مسیر مستقیم برای جذب و انتقال آب به ریشه‌ها را فراهم می‌کند (2). باکتری‌های محرک رشد گیاه نیز به‌طور مستقیم با افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مثل پتاسیم از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، افزایش سطح تماس ریشه و بهبود همزیستی‌های مفید با گیاه میزبان در مراحل مختلف رشد (42, 10, 9) به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند.

بنابراین، از آنجا که ارتباط بین شکل‌های مختلف پتاسیم به‌عنوان تابعی از کانی‌شناسی و تکامل خاک در تعیین ذخیره پتاسیم خاک و پیش‌بینی چرخه پتاسیم و جذب به‌وسیله گیاهان در خاک‌های کشاورزی بسیار با اهمیت است، پژوهش حاضر در ارتباط با تأثیر عوامل میکروبی و محیطی بر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و هم چنین جذب کل پتاسیم در گیاه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، مقدار لازم از خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) سری خاک با نام علمی *Calcic Cambisols* (در سیستم طبقه‌بندی فائو) انتخاب و پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. این خاک در مطالعات X-ray diffraction (XRD) دارای کانی‌های ایلایت و کلریت به مقدار ۶۰ تا ۷۰ درصد بوده است (21).

پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بر روی خاک غیراستریل با گیاه ذرت (*Zea mays* L.، رقم سینگل کراس ۷۰۴) انجام شد. تیمارها شامل: قارچ میکوریز آربسکولار در دو سطح G_0 (شاهد تلقیح‌نشده با قارچ) و G_1 (*گلوموس اینترارادیسز*)، باکتری در دو سطح B_0 (شاهد تلقیح‌نشده با باکتری) و B_1 (*سودوموناس فلورسنس*) و تنش خشکی در چهار سطح: S_0 (شاهد، بدون تنش)، S_1 (تنش FC ٪۷۵)، S_2 (تنش FC ٪۵۰) و S_3 (تنش FC ٪۲۵).

مایه تلقیح قارچ *گلوموس اینترارادیسز* از بخش علوم خاک دانشگاه شیراز تهیه و به روش تله تکثیر گردید. نام جدید قارچ *گلوموس اینترارادیسز*، *ریزوفاگوس اینترارادیسز* می‌باشد (سایت اینترنتی http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo). باکتری محرک رشد گیاه *سودوموناس فلورسنس* از گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران تهیه گردید.

برای اعمال تیمارهای تنش خشکی، گلدان‌های محتوی ۵ کیلوگرم خاک انتخاب و مقدار رطوبت

1- Osmoregulation

www.SID.ir

Archive of SID

آن‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. مقادیر ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم قبلاً با صفحه فشاری اندازه‌گیری شده بود. سپس روزانه در ساعت مشخصی وزن کل خاک مرطوب اندازه‌گیری گردید و تا زمان رسیدن به نقطه پژمردگی دائم (حدود ۱۵ روز) وزن کردن آن‌ها ادامه یافت. مقدار کاهش رطوبت در هر روز با استفاده از فرمول سپاسخواه و یرمی (2009) به‌دست آمد (32).

سپس منحنی رطوبتی با استفاده از مقادیر به‌دست آمده رطوبت طی ۱۵ روز رسم گردید و با استفاده از این نمودار دورهای آبیاری ۲، ۴، ۶ و ۸ روز معادل با تنش‌های S_0 (شاهد، بدون تنش)، S_1 (تنش FC ٪۷۵)، S_2 (تنش FC ٪۵۰) و S_3 (تنش FC ٪۲۵) مشخص شد. در هر دور آبیاری با وزن کردن، رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه می‌رسید.

