نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 33 / شماره 1 / 1398

10.22092/ijsr.2019.120803.349

تأثیر کودهای میکروبی فسفاتی تهیه شده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر جذب فسفر و رشد ذرت

بهمن خوشرو[1] و محمدرضا ساریخانی

دانشجوی دکترای بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ bahmankhoshru@yahoo.com

دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ rsarikhani@yahoo.com

دریافت: 97/2/4 و پذیرش: 97/10/10

چکیده

یکی از مشکلات تولید کودهای میکروبی گرانوله از بین رفتن باکتری‌های در مرحله خشک کردن کود می‌باشد یکی از راهکارها برای حل این مشکل، بکارگیری باکتری‌های مقاوم به گرما می‌باشد. در این تحقیق کارایی و اثربخشی کودهای میکروبی فسفاتی تهیه شده بر بستر پایه خاک فسفات + گوگرد + باگاس، با بهره‌گیری از دو باکتری حل‌کننده فسفات مقاوم به گرما (باکتری‌های RPS9 و RPS7) و یک باکتری غیرمقاوم به گرما (RPS4) بر گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌کراس 704 مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن 7 تیمار شامل شاهد (بدون دادن کود میکروبی و کود شیمیایی)، تیمارهای کودی سوپرفسفات تریپل در دو سطح 50% و 100% (بر اساس توصیه کودی به ترتیب معادل 150 و 300 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، به همراه تیمارهای باکتریایی (RPS4، RPS7 و RPS9) در سه تکرار انجام شد. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های گلخانه‌ای نشان داد که کاربرد کودهای میکروبی فسفاتی در گیاه ذرت، بر وزن تر و خشک کل گیاه، جذب فسفر بخش ریشه و بخش هوایی، تأثیر کاملاً معنی‌داری داشت. تیمار باکتریایی RPS4 عملکرد مشابه تیمار سوپرفسفات تریپل 100% و تیمار RPS9 مشابه سوپرفسفات تریپل 50% داشتند. RPS7 دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به دو باکتری دیگر بود. از دو جدایه مقاوم به گرما که هر دو متعلق به گونه *Pantoea agglomerans* و به تازگی جداسازی شده‌بودند، ظاهرا استفاده از RPS9 برای این منظور امیدبخش‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت سینگل‌کراس 704، کود گرانوله، اثربخشی، متحمل گرما

[1] نویسنده مسئول، آدرس: گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

برای برطرف کردن کمبود عناصر در زمین‌های کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی پرخطر و گران، چاره‌ای مطلوب و ایده‌آل نمی‌باشد و پیامدهای جدی برای عملیات کشاورزی بعدی ایجاد می‌کند. سالانه بین 75 الی 90 درصد فسفر اضافه‌شده به خاک به‌دلیل آهکی بودن اکثر خاک‌ها، وجود pH بالا، تنش خشکی و وجود بی‌کربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی موجود در خاک و همچنین در اثر ترکیب با یون‌های کلسیم، آلومینیوم و آهن در خاک به صورت رسوب درمی‌آید و از دسترس گیاه خارج می‌شود (کاسار و کاتکات، 2010). در 30 سال اخیر به‌دلیل آشکار شدن اثرهای سوءمصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و قیمت رو به افزایش آن‌ها مجدداً استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی مطرح‌شده است (ویرول و همکاران، 2014). عرضه مواد آلی به خاک، به‌دلیل پاسخگویی به یکی از بزرگ‌ترین نیازهای گیاه از مزایای بارز این قبیل کودهاست. علاوه بر این تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط‌زیست از مهم‌ترین مزیت‌های کودهای زیستی به شمار می‌رود (رای و گائور، 1988).

قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، مناسب‌ترین جایگزین کودهای شیمیایی و سازگارترین کودهای زیستی با محیط زیست در کشاورزی پایدار می‌باشند که به‌دلیل اثرهای جداگانه و متقابل روی یکدیگر و گیاهان میزبان، مورد توجه بسیاری از محققین قرارگرفته‌اند (فرانکو و همکاران، 2010 ؛ گاربای، 1994؛ ساریخانی و همکاران، 2016). حضور این ریزجانداران مفید در ریزوسفر گیاهان می‌تواند منجربه تغییراتی شود که این تغییرات در ریزوسفر غالباً به نفع گیاه می‌باشند (خوشرو و همکاران، 1396). نتایج تحقیقات نشان داده است که ریزجانداران حل‌کننده فسفات قادرند در منطقه ریزوسفر فعالیت نموده و با کمک ترشحات ریشه، ترکیبات نامحلول فسفات مانند تری‌کلسیم فسفات را به صورت محلول و قابل‌جذب گیاه درآورند (متیوس و ادزهار، 2016).

کودهای میکروبی نوعی از کودهای زیستی هستند که در آن بر بستری از مواد آلی- معدنی از ریزجانداران مفید بهره برده می‌شود. عرضه کودهای میکروبی در اوایل دهه 1970 شروع شد. در این راستا چندین کود میکروبی از جمله IARI microphos در هند و Phosphobacteria در روسیه عرضه شد که بعداً در اروپای شرقی نیز مورد استفاده قرار گرفت (خان و همکاران، 2007). یکی از کودهای میکروبی مهم، کود میکروبی فسفاتی می‌باشد که به صورت پودری یا گرانوله تهیه و استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت فسفر به عنوان یکی از عناصر غذایی پرمصرف برای محصولات کشاورزی، استفاده از کود میکروبی فسفاتی مورد توجه است (ضیائیان و همکاران، 1388). در این نوع کود از سنگ فسفات به عنوان منبع تأمین کننده فسفر استفاده می‌شود اما با توجه به پایین بودن میزان انحلال آن، فسفر موجود بایستی از طریق راهکارهای زیستی به فرم محلول درآید. بهره‌گیری از باکتری‌های حل‌کننده فسفات به فرایند انحلال و فراهمی فسفات برای گیاه کمک خواهد نمود (ساریخانی و همکاران، 1393).تحقیقات انجام شده جهانی و تحقیقات پراکنده‌ای که در ایران در زمینه استفاده از کودهای میکروبی فسفاتی انجام شده است حاکی از مثبت بودن اثرات مصرف کودهای زیستی است (کیانی، 1373؛ سلیسپور و بانیانی، 1379؛ خوشرو و همکاران، 1396). کاربرد ایزوله‌های موجود در کود زیستی بارور2 در شرایط کشت با گیاه گندم در خاک استریل، بهبود تغذیه فسفری را به دنبال داشت (ساریخانی و همکاران، 1392). سیلسپور و بانیانی (1379) گزارش کردند که با مصرف کود فسفاته میکروبی در زراعت پنبه می‌توان حداقل 50 درصد در مصرف کودهای فسفره صرفه جویی نمود.