به‌منظور بررسی اثر تیمارها، مقدار ۳ کیلوگرم خاک به داخل گلدان‌ها منتقل گردید. برای تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیح قارچ *گلوموس اینترادیسز* شامل اسپور (۱۲ اسپور در هر گرم بستر)، هیف و قطعات کلنیزه شده (۸۵٪) و کلنیزه نشده ریشه‌ای و بستر در ۵ سانتی‌متری خاک گلدان و در کنار ریشه دانهال‌ها قرار داده شد. به‌منظور حفظ جمعیت میکروبی غیر از قارچ میکوریز و یکسان شدن وزن گلدان‌ها، مقدار ۵۰ گرم از بستر گلدان‌های شاهد تلقیح نشده با قارچ که در مرحله کشت تله نگهداری شده بودند به تیمارهای بدون قارچ در کشت اصلی اضافه گردید. تعداد شش عدد بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در هر گلدان کشت گردید. تعداد شش عدد بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در هر گلدان کشت گردید. در تیمارهای باکتری، ۱ میلی‌لیتر (۱×۱۰^{۸} cfu ml^{-1}) از سوسپانسیون باکتری روی هر بذر ذرت ریخته و بذرها با خاک پوشانده شدند. پس از اعمال تیمارهای آزمایشی (قارچ و باکتری)، خاک گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت مزرعه رسانده شد. پس از گذشت ۳ هفته تنش خشکی اعمال گردید. بعد از گذشت ۴ ماه از کاشت برداشت گیاه انجام شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های مذکور در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس حرارت داده شدند، غلظت عنصر غذایی پتاسیم در اندام هوایی گیاه بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. و مقدار جذب آن با استفاده از حاصل‌ضرب غلظت عناصر غذایی در وزن خشک اندام هوایی گیاه به‌دست آمد. خاک گلدان‌ها نیز پس از هوا خشک‌شدن برای تجزیه آزمایشگاهی استفاده شد. رنگ‌آمیزی ریشه به روش کورمانیک و مک‌گرو (1982) انجام و به روش خطوط متقاطع درصد کلنیزاسیون ریشه تعیین گردید (20). پتاسیم محلول و تبادلی خاک با استات آمونیوم، پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی خاک با اسیدنیتریک جوشان و پتاسیم کل به روش هضم با اسید فلوریدریک (14) اندازه‌گیری گردید. پس از انجام هر مرحله عصاره‌گیری، غلظت پتاسیم عصاره‌گیری شده با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل Corning 405 اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil.

مقدار (Quantity)	خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (Soil physical and chemical properties)
20	شن (%) Sand
60	سیلت (%) Silt
20	رس (%) Clay
Silty loam	بافت (Texture)
7.36	pH
0.82	(dS m^{-1}) EC
18.5	($cmol_c$ kg^{-1}) CEC
33.74	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent
2.11	ماده آلی (%) Organic matter
580	پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم (mg kg^{-1}) NH_4OAc-exchangeable potassium
1040	پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان (mg kg^{-1}) HNO_3-extractable K
8900	پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید فلوریدریک (mg kg^{-1}) HF-extractable K

نتایج و بحث

شکل‌های مختلف پتاسیم خاک و جذب کل پتاسیم

گیاه: نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم شامل پتاسیم محلول و قابل تبادل، پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان، شامل پتاسیم قابل تبادل و غیرقابل تبادل و پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید فلوریدریک شامل پتاسیم محلول، قابل‌تبادل، غیرقابل تبادل و ساختمانی می‌باشد. با افزایش تنش خشکی پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم و اسید نیتریک جوشان و اسید فلوریدریک افزایش یافت اما این افزایش معنی‌دار نبود.

در بیان تأثیر خشکی باید گفت که با خشک‌شدن خاک دو فرایند متفاوت ممکن است اتفاق افتد: تثبیت پتاسیم در محل‌های تبادلی گوه‌ای شکل و آزادسازی پتاسیم در نتیجه تورق لایه‌های رس (31). برآیند این دو به فرایند غالب بستگی داشته و تعیین‌کننده آزادسازی یا تثبیت پتاسیم می‌باشد (29). با خشک شدن خاک درجه چرخش کانی‌های هوادیده خاک نظیر میکاها ممکن است تغییر یابد. بنابراین پیوندهای K-O ممکن است تغییر کنند. آب‌زدایی کاتیون‌های بین‌لایه‌ای ممکن است اجازه توزیع مجدد کاتیون‌های بین‌لایه‌ای را دهد که در این حالت یون کلسیم می‌تواند با پتاسیم برای محل‌های گوه‌ای شکل رقابت کند. به‌نظر می‌رسد این فرایند دلیل آزادسازی پتاسیم از خاک‌ها بر اثر خشک‌شدن باشد. خشک‌کردن خاک سبب ایجاد تعادل در روابط پتاسیم می‌شود که این نتایج با نتایج گزارش شده به‌وسیله نجفی‌قیری (2010)

www.SID.ir

Archive of SID

مطابقت دارد (27). جیازیان و مریون (2003) پس از مطالعه آزادسازی پتاسیم نمونه‌های خاک هوا خشک به این نتیجه رسیدند که پس از خشک شدن نمونه‌های خاک، مقدار پتاسیم قابل تبادل خاک افزایش یافت و نمونه‌هایی که دارای میکا و مونت‌موریلونیت بیش‌تری بودند، پتاسیم قابل تبادل بیش‌تری داشتند و در مقابل نمونه‌هایی که دارای کائولینایت و گیبسایت بیش‌تری بودند پتاسیم قابل تبادل کم‌تری داشتند (17).

داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میانگین پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم، اسید نیتریک جوشان و اسید فلوریدریک، در تیمار دارای قارچ و باکتری در سطح شدید تنش خشکی و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون قارچ و باکتری در سطح بدون تنش خشکی) بود. هر چند اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر نداشتند.

جدول ۲- اثر کاربرد قارچ میکوریز، باکتری و تنش خشکی بر درصد کلنیزاسیون ریشه، جذب کل پتاسیم در اندام هوایی گیاه ذرت و غلظت شکل‌های مختلف پتاسیم خاک پس از برداشت گیاه.

Table 2. Effects of mycorrhizal fungi, bacterium and drought stress on root colonization, shoot potassium uptake and different forms of potassium in soil after plant harvest.

پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید فلوریدریک HF-extractable K ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان HNO_3-extractable K ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم NH_4OAc-exchangeable potassium ($mg\ kg^{-1}$)	جذب پتاسیم Potassium uptake ($mg\ pot^{-1}$)	کلنیزاسیون ریشه Root colonization (%)	تیمار Treatments
6133.3^{c}	260.0^{b}	293.3^{b}	838.3^{e}	14.3^{d*}	$G_0\ B_0\ S_0$
$6866.7^{b,c}$	$293.3^{a,b}$	296.7^{b}	$867.2^{e,d}$	11.6^{d}	$G_0\ B_0\ S_1$
7400.0^{a-c}	$313.3^{a,b}$	300.0^{b}	889.5^{c-e}	11.1^{d}	$G_0\ B_0\ S_2$
7400.0^{a-c}	$360.0^{a,b}$	313.3^{b}	910.0^{b-e}	9.1^{d}	$G_0\ B_0\ S_3$
7466.6^{a-c}	$373.3^{a,b}$	313.3^{b}	925.0^{b-e}	26.4^{d}	$G_0\ B_1\ S_0$
7666.6^{a-c}	$373.3^{a,b}$	326.7^{b}	930.1^{b-e}	23.3^{d}	$G_0\ B_1\ S_1$
7833.3^{a-c}	$380.0^{a,b}$	326.7^{b}	989.3^{b-e}	19.7^{d}	$G_0\ B_1\ S_2$
7866.7^{a-c}	$393.3^{a,b}$	330.0^{b}	989.6^{b-e}	17.6^{d}	$G_0\ B_1\ S_3$
7900.0^{a-c}	$393.3^{a,b}$	333.3^{b}	997.4^{b-e}	83.1^{a-c}	$G_1\ B_0\ S_0$
7966.7^{a-c}	$413.3^{a,b}$	333.3^{b}	1005.8^{a-e}	48.7^{a-c}	$G_1\ B_0\ S_1$
$8433.3^{a,b}$	$420.0^{a,b}$	340.0^{b}	1032.1^{a-e}	$68.4^{b,c}$	$G_1\ B_0\ S_2$
$8466.7^{a,b}$	$426.7^{a,b}$	343.3^{b}	1048.6^{a-d}	62.0^{c}	$G_1\ B_0\ S_3$
$8466.7^{a,b}$	$473.3^{a,b}$	350.0^{b}	1078.1^{a-c}	92.0^{a}	$G_1\ B_1\ S_0$
$8600.0^{a,b}$	$493.3^{a,b}$	$363.3a,^{b}$	$1108.4^{a,b}$	$88.3^{a,b}$	$G_1\ B_1\ S_1$
8900.0^{a}	553.3^{a}	$373.3^{a,b}$	$1111.0^{a,b}$	$86.4^{a,b}$	$G_1\ B_0\ S_2$
9266.7^{a}	553.3^{a}	470.0^{a}	1202.4^{a}	$67.6^{b,c}$	$G_1\ B_1\ S_3$

* اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند. علائم اختصاری به‌کار رفته در جدول شامل G_0 (شاهد تلقیح‌نشده با قارچ)، G_1 (*گلوموس اینترارادیسز*)، B_0 (شاهد تلقیح‌نشده با باکتری)، B_1 (*سودوموناس فلورسنس*)، S_0 (شاهد بدون تنش)، S_1 (تنش ۷۵٪ FC)، S_2 (تنش ۵۰٪ FC) و S_3 (تنش ۲۵٪ FC) می‌باشد.