کودهای میکروبی فسفاتی بر بسترهای آلی و شیمیایی ارزان و در دسترس تهیه می‌شوند که در فرمولاسیون آنها برای افزایش اثربخشی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید استفاده می‌نمایند. کود میکروبی فسفاتی ممکن است به صورت پودری یا گرانوله استفاده شود که در فرایند گرانول‌سازی، بایستی پس از اختلاط اجزاء تشکیل‌دهنده ممکن است از حرارت ملایم جهت خشک نمودن کود تولیدی استفاده شود، چنین شرایطی باعث از بین رفتن باکتری‌های افزوده شده به بستر خواهد شد. لذا دستیابی به باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به گرما و اثربخشی این باکتری‌های مورد استفاده در تهیه این کودها زمینه تحقیق مناسبی است و اطلاعات کمی در این مورد در دسترس می‌باشد. در تحقیق حاضر، باکتری‌های مورد استفاده در فرمولاسیون کود میکروبی (RPS4، RPS7 و RPS9) به تازگی جداسازی شده‌اند و اثربخشی آنها در هیچ آزمایشی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. از میان سه جدایه مورد آزمایش، یک جدایه حساس به گرما و دو جدایه دیگر شرایط تحمل دمای 55 درجه سلسیوس را دارند. ضرورت دستیابی به یک گونه

Archive of SID

www.SID.ir

میکروبی کارآمد و قابلیت جایگزینی با کودهای شیمیایی موضوع این تحقیق است و ضرورت پرداختن به آن احساس می‌شود تا با دستیابی به ترکیب مناسب باکتری و بستر شیمیایی- آلی بتوان کود میکروبی فسفاتی تولید و به بازار مصرف عرضه داشت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال 1395 در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در منطقه کرکج انجام شد. از یک خاک دارای کمبود فسفر (از ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان) از عمق 0-20 سانتی‌متری نمونه‌برداری شد و سپس برخی ویژگی‌های خاک مورد نظر تعیین گردید. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول 1 آورده شده است. بعد از هوا خشک کردن خاک مورد نظر و عبور از الک دو میلی‌متری ویژگی‌های مهم خاک شامل بافت (کلوت، 1986)، درصد کربن آلی (نلسون و سامرز، 1982)، فسفر قابل جذب (اولسن و سامرز، 1982) و پتاسیم قابل جذب (توماس، 1982) اندازه‌گیری شد. خاک گلدان‌ها در فشار1 اتمسفر و دمای 121 درجه سلسیوس به مدت یک ساعت با بخار آب استریل شده و سپس در هر گلدان به مقدار 3 کیلوگرم استفاده شد.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	pH	EC (dS/m)	P-available (mg/kg)	K-available (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	%CCE	%OC
لوم شنی	7/56	2/9	3	198/07	0/75	0/58	2/43	0/09	2/85	0/166

آماده‌سازی بذرها

برای آماده‌سازی بذرها، ابتدا ضدعفونی بذرها با اتانول و هیپوکلریت سدیم 0/5% انجام گرفت (سوئر و بورویز، 1986) و در ادامه بذرهای ذرت در پارچه نخی خیس و مرطوب شد تا رطوبت کافی برای جوانه‌زنی مناسب در اختیار بذرها قرار گیرد. در نهایت بذرهای ذرت به تعداد 5 عدد در هر گلدان کاشته شدند و بعد از جوانه‌زنی و رشد اولیه تعداد بوته در هر گلدان به دو عدد تقلیل یافت.

اعمال تیمار گرمایی

ارزیابی تحمل گرما (تیمار دمای 55 درجه سلسیوس به مدت 16 ساعت) باکتری‌ها در سه مرحله انجام گرفت، الف: تیمار گرمایی اولیه روی خاک‌های نمونه‌برداری شده به منظور غربالگری باکتری‌های مقاوم به گرما، ب: کشت خالص باکتری (در این حالت از هر جدایه کشت خالصی تهیه شد و سپس کشت نقطه‌ای از آن در محیط اسپربر جامد تهیه شد و در شرایط فوق گرماگذاری شد) و ج: باکتری افزوده شده به بستر. پس از تأمین جمعیت میکروبی اولیه مناسب (10^7 CFU/g) در بستر میکروبی در شرایط فوق گرماگذاری شد (خوشرو و ساریخانی، 1397).

تهیه کود میکروبی فسفاتی پودری

در این پژوهش از سه جدایه باکتری (RPS4، RPS7 و RPS9) حل‌کننده فسفات استفاده شد که در شرایط درون شیشه‌ای دارای توان حل‌کنندگی فسفات از منبع سنگ فسفات بترتیب 210/4، 117/7 و 189/8 میلی‌گرم بر لیتر بودند (در مدت 7 روز). این جدایه‌ها به تازگی جداسازی شده‌اند و آزمایشاتی زیادی بر روی آنها تا کنون انجام نشده است. دو باکتری (RPS9 و RPS7) قادر به تحمل گرما (55 درجه سلسیوس) بوده اما باکتری RPS4 غیرمقاوم به این دما بوده ولی به دلیل توان بالا در انحلال فسفات بعنوان کنترل مثبت استفاده شد (خوشرو و ساریخانی، 1397). همچنین برای تهیه بستر اولیه جهت افزودن مایه تلقیح باکتریایی از بستر پایه سنگ فسفات (با آنالیز: P_2O_5 : 1%±36/5، Fe_2O_3 : 1%±3/7، CaO : 4%±50، SiO_2:1%±3/5، MgO : 0/5%±1، SO_3 : 0/05% ، F :1%±3 ، : CL 0/18%±0/03 ، Cd :ppm 5±10)، باگاس و گوگرد استفاده شد. این اجزاء به ترتیب به نسبت 50: 33/33 : 16/66 (بر حسب درصد) مخلوط شدند. (خوشرو و همکاران، 1396). پس از اختلاط اجزاء و تأمین رطوبت بهینه برای افزودن باکتری به آن، به صورت زیر عمل شد. پس از اختلاط اولیه ترکیب فوق، به 90 گرم ترکیب اولیه 10 میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد تا رطوبت اولیه تامین شود، سپس از کشت شبانه باکتری‌ها تهیه شده در محیط نوترینت براث، به مقدار 10 میلی‌لیتر به بستر افزوده شد. در خصوص اختلاط اجزاء بستر و مایه تلقیح باکتری شرایط به گونه‌ای انتخاب شد که پس از تلقیح باکتری و آماده شدن بستر کود میکروبی، جمعیت اولیه آن CFU/g

Archive of SID

www.SID.ir

10^7 باشد. از کود میکروبی فسفاته پودری حاصل شده برای تلقیح در گلدان‌ها استفاده شد.