The numbers in each column has a small same letter are not statistically significant at 5% level by LSD test. G_0 (not inoculated with fungus) and G_1 (inoculated with *Glomus intraradices*), bacteria at two levels: B_0 (not inoculated with bacterium) and B_1 (inoculated with *Pseudomonas fluorescence*) and drought stress at four levels: S_0 (without stress), S_1 (%75 FC), S_2 (%50 FC) and S_3 (%25 FC).

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد باکتری، پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم و اسید نیتریک جوشان افزایش داد اما این افزایش معنی‌دار نبود، در حالی‌که با کاربرد قارچ گلوموس اینترادیسز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که احتمالاً به‌دلیل افزایش سطح جذب‌کننده می‌باشد. کاربرد قارچ میانگین پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم و اسید نیتریک جوشان را نسبت به سطح بدون کاربرد قارچ به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب تا ۱۶ و ۳۶ درصد افزایش داد. پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید فلوریدریک با کاربرد قارچ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد قارچ و باکتری میانگین پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید فلوریدریک را نسبت به سطح بدون کاربرد قارچ و باکتری به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب تا ۱۶ و ۹ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و نتایج حاصل از سایر پژوهش‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که همزیستی قارچ و باکتری با گیاه، بر هوادیدگی کانی‌ها و به تبع آن بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی، تأثیرگذار بوده است. به‌دلیل این‌که بیش‌ترین مقادیر پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم، اسید نتیریک جوشان و اسید فلوریدریک در تیمارهای توأم قارچ و باکتری به‌دست آمده است. به‌طورکلی هوادیدگی کانی‌ها، منشأ اولیه بیش‌تر عناصر ضروری برای گیاهان است (37). موجودات زنده اسیدهای آلی تولید می‌کنند و اهمیت این اسیدهای آلی در هوادیدگی کانی‌ها به خوبی مشخص شده است (38).اکسایش گلوکز به اسیدهای آلی مکانیسم اصلی است که ریزجانداران به‌وسیله آن می‌توانند انحلال فلدسپارها را در شرایط pH طبیعی خاک افزایش دهند (41). در حقیقت اسیدهای آلی با دو سازوکار سبب افزایش انحلال کانی‌ها می‌شوند: تولید پروتون و تشکیل لیگاند با عناصر موجود در ساختمان کانی‌ها. از طرفی اسیدهای آلی با تشکیل کمپلکس با فراورده‌های محلول سبب افزایش سرعت انحلال کانی‌ها می‌شوند (40). همه خاک‌ها دارای مقادیر کم اما قابل اندازه‌گیری ترکیبات بیوشیمیایی مانند اسیدهای آلی می‌باشند. علاوه بر این از آن جا که زمان موردنیاز برای تشکیل خاک معمولاً بیش از چندین قرن به طول می‌انجامد، حتی تأثیر مقادیر کم عوامل کلات‌کننده قابل ملاحظه خواهد بود. بنابراین کاهش pH خاک می‌تواند اثر زیادی بر سرعت آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مختلف داشته باشد (40). مجللی و وید (1978) گزارش کردند ریشه‌های سویای میکوریزی که بر روی بیوتیت، فلوگوپیت و مسکویت کشت گردیدند، فرایند آزادشدن و خارج کردن پتاسیم از بیوتیت و سپس فلوگوپیت را تشدید می‌کنند و منجر به ورمیکولیت‌شدن بیوتیت و تاحدی فلوگوپیت می‌شوند، اما هیچ تغییر کانی‌شناسی در مسکویت تحت کشت گیاه همزیست با میکوریز ملاحظه نکردند (26). از باکتری‌های مختلف از جمله *باسیلوس موسیلاژنوز* و *باسیلوس ادافیکوس*[1] در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار (4 ,34) استفاده شده است. برای مثال، باساک و بیسواس (2009) در مطالعه خود تحت عنوان سینتیک آزادسازی پتاسیم نشان دادند که پتاسیم به‌طور معنی‌داری از کانی‌های میکایی که با گونه باکتریایی *باسیلوس موسیلاژنوز* تلقیح شده بودند، آزاد گردید. آنالیز X-ray نیز نشان داد که انحلال بیشتر میکا به‌علت تلقیح گونه *باسیلوس موسیلاژنوز* به خاک می‌باشد (4).

علاوه بر عوامل میکروبی، هینسینگر و همکاران (1992) در بررسی نقش ریشه به‌عنوان اندام جذب‌کننده عناصر غذایی بیان کردند، در نمونه‌هایی که گیاهان هیچ پتاسیمی از محلول غذایی دریافت نمی‌کنند، برای جبران کمبود پتاسیم ناچارند پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌های پتاسیم‌دار را استفاده کنند و این امر در ریزوسفر گیاهان به‌علت نقش ریشه به‌عنوان

1- *Bacillus edaphicus*

www.SID.ir

Archive of SID

اندام جذب‌کننده عناصر غذایی اتفاق می‌افتد. جدا از نقش ریشه به‌عنوان اندامی برای جذب عناصر غذایی، ریشه‌ها هم‌چنین قادرند محدوده وسیعی از اسیدهای آلی را به درون محیط اطراف ریشه (ریزوسفر) آزاد کنند (15). آزادشدن پتاسیم بین‌لایه‌ای از کانی فلوگوپیت، جهت تأمین نیاز پتاسیمی گیاهان در نمونه‌هایی که روی این کانی به‌عنوان تنها منبع پتاسیم کشت شده بودند نیز گزارش شده است. مطالعات نشان داده‌اند که پتاسیم محلول و تبادلی هر دو به‌علت جذب زیاد توسط گیاه، در مجاورت ریشه و ریزوسفر گیاهان تخلیه می‌شوند و کاهش شدید در غلظت پتاسیم در ریزوسفر می‌تواند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در اطراف ریشه را توضیح دهد (23 ,43). بنابراین پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌های میکا و ایلیت و فلدسپارها منبع اصلی آزادسازی پتاسیم در طول دوره کشت هستند (12 ,25). با افزایش تنش خشکی جذب پتاسیم افزایش یافت اما این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۲). یکی از دلایلی را که می‌توان برای افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه در شرایط تنش خشکی بیان کرد آن است که در این شرایط، تر و خشک شدن متوالی و طولانی در خاک باعث رهاشدن پتاسیم از بین لایه‌های رسی شده و غلظت یون پتاسیم در خاک افزایش می‌یابد که این پدیده جذب پتاسیم را بیش‌تر می‌کند. این نتیجه با نتایج لوگان و همکاران (1997) مطابقت دارد (22). عده دیگری از پژوهشگران علت افزایش جذب پتاسیم در هنگام تنش خشکی در گیاهانی چون ذرت را جذب فعال این یون دانسته‌اند. در هنگام تنش خشکی، گیاه برای افزایش مقاومت به خشکی بر خلاف پدیده انتشار با مصرف انرژی، پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی افزایش می‌دهد (11). داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد که تیمار دارای قارچ و باکتری در سطح شدید تنش خشکی، بیش‌ترین جذب پتاسیم را دارا بوده در حالی‌که کم‌ترین مقدار جذب این عنصر در تیمار شاهد (بدون قارچ و باکتری، در سطح بدون تنش خشکی) به‌دست آمد. هر چند اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر نداشتند. کاربرد قارچ میکوریز و باکتری جذب پتاسیم را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۲). گیاهان میکوریزی در شرایط تنش خشکی جذب پتاسیم بالاتری در برخی از گیاهان و همزیستی گونه‌های خاصی از قارچ نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند، اما در برخی دیگر عکس‌العملی نشان داده نشده است (3). اگامبردیوا (2007) نیز در بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر جذب عناصر غذایی گیاه ذرت در دو نوع خاک مختلف به این نتیجه رسیدند که باکتری گونه‌های *مایکوباکتریوم فلی*[1]، *سودوموناس آلکالیژنز*[2] و *باسیلوس پلی‌میکسا*[3] در خاک‌های فقیر از لحاظ عناصر غذایی، اثر تحریکی بیشتری بر رشد و جذب عنصر غذایی پتاسیم گیاه ذرت دارند (5). در تحلیل اثرات باکتری و تنش خشکی بر جذب عناصر غذایی می‌توان گفت که، تحت تنش‌های غیرزنده مثل خشکی، گیاهان مقادیر زیادی اتیلن تولید می‌کنند که بهره‌وری و رشد گیاه را کاهش می‌دهد. ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه تولیدکننده ACC دآمیناز، ماده پیش ساخت اتیلن را کاهش می‌دهد و بنابراین بهره‌وری را در شرایط تنش خشکی افزایش می‌دهند. در مجموع تحت شرایط غلظت‌های پایین عناصر غذایی در خاک، بهبود در تغذیه معدنی گیاهان زراعی توسط ریزجانداران مفید و محرک رشد گیاه را می‌توان به عواملی نظیر: ۱- جذب عناصر غذایی قابل دسترس از طریق همزیستی میکوریزی، ۲- اختلاف جذب فسفر در هیف و ریشه از طریق میل بالا به این عنصر (ثابت میکائلیس کوچک‌تر)، ۳- تغییرات مورفولوژیکی و