آماده‌سازی گلدان‌ها و تلقیح گیاهان با کودهای میکروبی

از گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌گراس 704 در این آزمایش استفاده شد. به منظور اعمال تیمارها ابتدا در تمام گلدان‌ها مقادیر برابر از خاک تا 4 سانتی‌متر از سطح گلدان افزوده شد و سپس کود سوپرفسفات تریپل (SPT) در دو سطح توصیه کودی کامل (300 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و پنجاه درصد توصیه کودی کامل (150 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در تیمار کود شیمیایی و کودهای میکروبی فسفاته به مقدار 300 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در تیمارهای کود میکروبی استفاده شده، سپس یک لایه خاک (3 - 2 cm) بر روی آن قرار گرفته و بذور ذرت بر روی آن قرار گرفت. قبل از کاشت در همه گلدان‌ها به مقدار برابر رطوبت خاک تأمین شده و سپس کشت بذور انجام گرفت. بعد از آن با لایه‌ای از خاک سطح بذور پوشانده شد. با احتساب وزن 2 میلیون کیلوگرم خاک در هر هکتار با توجه به وزن خاک گلدان و طبق توصیه کودی (ملکوتی، 1995)، 600 میلی‌گرم کود اوره و 300 میلی‌گرم سولفات پتاسیم برای هر کیلوگرم خاک استفاده شد.

اوره و سولفات پتاسیم به همه گلدان‌ها افزوده شد اما کود فسفاتی استفاده نشد و به جای آن از کود میکروبی فسفاتی تهیه شده (300 میلی‌گرم برای هر کیلوگرم) استفاده شد. همچنین در تیمار اضافی به عنوان کنترل منفی (شاهد) آزمایش، مقادیر 300 میلی‌گرم بستر مورد استفاده در کود میکروبی بدون افزودن هیچ باکتری مد نظر قرار گرفت. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در مجموع با لحاظ نمودن 7 تیمار آزمایشی در 3 تکرار به انجام رسید. تیمارهای آزمایش شامل تیمارهای شاهد بودند که به دو صورت مورد استفاده قرار گرفتند؛ تیمار بدون بستر (بدون کود میکروبی و کود سوپرفسفات) و شاهد منفی (بستر بدون باکتری)، و تیمارهای شاهد مثبت (یعنی کود سوپرفسفات تریپل بر اساس آزمون خاک در دو سطح 50% و 100%)، و همچنین کود میکروبی فسفاتی مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7). آبیاری گلدان‌ها نیز از طریق توزین در FC0/8 انجام پذیرفت. پارامترهای رشدی گیاه از جمله وزن تر و خشک کل و غلظت و میزان جذب فسفر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

صفات اندازه‌گیری شده

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ

غلظت کلروفیل برگ شاخص مستقیم سلامتی گیاه و وضعیت رشد آن است. مقدار کلروفیل برگ پس از رشد کامل برگ‌ها و در پایان دوره رشد با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502) اندازه‌گیری شد. این دستگاه، غلظت نسبی کلروفیل برگ (شاخص کلروفیل) را در دو طول موج 620 و 640 نانومتر براساس مقدار نور جذب شده توسط کلروفیل بدن تخریب برگ و سریع به صورت یک عدد تعیین می‌کند که شاخصی از فعالیت فتوسنتزی برگ می‌باشد. برای این منظور پنج برگ سالم و شاداب از هر بوته (در مجموع 10 برگ در هر گلدان) انتخاب شد و پهن‌ترین بخش برگ میان انبرک دستگاه قرار گرفت (اونیل و همکاران، 2006). سپس شاخص کلروفیل آن اندازه‌گیری شد. میانگین این قرائت‌ها در نهایت به عنوان شاخص کلروفیل برگ برای آن گلدان در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری ارتفاع گیاه و قطر ساقه

قبل از برداشت گیاه ارتفاع گیاه با خط‌کش و قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاهان

در پایان دوره رشد، اندام‌های هوایی از محل طوقه قطع گردیده و وزن تر آنها با ترازوی حساس 0/001 گرم تعیین شد. ریشه نیز پس از برداشت با آب معمولی شستشو داده شده و رطوبت اضافی آنها با کاغذ خشک‌کن گرفته شد و سپس با ترازو وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وزن خشک بخش هوایی و ریشه

بخش هوایی و ریشه داخل پاکت‌های کاغذی به درون آون منتقل شده و به مدت سه روز در دمای 60 درجه‌سلسیوس خشک شدند. سپس نمونه‌ها از آون خارج شده و با ترازوی حساس وزن خشک آن‌ها توزین گردید.

هضم نمونه‌های گیاهی به روش خشک‌سوزانی و اندازه‌گیری فسفر

نمونه‌های گیاهی خشک‌شده مربوط به ریشه و بخش هوایی به طور مجزا از الک 0/5 میلی‌متر گذرانده شدند، 1 گرم از پودر گیاهی را توزین نموده و داخل بوته‌های چینی ریخته و بوته‌ها برای خاکستر شدن درون کوره الکتریکی قرار داده شدند. دمای کوره به تدریج در مدت 4 ساعت تا 550 درجه سلسیوس افزایش یافت. در مرحله بعدی خاکستر را پس از سردشدن بوته‌های چینی از کوره خارج کرده و به بشرهای شیشه‌ای انتقال دادیم و 20 میلی‌لیتر HCl (1 مولار) به هر بشر اضافه نموده و با گذاشتن شیشه‌ساعت روی آنها به مدت نیم ساعت در

Archive of SID

www.SID.ir

حمام آبی (90 درجه سلسیوس) قرار داده شد. سپس محلول را صاف نموده و درون بالون ژوژه 50 میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد. عصاره حاصل از نمونه گیاهی برای تعیین غلظت عناصر مورد نظر به کار رفت (بی نام، 1980). اندازه‌گیری غلظت فسفر نمونه‌های گیاهی به روش رنگ زرد انجام گرفت. در مورد عصاره گیاهی دو میلی‌لیتر از عصاره گیاهی پی‌پت شده و به داخل قوطی‌های فیلم کاملاً تمیز ریخته شد. 2 میلی لیتر از محلول معرف و 5 میلی‌لیتر آب مقطر به هر یک از آنها افزوده شد. سپس کمی تکان داده شد تا خوب مخلوط شود. پس از گذشت یک ساعت با تشکیل کمپلکس زرد رنگ میزان جذب عصاره‌های تهیه شده در طول موج 430 نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید (بی نام، 1980).