1- *Mycobacterium phlei*
2- *Pseudomonas alcaligenes*
3- *Bacillus polymyxa*

www.SID.ir

Archive of SID

فیزیولوژیکی در ریشه‌های کلنیزه شده توسط ریزجانداران، ۴- ایجاد تغییرات در شرایط ادافیک خاک (مانند اسیدیته و سایر متغیرهای خاک) جهت ایجاد شرایط مطلوب برای کلنیزاسیون ریزجانداران، حلالیت و تحرک عناصر غذایی، ۵- تأثیر بر سایر جوامع میکروبی خاک و ۶- بهبود چرخه عناصر غذایی نسبت داد (8).

درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه: درصد کلنیزاسیون ریشه با کاربرد قارچ میکوریز و باکتری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلفی بر همزیستی قارچ‌های میکوریز آربسکولار با گیاهان اثر می‌گذارند. این سازوکارها شامل تأثیر بر میزان تمایل و پذیرش ریشه نسبت به قارچ، رشد و جوانه‌زنی اسپورها و هم‌چنین تغییر ترشحات ریشه‌ای در محیط ریزوسفر می‌باشند (30). قورچیانی و همکاران (2011) گزارش دادند که تلقیح همزمان گیاه ذرت با قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* کلنیزاسیون ریشه را افزایش داده است. آنان هم‌چنین بیان کردند که تیمار تنش خشکی و استفاده از ریزموجودات حل‌کننده فسفات توانست درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به تیمار آبیاری طبیعی و عدم استفاده از ریزموجودات حل‌کننده فسفات به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (7).

نتیجه‌گیری کلی

عوامل میکروبی و برهم‌کنش آن‌ها، کلنیزاسیون ریشه‌ها، شکل‌های مختلف پتاسیم و جذب آن توسط گیاه را افزایش دادند.

منابع

1.Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., and Salimi, G. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia. 61: 324-328.

2.Allen, M.F. 1982. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on water movement through *Boutenia gracilis* (HBK) Long ex. Steud. New Phytol. 91: 191-196.

3.Barea, J.M. 1992. VAM as modifier of soil fertility. Adv. Soil. Sci. 15: 1-40.

4.Basak, B., and Biswas, D. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginous*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. Plant Soil. 317: 235-255.

5.Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Soil Ecol. 36: 184-189.

6.Fallah, A., and Khavazi, K. 2000. Potassium biological fertilizer and its roles in increasing of crop yields. Spec. Iss. Biol. 12: 7. 115-127. (In Persian)

7.Ghorchiani, M., Akbarei, Gh.A., HAlikhani, A., Dadi, E.A., and Zarei, M. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* on ear properties, chlorophyll content and yield of maize under water stress. Water Soil Sci. 21: 1. 97-114. (In Persian)

8.Giasson, P., Karam, A., and Jaouich, A. 2008. Arbuscular mycorrhizae and alleviation of soil stresses on plant growth. In: Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S., and Futai, K. (eds.) Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry. Springer, Dordrecht, the Netherlands. Pp: 99-134.

9.Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol. 41: 109-117.

10.Glick, B.R., Patten, C.L., Holguin, G., and Penrose, D.M. 1999. Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria. Imperial College Press, London. 270p.

www.SID.ir

Archive of SID

11.Gonzales, P.R., and Salas, M.L. 1995. Improvement of the growth, grain yield and nitrogen, phosphorus and potassium nutrition of grain corn through weed control. Plant Nutr. 18: 11. 2313-3324.
12.Goulding, K.W.T. 1987. Potassium fixation and release. In: Methodology in soil K research Proceedings of the 20th Colloquium, International Potash Institute. Held in Baden bei Wien, Austria. Pp: 137-154.
13.Graham, J.H., and Syvertsen, J.P. 1984. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of root of two citrus rootstocks. New Phytol. 97: 227-284.
14.Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium, P 551-573. In: Methods of Soil Analysis, Sparks, D.L. (ed.). Part 3. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
15.Hinsinger, P., Jaillard, B., and Dufey, J.E. 1992. Rapid weathering of trioctahedral mica by the roots of ryegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 977-982.
16.Huang, P.M. 2005. Chemistry of soil potassium, P 227-292. In: Chemical Processes in Soil, Tabatabai, M.A., and Sparks, D.L. (eds.). SSSA, Madison, WI.
17.Jia Xian, L., and Marion, L.J. 2003. Potassium release on drying of soil samples from a variety of weathering regimes and clay mineralogy in china. Geoderma. 35: 197-208.
18.Johnson, C.R., and Hummel, R.L. 1985. Influence of Mycorrhizal and drought stress on growth of poncirus X citrus seedlings. Hortic Sci. 20: 754-755.
19.Koele, N., Turpault, M.P., Hildebrand, E.E., Uroz, S., and Frey-Klett, P. 2009. Interactions between mycorrhizal fungi and mycorrhizosphere bacteria during mineral weathering: Budget analysis and bacterial quantification. Soil Biol Biochem. 4: 1935-1942.
20.Kormanik, P.P., and McGraw, A.C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant root, P 37-45. In: Schenk, N.C. (Ed.), Methods and principles of mycorrhizal reseach, The American Phytopathological Society, St. Paul.
21.Lotfi, E. 2012. Different forms of potassium and possibility of clay minerals change in soils being under *Zea mays* planting with drought stress, bacteria and mycorrhiza fungi factors. M.Sc. Thesis, Soil Science Department, College of Agriculture, Shiraz University, 207p. (In Persian)
22.Logan, H., Basset, M., V´ery, A.A., and Sentenac, H. 1997. Plasma membrane transport systems in higher plants: from black boxes to molecular physiology. Physiol Plant. 100: 1-15.
23.Maclean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurements of plant available potassium, P 278-309. In: Potassium in agriculture, Munson, R.D. (ed.). Soil Sci Soc Am. Madison, WI.
24.Malkoti, M., Shhabei, A., and Bazargan, K. 2005. Potassium in Iranian agriculture, Sena publication, 302p.
25.Mengel, K. 1985. Dynamics and availability of major nutrient in soils. Adv Soil Sci. 2: 65-131.
26.Mojallali, H., and Weed, S.B. 1978. Weathering of micas by mycorrhizal soybean plants. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 367-372.
27.Najafi Ghiri, M. 2010. Evaluation of morphological and mineralogical properties and potassium situation in soils of Fras province. Ph.D. Thesis, Soil Science Department, College of Agriculture, Shiraz University. (In Persian)
28.Nye, P.H. 1979. Diffusion of ions and uncharged solutes in soils and soil clays. Adv Agron. 31: 225-272.
29.Olk, D.C., Gassman, K.G., and Carlson, R.M. 1995. Kinetics of potassium fixation in vermiculite soils under different moisture regims. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 423-429.
30.Sadat, A., Savaghebi, Gh., Rejali, F., Khavazi, K., and Shirmardi, M. 2009. Effects of some plant growth promoting Pseudomonas fluorescens strains on root colonization of two wheat varieties (cistan and chamran). Proceeding of the 11th Iranian Soil Science Congress, 12-15 July, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Pp: 119-121.33.