طرح آماری و آنالیز داده ها

این آزمایش در فاز گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر نمونه انجام شد. آنالیز داده‌ها با نرم افزار SPSS و مقایسات میانگین نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

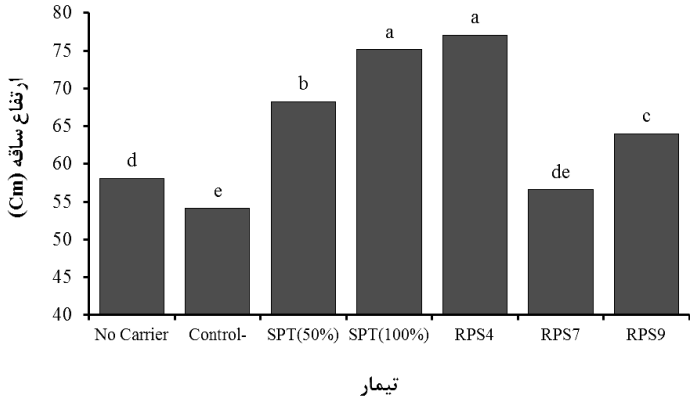
ارتفاع ساقه

ارتفاع ساقه ذرت تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). مقایسه میانگین این صفت در شکل 1 آورده شده است. تیمار باکتریایی RPS4 دارای عملکرد مشابهی با تیمار شیمیایی(100%) SPT بود و تیمار (50%) SPT در رتبه بعدی قرار داشت، تیمار باکتریایی RPS7 دارای پایین‌ترین عملکرد از نظر این پارامتر بوده و از نظر آماری با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار داشت. قابل توجه است که بستر خالی بدون میکروب (کنترل منفی) دارای پایین‌ترین ارتفاع ساقه حتی کمتر از تیمار بدون بستر می‌باشد (شکل 1).

جدول 2- تجزیه واریانس اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در گیاه ذرت

		میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	شاخص کلروفیل	قطر ساقه
تیمار	6	497/290**	17/358**	19/342**
خطای آزمایشی	35	9/517	0/060	2/250
ضریب تغییرات (%)		11/25	14/62	8/37

** معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد (P<0 /01)



شکل 1- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی بر ارتفاع ساقه در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

خوشرو و همکاران (1396) گزارش کردند که کاربرد کود میکروبی فسفاتی حاوی باکتری حل‌کننده فسفات *P. fluorescens* در گیاه ذرت باعث افزایش ارتفاع ساقه به میزان 32/69 درصد نسبت به گیاه کنترل شد. افزایش ارتفاع بوته در نتیجه افزایش فسفر قابل دسترس توسط گیاه را می‌توان این چنین توجیه نمود که عنصر

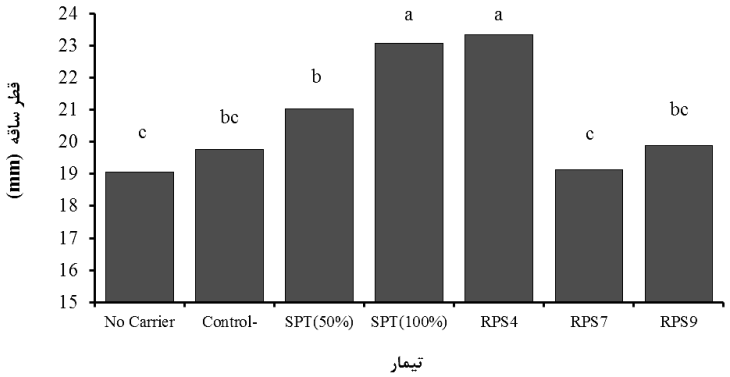
Archive of SID

www.SID.ir

فسفر با اثرات مثبتی که بر افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای دارد، میزان جذب آب و عناصر غذایی ضروری به ویژه نیتروژن را افزایش داده است که این امر موجب بهبود ارتفاع ساقه شده است (دورداس، 2009). از طرف دیگر، برخی تحقیقات نشان داده است که فسفر باعث افزایش سودمندی نیتروژن می‌شود که به تبع آن رشد و نمو بخش رویشی گیاه نیز افزایش می‌یابد (نورمحمدی و همکاران، 2001).

قطر ساقه

قطر ساقه گیاه ذرت تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در سطح 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). تیمار باکتریایی RPS4 هم‌سطح با تیمار شیمیایی (SPT 100%)، دارای بیشترین مقدار در قطر ساقه بود (2/33 و 2/30 سانتی متر). تیمار SPT (50%) در رتبه بعدی و بالاتر از تیمارهای باکتریایی RPS7 و RPS9 قرار گرفت. در اندازه‌گیری این شاخص تیمار باکتری RPS7 از نظر آماری با تیمارهای شاهد آزمایش (دو تیمار بدون بستر میکروبی و بستر بدون باکتری) در یک گروه قرار داشت (شکل 2).



شکل 2- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاته بر قطر ساقه در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

برخی پژوهشگران اعتقاد دارند که تأثیر هورمونی القاء شده در گیاه توسط باکتری‌های محرک رشد به‌طور مستقیم موجب تغییرات مشخص در مورفولوژی ساقه، نظیر افزایش قطر ساقه می‌شود (فتحی و همکاران، 1395).

شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل گیاه ذرت تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). مطابق شکل 3 شاخص کلروفیل برای تیمار کنترل مثبت (SPT 100%) و تیمار باکتریایی RPS4 به ترتیب با میانگین 8/30 و 7/44 بالاترین مقدار بدست آمد. تیمارهای باکتریایی RPS7 و RPS9 از نظر شاخص کلروفیل با تیمار بدون بستر کودی (No Carrier) و بستر بدون میکروب (کنترل منفی) اختلاف معنی‌داری نداشتند. میشرا و همکاران (2011) بیان کردند که مایه‌زنی سویه‌های *سودوموناس* به گیاه عدس موجب افزایش کلروفیل و جذب فسفر و آهن گردید.

باست‌میا و همکاران (2010)، نیز افزایش میزان کلروفیل گیاه را به وسیله باکتری‌های افزاینده رشد گیاه گزارش کرده‌اند. باکتری از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله تولید سیدروفورها، سنتز آنتی بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، کمک به جذب نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌نماید به توسعه و رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (عبدالجلیل و همکاران، 2007).

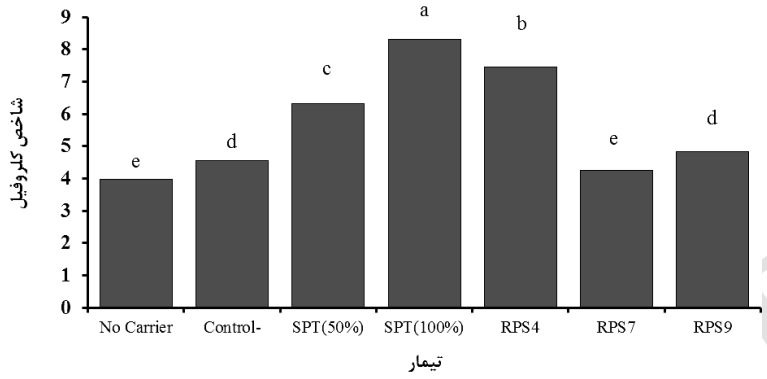
وزن تر کل

وزن تر کل در گیاه ذرت تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در سطح 1% معنی‌دار بود (جدول 3). وزن تر کل برای تیمار باکتریایی RPS4 با میانگین 339/2 گرم بالاترین مقدار بود و تیمارهای کود شیمیایی (SPT (100% و (SPT (50% به ترتیب

Archive of SID

www.SID.ir

با مقادیر 331/3 و 321/5 در رتبه بعدی قرار داشتند. تیمار باکتریایی RPS9 با مقدار 313/7 گرم بالاتر از تیمارهای شاهد بود و تیمار باکتریایی RPS7 هم از نظر آماری در گروه کنترل منفی (بستر بدون باکتری) قرار داشت (شکل 4).

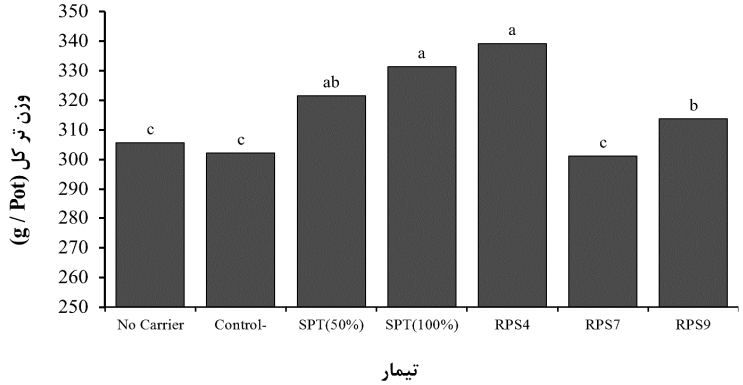


شکل 3- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی بر شاخص کلروفیل در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

جدول 3- تجزیه واریانس اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی بر وزن تر و خشک کل در گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر کل	وزن خشک کل
تیمار	6	246/500**	10/635**	469/817**	39/540**	1324/651**	88/103**
خطای آزمایشی	35	4/595	2/167	6/348	2/076	8/743	3/586
ضریب تغییرات		29/42	13/09	24/58	11/71	26/50	17/22

** معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد (P<0 /01)



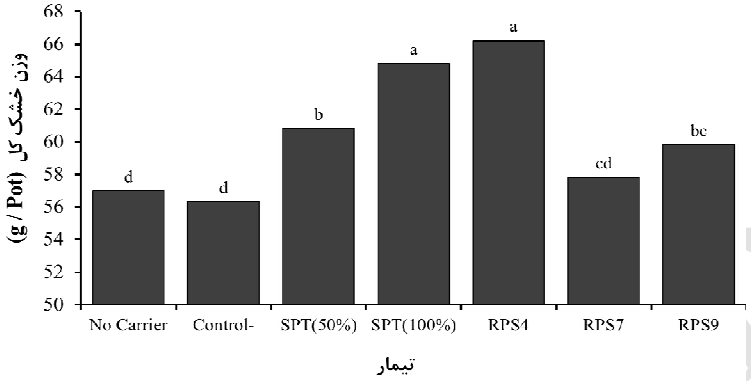
شکل 4- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی بر وزن تر کل در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

Archive of SID

www.SID.ir

وزن خشک کل

وزن خشک کل در گیاه ذرت تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در سطح 1% معنی‌دار بود (جدول 3). وزن خشک کل برای تیمار باکتریایی RPS4 و کود شیمیایی (100%) SPT با میانگین 66/2 و 64/8 گرم بترتیب بالاترین مقدار بود. تیمار باکتریایی RPS9 از نظر آماری با تیمار کود شیمیایی (50%) SPT برابری می‌کرد و تیمار RPS7 با تیمارهای شاهد از نظر وزن خشک کل دارای تفاوت معنی‌داری نبود (شکل 5).

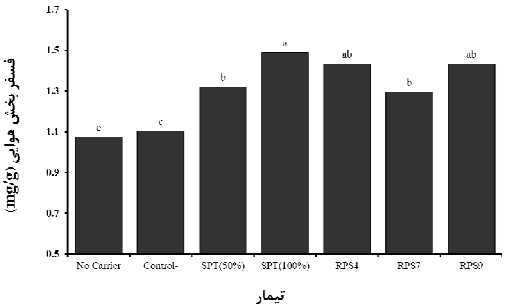


شکل 5- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی بر وزن خشک کل در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

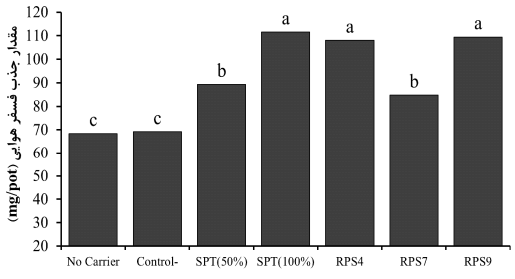
صادقی و همکاران (1394) نشان دادند که وزن خشک کل ذرت در تیمارهایی که کود زیستی به کار رفته بود، افزایش یافت. شارما (2002) گزارش کرده است که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش بیوماس و ماده خشک گیاهی می‌شود. وی اعتقاد دارد که افزایش انحلال فسفر دلیل افزایش بیوماس گیاهی می‌باشد. ژانگ و همکاران (2017) گزارش کردند که تلقیح کودهای میکروبی حاوی سویه های باکتریایی M01، M04، و M11 وزن خشک بخش هوایی را به ترتیب 30/5٪، 32.6٪ و 26/2٪ و وزن خشک ریشه را به ترتیب 27.1٪، 33.1٪ و 25.6٪ در گیاه گوجه فرنگی افزایش دادند. سویه M01 و M04 متعلق به جنس *Acinetobacter* و سویه M11 متعلق به جنس *Ochrobactrum* بود.