www.SID.ir

Archive of SID

31. Scott, A.D., and Smith, S.J. 1968. Mechanism for soil potassium release by drying. Soil Sci. Soc. Am. J. 32: 443-444.
32. Sepaskhah, A.R., and Yarami, N. 2009. Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron, J. Hort. Sci. Biotech. 84: 2. 216-222.
33. 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. Egypt J. Bot. 27: 1-7. 17-30.
34. Sheng, X.F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by potassium releasing strain of bacillus edaphicus. Soil Biol. Biochem. 37: 1918-1922.
35. Sparks, D.L. 2000. Bioavailability of soil potassium, P 38-53. In: Handbook of Soil Science, Summer, M.E. (ed.). CRC press, Boca Raton, FL. P.
36. Sparks, D.L., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium, P 201-276. In: Potassium in Agriculture, Munson, R.D. (ed.). ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
37. Spyridakis, D.E., Chesters, G., and Wilde, S.A. 1967. Kaolinization of biotite as a result of coniferous and deciduous seedling growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 203-210.
38. Sugumaran, P., and Janarthanan, B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World J. Agr. Sci. 3: 3. 350-355.
39. Tinker, P.B.H. 1975. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas on higher plants. Symp Soc. Exp. Biol. 29: 325-349.
40. Ullman, W.J., and Welch, S.A. 2002. Organic ligands and feldspar dissolution. The Geo. Chem. Soc. 7: 3-35.
41. Vandevivere, P., Welch, S.A., Ullman, W.J., and Krichman, D.L. 1994. Enhanced dissolution of silicate mineral by bacteria at near-neutral pH. Microb. Ecol. 27: 241-251.
42. Vyas, P., and Gulati, A. 2009. Stress tolerance and genetic variability of phosphate solubilizing *Pseudomonas fluorescens* from the cold deserts of the trans-Himalayas. Microb. Ecol. 58: 425-434.
43. Wang, J.G., Zhang, F.S., Zhang, X.L., and Cao, Y.P. 2000. Release of potassium from K-bearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency. Nutr. Cycl. Agroecosys. 56: 45-52.
44. Zhou, J., and Huang, P.M. 2007. Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. Geoderma. 138: 221-228.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(6), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Effect of Arbuscular mycorrhizal fungus, plant growth promoting Rhizobacterium and drought stress on different forms of soil potassium and potassium uptake of maize

E. Lotfi[1], *M. Baghernejad[2], N.A. Karimian[2] and M. Zarei[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shiraz University, [2]Professor, Dept. of Soil Science, Shiraz University, [3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shiraz University

Received: 11/10/2013; Accepted: 03/16/2015

Abstract

Background and Objectives: Mineral weathering and the release of nutrients such as potassium increase in the presence of microorganisms. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria in addition to improved plant growth and nutrition and physical, chemical and biological soil properties can support host plants against environmental stresses such as drought. Considering the limited information, this greenhouse study was carried out to evaluate the effects of microbial and environmental agents on different forms of potassium in a calcareous soil and also potassium absorption by maize plant.

Materials and Methods: A greenhouse experiment was set up with a completely randomized design and factorial arrangement in three replications. The factors were consisted of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus at two levels: G_0 (not inoculated with fungus) and G_1 (inoculated with *Glomus intraradices*), bacteria at two levels: B_0 (not inoculated with bacterium) and B_1 (inoculated with *Pseudomonas fluorescence*) and drought stress at four levels: S_0 (without stress), S_1 (%75 FC), S_2 (%50 FC) and S_3 (%25 FC). After plant harvesting, shoot dry weight, potassium concentration and uptake in aerial parts and root colonization with standard methods were measured. The soil samples were air- dried and used for determination of different forms of potassium and then the results analyzed.

Results: As drought stress increased, the concentration of potassium different forms and uptake increased and root colonization percent decreased. Co-application of mycorrhizal fungus and bacterium significantly increased root colonization percent. With increasing drought stress levels, single using of fungus and co-application of mycorrhizal fungus and bacterium in comparison with non inoculated treatments increased the concentration of potassium different forms in soil and its uptake by plant.

Conclusion: Plant growth promoting bacterium, mycorrhizal symbiosis and their interactions have significant positive effects on potassium uptake and their different forms in soil.

Keywords: *Pseudomonas fluorescence*, *Glomus intraradices*, Drought stress, Potassium uptake, Maize

* Corresponding Author; Email: majidbaghernejad@yahoo.co.uk

www.SID.ir