غلظت و مقدار جذب فسفر در بخش هوایی

غلظت و میزان جذب فسفر هوایی تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در سطح 1% معنی‌دار بود (جدول 4). تیمار میکروبی RPS4 دارای عملکرد بالایی از نظر مقدار غلظت و جذب فسفر بود بطوری که از نظر آماری با تیمار کود شیمیایی (100%) SPT هم‌گروه بودند. تیمار باکتریایی RPS9 نیز در رتبه بعدی از این نظر قرار داشت و تقریباً عملکردی مشابه تیمار کود شیمیایی SPT (50%) داشت. تیمار باکتریایی RPS7 نیز از نظر غلظت فسفر بخش هوایی با تیمار کود شیمیایی (50%) SPT برابری می‌کرد ولی از نظر مقدار فسفر بخش هوایی عملکرد کمتری نسبت به آن داشت (شکل 6 و 7).



شکل 6- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاته بر غلظت فسفر هوایی در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)



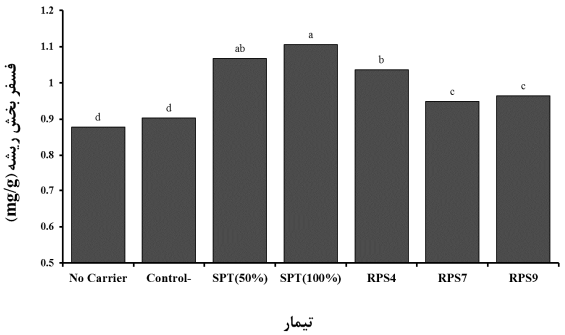
شکل 7- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاته بر جذب فسفر هوایی در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

Archive of SID

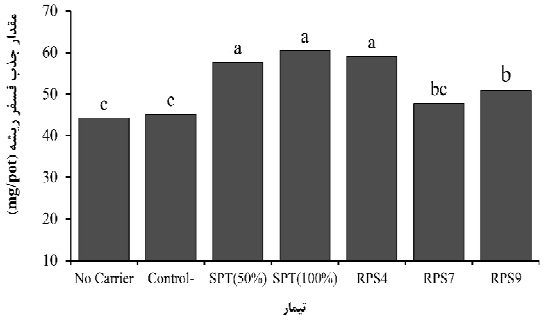
www.SID.ir

غلظت و مقدار جذب فسفر در ریشه

غلظت و میزان جذب فسفر ریشه تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاتی در سطح 1% معنی‌دار بود (جدول 4). نتایج این قسمت تا حدودی شبه بخش هوایی بدست آمد و در این قسمت نیز تیمار شیمیایی SPT (100%) دارای بالاترین مقدار در غلظت و مقدار جذب بخش ریشه بود. تیمار میکروبی RPS4 با وجود اینکه از نظر غلظت فسفر در ریشه کمتر از تیمار(100%) SPT بود ولی از نظر مقدار جذب با آن برابری داشت و موجب افزایش میزان جذب فسفر به میزان 25/1% نسبت به کنترل منفی و 23/49% نسبت به شاهد بدون بستر (No Carrier) شد. از نظر غلظت تیمارهای میکروبی RPS9 و RPS7 در یک سطح قرار داشتند در حالی که تیمار میکروبی RPS9 از نظر جذب دارای مقدار بالتری نسبت به RPS7 و با تیمار شیمیایی (50%) SPT در یک گروه آماری قرار داشت (شکل 8 و 9).



شکل 8- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاته بر غلظت فسفر ریشه در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)



شکل 9- اثر تلقیح کودهای میکروبی فسفاته بر مقدار جذب فسفر ریشه در گیاه ذرت. تیمارها: No Carrier (بدون بستر میکروبی و بدون کود سوپرفسفات‌تریپل)، SPT (کود سوپرفسفات‌تریپل در دو سطح 100 و 50 درصد توصیه کودی)، کنترل منفی (بستر بدون باکتری) و کود میکروبی فسفاته مربوط به هر 3 باکتری (RPS4 ، RPS9 و RPS7)

باکتری‌ها حل کننده فسفات در محیط حاوی تری‌کلسیم فسفات یا کانی‌های نامحلول مشابه به‌عنوان تنها منبع فسفر رشد کرده و نه‌تنها فسفر را جذب می‌کنند بلکه مقدار فسفر حل‌شده بیش از نیاز تغذیه‌ای‌شان است، درنتیجه سبب افزایش دسترسی فسفر برای گیاهان می‌شوند (چن و همکاران، 2006). ویرول و همکاران (2014) گزارش کردند که تلقیح گیاه ذرت با باکتری حل کننده فسفات *Pseudomonas koreensis* SP28 منجر به افزایش 56% محتوی فسفر گیاه ذرت شد. در پژوهشی هفت باکتری (*Pantoea agglomerans* P5، *Pseudomonas fluorescens* Tabriz، *P. putida* Tabriz، *Pseudomnas* sp. C16-2O، *Enterobacter* sp. S16-3، *Bacillus megaterium* JK6 و *B. firmus*) بر بستر پایه خاک فسفات، گوگرد و باگاس در قالب کود میکروبی فسفاته روی گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میزان جذب فسفر گیاه تحت تأثیر تلقیح کودهای میکروبی فسفاته در سطح 1% معنی‌دار بود. تیمار کود *P. agglomerans* P5 در سطح مصرفی 600 میلی‌گرم در هر گلدان (300 میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای بیشترین مقدار جذب فسفر با میانگین $9/68\ mg\ plant^{-1}$ بوده و موجب افزایش میزان جذب فسفر به میزان 27/1% نسبت به شاهد مثبت (سوپر فسفات تریپل) و 72/06% نسبت به شاهد منفی (بدون کود میکروبی) شد (ساریخانی و همکاران، 1396)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 4- تجزیه واریانس اندازه‌گیری فسفر در بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت فسفر بخش هوایی	غلظت فسفر بخش ریشه	مقدار فسفر بخش هوایی	مقدار فسفر ریشه
باکتری	6	2452/399**	438/547**	520/025**	69/649**
خطای آزمایشی	35	15/503	11/613	6/254	3/791
ضریب تغییرات (%)		11/49	8/92	11/68	13/54

** معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد (P<0 /01)

جدول 5- نتیجه شناسایی مولکولی و بیوشیمیایی باکتری‌ها

ایزوله	نوع گرم	شکل و اندازه	اکسیداز	کاتالاز	نیترات ردااکتاز	نتیجه شناسایی
RPS7	گرم منفی	میله‌ای ریز	-	+	+	*Pantoea agglomerans* RPS7
RPS9	گرم منفی	کوکسی تا میله‌ای ریز	-	+	+	*Pantoea agglomerans RPS9*

نتیجه‌گیری کلی

در جمع‌بندی نتایج آزمایش کودهای میکروبی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاه ذرت می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تیمار کودی RPS4 در پارامترهای اندازه‌گیری شده دارای عملکردی شبیه تیمار کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل بود و این دو تیمار (SPT100% و RPS4) عملکرد بالاتری نسبت به سایر تیمار میکروبی و تیمارهای شاهد (تیمار بستر بدون میکروب و تیمار بدون بستر) داشتند. تیمار میکروبی RPS7 دارای عملکرد کمتری بود و در اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده با تیمارهای شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. تیمار میکروبی RPS4 تا حدودی دارای عملکرد مشابه تیمار کود شیمیایی سوپرفسفات با سطح مصرفی 100% بود و تیمار میکروبی RPS9 نیز تا حدودی دارای عملکرد مشابه تیمار کود شیمیایی سوپرفسفات با سطح مصرفی 50% بود. دست یافتن به میکروبی که بتواند 100 یا 50 درصد مصرف کود شیمیایی فسفاته را کاهش دهد قدم بزرگی در راستای کشاورزی پایدار و سلامت انسان‌هاست چرا که استفاده از کودهای میکروبی فسفاته دارای مزایایی از جمله سازگار بودن با محیط زیست، کاهش مصرف کود شیمیایی، استفاده از فسفات تثبیت شده در خاک‌ها، افزایش غنای میکروبی خاک، افزایش مواد آلی خاک (با توجه به فرمولاسیون کود میکروبی) و غیره می‌باشد در کنار این مزایا چیزی که مشاهده می‌گردد اثرهای چندگانه تیمارهای میکروبی فسفاته در مقابل اثر تک بعدی کودهای فسفره است. کود شیمیایی فسفاتی تنها در جهت برآورد نیاز فسفری گیاه عمل کرده ولی تیمارهای باکتریایی عملکرد چندگانه علاوه برتأمین نیاز فسفری از خود نشان می‌دهند که از جمله آن می‌توان به سایر ویژگی‌های تحریک‌کنندگی رشد گیاه مثل تولید هورمون‌های محرک رشد و تولید سیدروفور و غیره اشاره کرد. با وجود اینکه تیمار RPS4 دارای بالاترین توان حل‌کنندگی بود ولی چون تحمل گرمایی ندارد لذا استفاده از این باکتری در این فرمولاسیون مناسب نیست زیرا ماندگاری و بقاء باکتری نامناسب است. با توجه به یافته‌های این تحقیق استفاده از باکتری حل‌کننده فسفات و مقاوم به گرما *Pantoea agglomerans* RPS9 که به تازگی جداسازی و شناسایی شده است، برای تولید کود میکروبی گرانوله در صنعت می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. کیانی راد، م. 1373. ارزیابی میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و تأثیر آنها در کاهش کودهای شیمیایی فسفره در کشت سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران، کرج. ایران.
2. فتحی، ا.، فرنیا، ا و ملکی، ع. 1395. اثر کودهای بیولوژیک نیتروژن و فسفر بر خصوصیات رویشی، ماده خشک و عملکرد ذرت. نشریه زراعت. شماره 110. صفحه 10-1.

Archive of SID

www.SID.ir

3. ضیائیان، ا.، سلیم پور، س.، سیلسی پور، م. و صفری، ه. 1388. ارزیابی برخی از کودهای زیستی و شیمیایی فسفره روی ذرت. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود. 10-12 اسفند، تهران، ایران.
4. صادقی، س.، حیدری، غ. ر و سهرابی، ی. 1394. تأثیر کودهای زیستی و مدیریت حاصلخیزی بر برخی شاخص‌های رشدی دورقم ذرت دانه‌ای. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد25، شماره3، ص60-43.
5. سیلسپور، م و بانیانی، ع. 1379. ارزیابی مزرعه‌ای کود فسفاته میکروبی و امکان جایگزینی آن با کودهای شیمیایی فسفری در زراعت پنبه، نشریه علمی پژوهشی خاک و آب، جلد 41، شماره 2، مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران، ایران.
6. ساریخانی، م. ر.، علی‌اصغرزاد، ن و خوشرو، ب. 1396. بررسی اثربخشی باکتری‌های حل‌کننده فسفات در قالب کود میکروبی فسفاته بر گیاه ذرت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. جلد 49، شماره 1، 81-71.
7. ساریخانی، م. ر.، ملبوبی، م.ع و ابراهیمی، م. 1393. باکتری‌های حل‌کننده فسفات: جداسازی باکتری‌ها و ژن‌های رمزکننده حل‌کنندگی فسفات. بیوتکنولوژی کشاورزی. دوره 6، شماره 1: 110-76.
8. ساریخانی، م. ر.، علی‌اصغرزاد، ن و ملبوبی، م.ع. 1392. بهبود تغذیه فسفری گندم در حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد سوم، شماره 1، 57-39.
9. خوشرو، ب و ساریخانی، م. ر. 1397. جداسازی و شناسایی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما برای استفاده در کود میکروبی فسفاته. مجله آب و خاک. جلد 32، شماره1، 155-167.
10. خوشرو، ب.، ساریخانی، م. ر و لطف‌الهی، ع. 1396. بررسی اثر تلقیح برخی کودهای میکروبی فسفاته تهیه شده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به دما بر ذرت (*Zea mays*). پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. 6 تا 8 شهریور. اصفهان. ایران
11. خوشرو، ب.، ساریخانی، م. ر و علی اصغرزاد، ن. 1396. بررسی کاربرد و عدم کاربرد گوگرد در فرمولاسیون کود میکروبی فسفاته *سودوموناس فلورسنس* در ذرت (*Zea mays* L.) . مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد 27، شماره 3، 139 -119.
12. Abdul-Jaleel, C., Manivannan, P,. Sankar, B,. Kishorekumar, A,. Gopi, R,. & Panneerselvam, R. 2007. *Pseudomonas fluoresense* enhances biomass yield and ajmalicine production in Catharanthus roseus under water deficit stress. Colloids and Surface B: Biointerfaces. 60: 7-11.
13. Anonymous. 1980. Soil and plant testing, as a basis of fertilizer recommendations. FAO soils bulletin, 38(2): 90-100.
14. Baset Mia, M.A., Shamsuddin, Z. H., Wahab, Z., & Marziah, M. 2010. Effect plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured Musa plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. Aust. J. Crop Sci., 4(2):85–90.
15. Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., & Young, C.C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Appl. Soil Ecol., 34: 33–41.
16. Dordas, C. 2009. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation: partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relation. Eur. J. Agron., 30: 129-139
17. Franco-Correaa, M, Quintana, A, Duque C, Suarez, C, Rodriguez, M.X., & Barea, J.M. 2010. Evaluation of actinomycete strains for key traits related with plant growth promotion and mycorrhizal helping activities. Appl. Soil Ecol., 45: 209–217.
18. Garbaye J. 1994. Helper bacteria-a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. New Phytol 128: 197-210.

Archive of SID

www.SID.ir

19. HashemAbadi, D., Zaredost F., Barari Ziyabari M., Zarchini M., Kaviani B., Jadid Solimandarabi M., Torkashvand A.M., & Zarchini, S. 2012. Influence of phosphot biofertilizer on quantity and quality features of marigold. Aust. J. Crop Sci., 6(6): 1101-1109.
20. Kacar, B., & Katkat ,V. 2010. Plant nutrition, 4th edition. Nobel Institute, Ankara. 217-289.
21. Khan, M.S., Zaidi, A., & Wain, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisims in sutainable agriculture –A review. Agron. Sustain., Dev.27:29-43.
22. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. Part I: physical and mineralogical methods. ASA, Inc. SSSA Inc. Madison, Wisconsin USA.
23. Malakoti, M.J. 1995. sustainable agriculture and increase performance by optimizing the use of fertilizers in Iran. dissemination of agricultural education. Karaj. Iran.
24. Matthews, S., & Adzahar, M.S. 2016. Application of phosphate solubilising microorganisms to increase the solubilisation of rock phosphates in soil. J. Trop., 44(1): 9-18.
25. Mishra, P. K., Bisht, S. C., Ruwari, P., Joshi, G. K., Singh, G., Bisht, J. K., & Bhatt, J. C. 2011. Bioassociative effect of cold tolerant *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-PR1 on iron acquisition, nutrient uptake and growth of lentil (*Lens culinaris* L.). Eur. J. Soil. Biol., 47: 35-43.
26. Nelson, D.W., Sommers, L.E., Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, P.R. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and mic-obiological properties. Soil Sci. Soc. Am., 539-580.
27. NourMohammadi, G., Siadat, S.A. & Kashani, A. 2001. Cereal Agronomy. Publicatio of ShahidChamran, Ahwaz, Ahwaz, Iran. p. 183-187. (In Persian)
28. Oneill, P.M., Shanahan, J.F. & Schepers, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. Crop Sci., 46(2): 681-687.
29. Olsen, S.R. & Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. p. 403-430. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
30. Rai, S.N., & Gaur, A.C. 1988. Characterization of *Azotobacter* spp. Effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* as inoculant on the yield and N-uptake of wheat crop. Plant Soil., 34: 131-134
31. Sarikhani, M.R., Khoshru, B,. & Oustan, S. 2016. Efficiency of Some Bacterial Strains in Potassium Release from Mica and Phosphate Solubilization under In Vitro Conditions. Geomicrobiol J., 33(9), pp.832-838.
32. Sauer, D.B. & Burroughs, R. 1986. Disinfection of seed surfaces with sodium hypochlorite. Phytopathology, 76(7): 745-749.
33. Sharma, A.K., & Johri, B.N. 2002. Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils. Oxford and IBH Publishing. New Delhi. P. 308.
34. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable Cations. p. 159-165. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
35. Viruel, E., Erazzú, L.E., Martínez Calsina, L., Ferrero, M.A., Lucca, M.E. & Siñeriz, F. 2014. Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: effect on plant growth and yield. J. Soil Sci. Plant Nutr., 14(4): 819-831.
36. Waling I., Vark W.V., Houba V.J.G., & Vanderlee J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, The Netherland.
37. Zhang, J., Wang, P., Fang, L., Zhang, Q.A., Yan, C. & Chen, J. 2017. Isolation and Characterization of Phosphate-Solubilizing Bacteria from Mushroom Residues and their Effect on Tomato Plant Growth Promotion. Pol J Microbiol., 66(1): 57-65.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of Phosphatic Microbial Fertilizers Produced from Phosphate Solubilizing Bacteria on Phosphorus Uptake and Growth of Maize

B. Khoshru[1] and M. R. Sarikhani

PhD Student of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran; E-mail: bahmankhoshru@yahoo.com

Associate Professor. of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, Iran; E-mail: rsarikhani@yahoo.com

Received: December, 2018 and Accepted: April, 2018

Abstract

One of the problems associated with the production of granular microbial fertilizer is the elimination of bacteria in the drying process of fertilizer. One solution for this problem is using thermal resistant phosphate solubilizing bacteria (PSB). In this study, the efficiency and effectiveness of some PMFs prepared by using two thermal resistant PSB (isolates RPS9 and RPS7) and one thermal sensitive PSB (isolate RPS4) in the basal formulation of rock phosphate (45 g), bagasse (30 g) and sulfur (15 g) were evaluated on the maize growth. The experimental design was CRD with 7 treatments including control treatment (without chemical and microbe fertilizer), triple super phosphate fertilizer treatments at the rates of 100% and 50% of the fertilizer recommendation (equivalent to 300 and 150 mg/kg soil, respectively), with bacterial treatments (RPS4, RPS7, and RPS9), in three replications. The results obtained from the greenhouse experiments showed that total wet and dry weight of the plants and uptake of phosphor in the root and shoot of corn S.C.704 were significantly influenced by the PMFs. RPS4 bacteria treatments had similar performance to triple super phosphate 100% and RPS9 had similar performance to 50% triple super phosphate. RPS7 had lower performance than the other two bacteria. From the two heat resistant isolates that were recently isolated and both belonged to the species *Pantoea agglomerans*, RPS9 seemed more promising for this purpose.

Keywords: Single cross 704, Granular fertilizer, Heat tolerant

[1]. Corresponding author: Department of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir