



اثرات باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر قابلیت استفاده فسفر در زراعت سورگوم

علیرضا فرحبخش^۱، *عبدالحسین ضیائیان^۲، حسین بشارتی^۳ و لادن جوکار^۴

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات فارس،
^۲دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، ^۳دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب،

^۴مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۹

چکیده

استفاده از ریزجانداران خاکزی، که توانایی انحلال فسفر تثبیت‌شده را دارند، یکی از راه‌های مؤثر برای افزایش جذب فسفر در خاک‌های قلیایی است. به منظور بررسی تأثیر کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر فراهمی این عنصر در زراعت سورگوم، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار در ۳ تکرار اجرا گردید. عوامل آزمایشی سطوح مختلف فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات گونه (*Bacillus megaterium*) بود. تیمارها ترکیبی از ۴ سطح فسفر (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل) و دو تیمار باکتری حل‌کننده فسفات (تلقیح با باکتری و نبود تلقیح باکتری) بود. نتایج نشان داد که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات عملکرد ماده خشک، جذب کل نیتروژن، فسفر، پتاسیم را به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) افزایش داد اما تأثیر معنی‌داری بر جذب کل آهن، منگنز و روی نداشت. کاربرد فسفر نیز تأثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر برخی شاخص‌های از جمله ارتفاع و قطر بوته‌ها، عملکرد ماده خشک، غلظت فسفر در اندام‌های هوایی و جذب کل فسفر توسط اندام‌های هوایی داشت. استفاده هم‌زمان فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز تأثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر قطر ساقه، عملکرد ماده خشک، غلظت فسفر در اندام‌های هوایی و جذب کل نیتروژن فسفر، آهن و منگنز توسط سورگوم داشت.

واژه‌های کلیدی: اجزا عملکرد، ریزجانداران حل‌کننده فسفر، سورگوم، شاخص‌های رشد، کود زیستی فسفوری

* مسئول مکاتبه: ziaeyan_39@yahoo.com

مقدمه

کارایی مصرف کودهای فسفاتی در خاک به وسیله ویژگی‌هایی مانند pH، مقدار ماده آلی، نوع ذرات خاک و سطح آن‌ها کنترل می‌شود (واگار و همکاران، ۲۰۰۴). به دلیل آهکی بودن خاک‌های زراعی کشور، کارایی مصرف کودهای فسفره در کشور پایین است و بخش قابل توجهی از کودهای فسفره مصرفی بعد از ورود به خاک به ترکیبات نامحلول فسفات کلسیم و منیزیم تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. مطالعات زیادی بر روی امکان استفاده از میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات بر روی محصولات متعدد انجام شده است (خان و وانی، ۲۰۰۷؛ افتخاری و همکاران، ۲۰۱۰؛ علیمددی و همکاران، ۲۰۱۰؛ خاصه‌سیرجانی، ۲۰۱۱). میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات (PSM)، که کم‌تر از ۱۰ درصد کل میکروارگانیزم‌های خاک را تشکیل می‌دهند (کیوسی و همکاران، ۱۹۸۹) طیف وسیعی از میکروفلور خاک را شامل می‌شوند (سینگ و جاداری، ۱۹۹۷؛ ویتلاو، ۲۰۰۰). جمعیت این ریزجانداران خاکی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند حاصلخیزی خاک، دما، رطوبت، مواد آلی و خواص فیزیکی خاک قرار دارد. این ریزجانداران با تولید اسیدهای معدنی (اسیدکربنیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (سیتریک، بوتیریک، اگزالیک، مالونیک، لاکتیک و...) و تولید آنزیم فسفاتاز، باعث انحلال فسفات‌های معدنی (از جمله خاک فسفات) و آلی می‌شوند (کیم و همکاران، ۱۹۸۹؛ ویتلاو، ۲۰۰۰). توانایی باکتری‌ها برای حل کردن فسفر خاک و تبدیل آن به حالت قابل دسترس برای گیاه اولین بار به وسیله Geresten در سال ۱۹۴۸ ثابت شد. آزمایش‌های وی نشان داد که باکتری‌های ریزوسفری در جذب فسفر توسط گیاه مؤثرند (خاوازی و ملکوتی، ۲۰۰۱). پژوهش‌های انجام شده بعدی نیز نشان داد که در خاک ریزجاندارانی وجود دارند که با تولید متابولیت‌های اولیه و ترشح در خاک قادرند روی کانی‌های معدنی و ترکیبات آلی فسفاتی اثر گذاشته، موجب آزادسازی فسفر و حل شدن آن در محلول خاک گردند. این ریزجانداران از مکانیزم‌های متفاوتی مانند اسیدی کردن و کلاته کردن در انحلال ترکیبات فسفری خاک استفاده می‌کنند. نشان داده شده است که فرایند معدنی شدن فسفر به کمک واکنش‌های آنزیمی از جمله فسفاتازها صورت می‌گیرد (واسگوز و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج به دست آمده از انجام پژوهش‌ها نشان داده است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات، بیوماس میکروبی خاک، فعالیت آنزیم فسفاتاز و انحلال فسفر را نسبت به تیمارهای شاهد افزایش می‌دهند. مکانیزم‌هایی که برای حل‌کنندگی فسفر پیشنهاد شده‌اند عبارتند از تولید اسیدهای آلی، تولید مواد کلات‌کننده، تولید اسیدهای معدنی مانند اسید سولفوریک، اسید نیتریک و

اسید کربنیک به وسیله ریزجانداران خاک (رودریگوز و فراگا، ۱۹۹۹). تولید اسیدهای آلی باعث اسیدی شدن سلول میکروبی و محیط اطراف آن می شود در نتیجه فسفر در اثر جایگزینی پروتون به جای کلسیم آزاد می شود. براساس پژوهش های ماکویی و نداکیدی (۲۰۰۹) در صورت تلقیح سنگ فسفات با ریزجانداران حل کننده فسفات عملکرد غلات، لگوم ها، سیب زمینی و سایر گیاهان به علت جذب فسفر افزایش می یابد. علاوه بر این نتایج پژوهش های علیمددی و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیانگر این مطلب است که در بیش تر موارد ریزجانداران حل کننده فسفات تأثیر مثبتی بر تثبیت نیتروژن دارند. براساس پژوهش های انجام شده ریزجانداران حل کننده فسفات موجود در خاک قادرند فسفر تثبیت شده و تجمع یافته در خاک را به فرم قابل استفاده گیاه تبدیل نموده و ضمن کاهش مصرف کودهای فسفوری، باعث افزایش جذب فسفر در گیاهان می شوند (مونیر و همکاران، ۲۰۰۴). در همین ارتباط، افتخاری و همکاران (۲۰۱۰) اثر باکتری های حل کننده فسفات و کودهای فسفاتی را بر رشد برنج پژوهش نمودند و نتیجه گیری نمودند که بیش ترین مقدار ماده خشک گیاهی از کاربرد سوپر فسفات تریپل به دست آمد اما بیش ترین مقدار ماده خشک ریشه و نسبت ریشه به ساقه از کاربرد هم زمان سنگ فسفات و باکتری های حل کننده فسفات حاصل شده بود. با توجه به اهمیت موضوع و به منظور بررسی اثرات مصرف باکتری های حل کننده فسفات بر قابلیت استفاده عناصر غذایی در زراعت سورگوم این پژوهش در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش ها

در سال ۱۳۹۰، یک آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار در ۳ تکرار طراحی و اجرا گردید تا اثرات دو عامل فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر فراهمی فسفر در کشت سورگوم مطالعه گردد. عامل فسفر شامل ۴ سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل و عامل باکتری حل کننده فسفات شامل دو تیمار کاربرد باکتری و کاربرد نداشتن بود. قبل از اجرای آزمایش خاک مورد آزمایش آنالیز شد. در نمونه های خاک براساس دستورالعمل های موجود (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۹۹۴) برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسیدکلریدریک، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت سنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده با روش اولسن، واکنش خاک (pH) در خمیر اشباع به وسیله الکتروود شیشه ای، غلظت عناصر کم مصرف به روش

دی‌تی‌پی‌ا (DTPA)، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم تعیین گردید. قبل از کاشت، خاک مورد آزمایش به نمونه‌های ۵ کیلوگرمی تقسیم شد. براساس نتایج تجزیه خاک و با توجه به توصیه‌های تحقیقاتی (غیبی و ملکوتی، ۱۹۹۷) کودهای مورد نیاز تعیین و به هر نمونه خاک به‌میزان یکسان ۸۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره (۳۰ میلی‌گرم قبل از کاشت و ۵۰ میلی‌گرم در دو نوبت بعد از کاشت)، همراه با ۱۰ میلی‌گرم روی و ۵ میلی‌گرم مس به‌ازای هر کیلوگرم خاک به‌ترتیب از منابع سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) و سولفات مس ($CuSO_4 \cdot H_2O$) اضافه گردید. میزان فسفر مورد نیاز نیز براساس تیمارهای موردنظر محاسبه و به خاک گلدان‌ها اضافه شد. هر نمونه کاملاً مخلوط و سپس در گلدان‌ها جای داده شد. هم‌زمان عملیات تلقیح بذور انجام شد. برای تلقیح بذرها، ابتدا ۱۵ گرم بذر سورگوم داخل کیسه پلاستیکی ریخته شد. سپس مقداری شکر به آن اضافه و به‌طور کامل به‌هم زده شد. آن‌گاه مقدار ۵ گرم از باکتری حل‌کننده فسفر به بذرها چسبناک اضافه شد. مایه تلقیح حل‌کننده فسفات از باکترهای سودوموناس گونه *Bacillus megaterium* با جمعیت حدود 10^8 سلول در هر گرم مایه تلقیح از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و به‌صورت بذر مال مصرف شد تا به‌طور یکنواختی روی بذرها را پوشاند. سپس در هر گلدان ۲۰ بذر کشت گردید. پس از ۱۰ روز تعداد بوته‌ها به ۱۰ بوته در هر گلدان کاهش یافت. آبیاری گلدان‌ها به‌صورت توزین چند گلدان و جبران کسر رطوبت آن‌ها از میزان رطوبت در حد ظرفیت نگهداری آب خاک (FC) صورت گرفت. قبل از برداشت ارتفاع و قطر بوته‌ها در هر گلدان اندازه‌گیری شد. سپس قسمت هوایی هر گیاه از نزدیک سطح خاک برداشت و وزن تر، وزن خشک و درصد رطوبت بوته‌های هر گلدان اندازه‌گیری شد. در نمونه‌های گیاهی غلظت عناصر تعیین گردید (امامی، ۱۹۹۶) و با توجه به عملکرد خشک میزان جذب کل آن‌ها تعیین شد. بعد از برداشت بوته‌ها نیز در خاک همه گلدان‌ها pH، فسفر و روی اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۹۹۴). تجزیه واریانس صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) نشان داد که خاک موردنظر بدون محدودیت شوری با کربن آلی کم، درصد مواد خنثی‌شونده بالا، فسفر متوسط و پتاسیم بالا بود. علاوه بر این خاک مورد مطالعه از نظر روی فقیر، از نظر آهن و مس متوسط و از نظر منگنز به‌نسبت غنی بود (غیبی و ملکوتی، ۱۹۹۷).

علیرضا فرحبخش و همکاران

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش.

Sand	Silt	Clay	Zn	Fe	Mn	Cu	K	P	O.C	T.N.V	pH	Ec
درصد			میلی‌گرم در کیلوگرم					درصد		دسی‌زیمنس بر متر		
۳۰	۴۶	۲۴	۰/۳۱	۴/۲	۱۱	۰/۶۰	۳۱۲	۱۱	۰/۵۷	۴۵	۷/۸۳	۰/۷۹

جدول ۲ نیز نتایج تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده از پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس برخی از داده‌های آزمایش*.

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	میزان عملکرد خشک	غلظت فسفر ماده خشک	فسفر خاک پس از برداشت
فسفر	۳	۱۴۲**	۰/۷۳**	۷۰/۹**	۰/۰۰۴ ^{ns}	۳۸/۴**
باکتری	۱	۶۶۶**	۰/۰۵ ^{ns}	۷۰/۰**	۰/۰۰۷*	۲۸/۲*
فسفر x باکتری	۳	۲۱ ^{ns}	۰/۳۴**	۳۳/۳**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۷/۸ ^{ns}
خطا	۱۶	۱۷	۰/۰۶	۳/۹	۰/۰۰۱	۵/۲
کل	۲۳	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات	۶/۸	۵/۲	۱۳/۵	۱۲/۱	۱۴/۶	

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

براساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۳) کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات تأثیر معنی‌داری ($P < 0/01$) بر ارتفاع بوته‌ها داشت. افزایش ارتفاع و قطر بوته‌های گندم در واکنش به استفاده از باکتری‌های محرک رشد، قبلاً توسط گلیک و همکاران (۲۰۰۱)، رمضانیان (۲۰۰۵) و لارسن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. براساس گزارش لارسن و همکاران (۲۰۰۹) کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های مختلفی هم‌چون تولید آنزیم ACC دآمیناز یا افزایش فراهمی فسفر موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع و قطر بوته گیاهان می‌شوند. گلیک و همکاران (۲۰۰۱) نیز تولید هورمون‌های گیاهی در اثر کاربرد باکتری‌ها را مسئول تحریک رشد و افزایش ارتفاع و قطر بوته گیاهان می‌دانند. نتایج بیانگر افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌ها در اثر کاربرد فسفر بود. در حالی‌که کاربرد هم‌زمان این دو فاکتور بر این صفت معنی‌دار نبود. اثر اصلی فسفر و اثر هم‌زمان فسفر با باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر قطر ساقه‌ها نیز در سطح ($P < 0/01$) معنی‌دار بود.

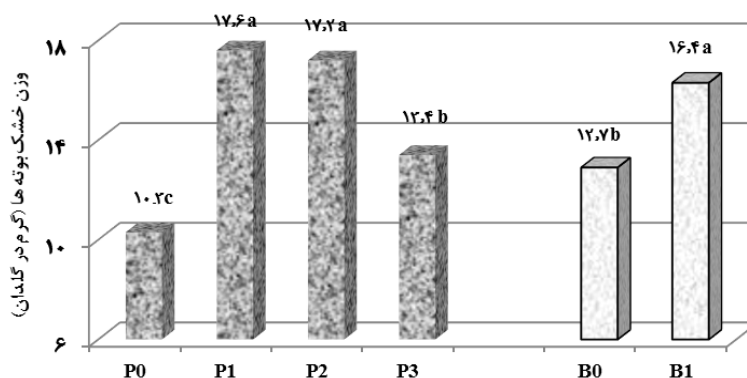
نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۲) ۱۳۹۳

جدول ۳- اثرات تیمارهای مختلف فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر ارتفاع بوته‌ها و قطر ساقه‌ها*.

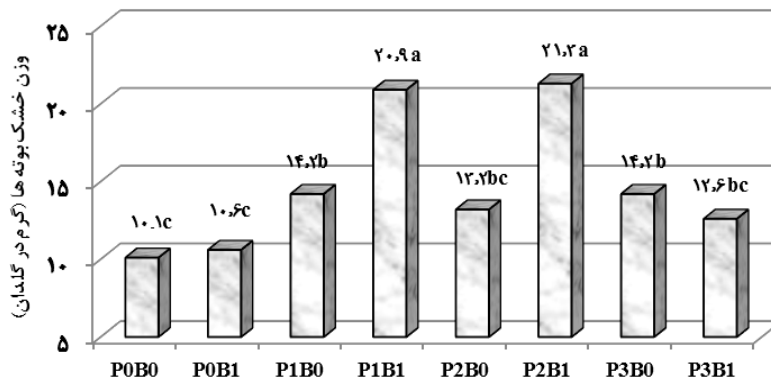
تیمارها	P.	P _{۲۰}	P _{۵۰}	P _{۷۵}	میانگین
ارتفاع بوته‌ها (سانتی‌متر)					
B.	۵۲/۳ ^c	۵۴/۱ ^{bc}	۵۹/۵ ^{bc}	۵۶/۴ ^{bc}	۵۵/۶ ^b
B _۱	۶۰/۳ ^b	۶۱/۰ ^b	۷۴/۴ ^a	۶۸/۷ ^a	۶۶/۱ ^a
میانگین	۵۶/۳ ^c	۵۷/۶ ^{bc}	۶۷/۰ ^a	۶۲/۵ ^{ab}	
قطر ساقه‌ها					
B.	۴/۳۵ ^d	۵/۳۵ ^a	۴/۸۶ ^{bc}	۴/۹۶ ^{abc}	۴/۸۸ ^a
B _۱	۴/۶۲ ^{dc}	۵/۱۳ ^{ab}	۵/۱۴ ^{ab}	۴/۲۵ ^d	۴/۷۹ ^a
میانگین	۴/۴۹ ^b	۵/۲۴ ^a	۵/۰۰ ^a	۴/۶۱ ^b	

* برای هر صفت اندازه‌گیری شده، میانگین‌های دارای حروف یکسان بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

افزایش ارتفاع و قطر بوته‌ها در اثر کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات در نهایت منجر به افزایش عملکرد ماده خشک سورگوم گردید ($P < 0/01$). اثر مثبت ریزجانداران حل‌کننده فسفات در خاک می‌تواند به علت فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و ترشح هورمون‌های رشد باشد. چنین نتیجه‌ای قبلاً نیز توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است. لی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که در اثر استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات عملکرد لوبیا افزایش می‌یابد. براساس گزارش آن‌ها استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق بهبود پارامترهای رشد منجر به افزایش وزن تر و خشک بوته‌های لوبیا می‌شود.



شکل ۱- اثرات اصلی کاربرد فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر وزن خشک بوته‌ها (گرم در گلدان).



شکل ۲- اثرات کاربرد هم‌زمان سطوح مختلف فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر وزن خشک بوته‌ها (گرم در گلدان).

نتایج همچنین نشان داد که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر موجب افزایش معنی‌داری در غلظت فسفر در اندام‌های هوایی شدند. در عین حال هر چند کاربرد منفرد و هم‌زمان فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات غلظت فسفر در اندام‌های هوایی را افزایش دادند اما از نظر آماری این افزایش‌ها معنی‌دار نبودند. از طرف دیگر نتایج نشان داد که کاربرد منفرد فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات تأثیر معنی‌داری به ترتیب در سطح ($P < 0.01$) و ($P < 0.05$) بر میزان فسفر خاک پس از برداشت داشتند اما تأثیر کاربرد هم‌زمان آن‌ها بر این صفت معنی‌داری نبود.

جدول ۴- اثرات تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر در اندام‌های هوایی و در خاک پس از برداشت.

تیمارها	P _۰	P _{۱۰}	P _{۲۰}	P _{۳۰}	میانگین
غلظت فسفر در اندام‌های هوایی (درصد)					
B _۰	۰/۱۵۷ ^c	۰/۲۰۳ ^{abc}	۰/۲۰۰ ^{abc}	۰/۲۲۳ ^{ab}	۰/۲۱۲ ^b
B _۱	۰/۱۹۳ ^{bc}	۰/۲۵۰ ^a	۰/۲۳۰ ^{ab}	۰/۲۵۰ ^a	۰/۲۳۳ ^a
میانگین	۰/۱۷۵ ^a	۰/۲۲۷ ^a	۰/۲۱۵ ^a	۰/۲۳۷ ^a	
غلظت فسفر در خاک پس از برداشت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
B _۰	۱۰/۵ ^d	۱۴/۳ ^{bcd}	۱۷/۶ ^{ab}	۱۵/۸ ^{abc}	۱۴/۵ ^b
B _۱	۱۳/۰ ^{cd}	۱۹/۳ ^a	۱۶/۷ ^{abc}	۱۷/۵ ^{ab}	۱۶/۶ ^a
میانگین	۱۱/۸ ^b	۱۶/۸ ^a	۱۶/۹ ^a	۱۶/۷ ^a	

* میانگین‌های دارای حروف یکسان بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۲) ۱۳۹۳

جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس داده‌های جذب کل عناصر غذایی مورد مطالعه حاصل را نشان می‌دهد. براساس داده‌های بالا نتایج زیر استنباط گردید.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمده از تأثیر تیمارهای مختلف بر جذب کل برخی عناصر توسط سورگوم*.

منابع تغییر	درجه آزادی	جذب کل نیتروژن	جذب کل فسفر	جذب کل پتاسیم	جذب کل آهن	جذب کل روی	جذب کل منگنز
فسفر	۳	۶۵۴**	۵/۹**	۷۴۳*	۲۱۳۲۲۵۳**	۱۳۰۲۰*	۵۱۰۲۵۲**
باکتری	۱	۲۷۲**	۹/۱**	۸۴۵*	۴۷۷۹۰۶ ^{ns}	۲۳۲۶ ^{ns}	۱۶۸۶۸۹ ^{ns}
فسفر × باکتری	۳	۱۶۹*	۲/۱**	۳۰۵ ^{ns}	۱۳۰۳۶۹۷*	۷۰۲۳ ^{ns}	۳۱۵۰۹۶*
خطا	۱۶	۴۳	۰/۲	۱۶۵	۲۹۶۳۸۲	۳۹۷۸	۷۴۱۵۲
کل	۲۳	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات	۱۷/۳	۱۵/۳	۲۹/۵	۲۶/۶	۲۳/۸	۲۴/۴	-

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

با توجه به تأثیر معنی‌دار فسفر و باکتری حل‌کننده فسفات بر افزایش عملکرد ماده خشک گیاهی، افزایش جذب کل سه عنصر نیتروژن، پتاسیم و به‌خصوص فسفر قابل پیش‌بینی بود (جدول ۶).

جدول ۶- اثرات کاربرد تیمارهای مختلف بر جذب کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم (گرم در گلدان).

تیمارها	P _۰	P _{۱۰}	P _{۲۰}	P _{۳۰}	میانگین
جذب کل نیتروژن					
B _۰	۲۵/۳ ^e	۳۸/۵ ^{cd}	۴۱/۲ ^{bc}	۳۴/۳ ^{cde}	۳۴/۸ ^b
B _۱	۲۹/۷ ^{cde}	۵۷/۰ ^a	۵۱/۸ ^{ab}	۲۷/۶ ^{de}	۴۱/۵ ^a
میانگین	۲۷/۵ ^b	۴۷/۷ ^a	۴۶/۵ ^a	۳۰/۹ ^b	-
جذب کل فسفر					
B _۰	۱/۵۸ ^d	۲/۹۰ ^{bc}	۲/۶۸ ^{bc}	۳/۱۸ ^b	۲/۵۸ ^b
B _۱	۲/۰۷ ^{cd}	۵/۲۳ ^a	۴/۸۳ ^a	۳/۱۲ ^b	۳/۸۱ ^a
میانگین	۱/۸۳ ^c	۴/۰۶ ^a	۳/۷۶ ^a	۳/۱۵ ^b	-
جذب کل پتاسیم					
B _۰	۳۶/۷ ^c	۴۴/۷ ^b	۳۲/۴ ^{cd}	۳۶/۴ ^{cd}	۳۷/۵ ^b
B _۱	۴۷/۶ ^b	۷۳/۹ ^a	۴۵/۳ ^b	۳۰/۸ ^d	۴۹/۴ ^a
میانگین	۴۲/۱ ^b	۵۹/۳ ^a	۳۸/۹ ^b	۳۳/۶ ^c	-

* برای هر صفت اندازه‌گیری شده، میانگین‌های دارای حروف یکسان بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

به نظر می‌رسد بر خلاف تأثیر معنی‌دار باکتری‌ها بر افزایش عملکرد ماده خشک، به‌علت کاهش غلظت این سه عنصر در اندام‌های هوایی، احتمالاً به‌علت اثرات آنتاگونیسمی بین فسفر و عناصر کم‌مصرف و همچنین به‌علت پدیده رقت (dilution effect)، جذب کل این سه عنصر افزایش معنی‌داری نداشت اما کاربرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر افزایش جذب کل آهن و روی ($P < 0/01$) و منگنز ($P < 0/05$) داشت. به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد ناشی از کاربرد باکتری آن‌قدر زیاد نبود که اثرات کاهش باکتری‌ها را بر کاهش غلظت این سه عنصر جبران نماید در حالی‌که تأثیر فسفر بر افزایش عملکرد بیش‌تر از اثرات منفی کاربرد فسفر بر کاهش غلظت سه عنصر کم‌مصرف بود (جدول ۷). اثرات منفی فسفر بر کاهش غلظت عناصر کم‌مصرف توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (مونیر و همکاران، ۲۰۰۴؛ رمضانیان، ۲۰۰۵؛ افتخاری و همکاران، ۲۰۱۰). کاربرد هم‌زمان فسفر و باکتری تأثیر معنی‌داری ($P < 0/05$) بر جذب کل آهن و روی داشت اما تأثیر معنی‌داری بر جذب کل منگنز نداشت.

جدول ۷- اثرات کاربرد تیمارهای مختلف بر جذب کل آهن، منگنز و روی (میکروگرم بر گرم).

تیمارها	P.	P _{۲۵}	P _{۵۰}	P _{۷۵}	میانگین
جذب کل آهن					
B.	۱۳۵۸ ^b	۲۰۶۵ ^b	۲۰۱۸ ^b	۲۱۷۶ ^b	۱۹۰۴ ^a
B _۱	۱۴۰۱ ^b	۲۲۸۷ ^b	۳۵۶۹ ^a	۱۴۹۰ ^b	۲۱۸۶ ^a
میانگین	۱۳۷۹ ^c	۲۱۷۶ ^{ab}	۲۷۹۴ ^a	۱۸۳۳ ^{bc}	
جذب کل منگنز					
B.	۸۵۴ ^c	۱۱۹۵ ^{bc}	۱۰۱۹ ^{bc}	۱۰۵۸ ^{bc}	۱۰۳۱ ^a
B _۱	۷۹۹ ^c	۱۴۷۷ ^{ab}	۱۷۷۱ ^a	۷۵۰ ^c	۱۱۹۹ ^a
میانگین	۸۲۶ ^b	۱۳۳۶ ^a	۱۳۹۵ ^a	۹۰۴ ^b	
جذب کل روی					
B.	۲۴۳ ^{bc}	۲۸۵ ^{abc}	۲۴۱ ^{bc}	۲۵۴ ^{abc}	۲۵۶ ^a
B _۱	۱۸۵ ^c	۳۵۹ ^a	۳۲۱ ^{ab}	۲۳۶ ^{bc}	۲۷۵ ^a
میانگین	۲۱۴ ^b	۳۲۲ ^a	۲۸۲ ^{ab}	۲۴۵ ^{ab}	

* برای هر صفت اندازه‌گیری شده، میانگین‌های دارای حروف یکسان بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه گیری کلی

ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی محسوب می شود. افزایش رشد رویشی در نهایت منجر به افزایش عملکرد ماده خشک گیاهی می گردد در نتیجه هر عاملی که بتواند رشد گیاهی را بهبود بخشد می تواند منجر به افزایش ماده خشک گیاهی گردد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد باکتری های حل کننده فسفات با افزایش بیش از ۱۰ سانتی متر ارتفاع بوته ها، تفاوت معنی داری با تیمار کاربرد نداشتن این باکتری ها داشت. چنین نتایجی قبلاً گزارش شده است. رمضانیان (۲۰۰۵) ضمن مطالعات خود بر روی گندم نشان داد که در اثر کاربرد باکتری های محرک رشد، ارتفاع و قطر بوته های گندم افزایش می یابد. در همین رابطه لی و همکاران (۲۰۰۵) نیز تأثیر تلقیح گیاه لوبیا با باکتری های محرک رشد را مطالعه نموده و گزارش کردند که استفاده از این باکتری ها می تواند منجر به افزایش وزن خشک گیاه گردد. آن ها این احتمال را می دهند که باکتری های حل کننده فسفر از طریق تولید هورمون های گیاهی تحریک کننده رشد، سبب افزایش رشد و نمو و تجمع ماده خشک بخش هوایی بوته ها گردند. او و همکاران (۲۰۰۵) اعتقاد دارند علت اصلی افزایش عملکرد غلات و سایر گیاهان تلقیح شده با ریزجانداران حل کننده فسفات می تواند جذب بیش تر فسفر باشد. لی و همکاران (۲۰۰۰) و لارسن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که ریزجانداران خاک از جمله باکتری های محرک رشد از طریق مکانیسم های مختلفی هم چون تولید آنزیم ACC دامیناز و یا افزایش فسفر قابل جذب می توانند موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع و قطر بوته گیاهان گردند. گیلک و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند که باکتری های محرک رشد از طریق تولید هورمون های گیاهی موجب افزایش ارتفاع و قطر بوته گیاهان می گردند. براساس مطالعات آبسووار و عمر (۲۰۱۱) باکتری های حل کننده فسفات از جمله ریزجاندارانی هستند که علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک، هم چون فسفر، می توانند از طریق افزایش کارایی تثبیت زیستی نیتروژن، دسترسی عناصر غذایی و تولید هورمون های رشد را بهبود بخشند. مطالعات انجام شده توسط عبدالجلیل و همکاران (۲۰۰۷) نشان داده است که یکی از علت های عمده حل کنندگی فسفات توسط باکتری ها، تولید اسیدهای آلی توسط این ریزجانداران می باشد. تولید اسیدهای آلی باعث اسیدی شدن سلول میکروبی و محیط اطراف آن می شود. براساس پژوهش های انجام شده قبلی معلوم شده بود که انتشار فسفر در خاک بسیار کند و جذب آن توسط ریشه گیاهان بسیار سریع است در نتیجه محیط اطراف ریشه، به سرعت از نظر فسفر محلول، تخلیه می گردد و به این ترتیب دریافت فسفر توسط گیاه محدود می شود. گرچه نتایج به دست

آمده از این پژوهش دلیل بر افزایش ارتفاع و قطر بوته‌ها و در نهایت افزایش عملکرد ماده خشک سورگوم در اثر کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات است و هر یک از عوامل ذکر شده بالا می‌توانند این افزایش‌ها را توجیه نمایند اما علت یا علل اصلی این افزایش‌ها کاملاً مشخص نمی‌باشد و برای یافتن دلیل یا دلایل اصلی پژوهش‌های بیش‌تر و تکمیل‌تری پیشنهاد می‌گردد.

براساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق تأثیر معنی‌دار بر عملکرد ماده خشک، موجب تأثیر مثبت و معنی‌داری بر جذب کل فسفر و نیتروژن ($P < 0/01$) و جذب کل پتاسیم ($P < 0/05$) شدند. اما بر خلاف تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر عملکرد ماده خشک، افزایش جذب کل آهن، روی و منگنز توسط اندام‌های هوایی در اثر کاربرد این باکتری‌ها معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد اثرهای کاربرد باکتری‌ها بر کاهش غلظت این سه عنصر در اندام‌های هوایی به اندازه‌ای بوده است که نتوانسته افزایش عملکرد ناشی از آن را جبران نماید و در نهایت افزایش جذب کل این دو عنصر معنی‌دار نبود. براساس مطالعات انجام شده جذب عناصر غذایی توسط گیاه تابع دو عامل رشد سیستم ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد. پژوهشگران زیادی نقش اتیلن در تغییرات مورفولوژیکی سیستم ریشه‌ای را بیان کرده‌اند که خود می‌تواند بر جذب عناصر غذایی توسط ریشه مؤثر باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۵؛ افضل و همکاران، ۲۰۰۵). زیست ساخت اتیلن در گیاهان تا حد زیادی تحت تأثیر قابلیت استفاده عناصر غذایی و به‌ویژه فراهمی فسفر می‌باشد (آبیلِس و همکاران، ۱۹۹۲؛ ارشد و فرانکن‌برگر، ۲۰۰۲؛ شارونا و همکاران، ۲۰۰۶). در این آزمایش، در مورد نقش اتیلن در جذب عناصر غذایی بررسی انجام نگرفت، اما با توجه به گزارش‌های قبلی (لی و همکاران، ۲۰۰۵) در مورد پتانسیل باکتری‌های دارای آنزیم ACC دآمیناز در کاهش اتیلن در گیاه و رابطه بین اتیلن، رشد ریشه و جذب عناصر غذایی، این احتمال وجود دارد که عامل مهم در افزایش جذب عناصر غذایی در تیمار تلقیح با باکتری، اثر این ریزجانداران بر کاهش اتیلن بوده باشد. این موضوع نیز نیاز به مطالعه بیش‌تری می‌باشد.

براساس نتایج این پژوهش، مصرف فسفر شیمیایی نیز تا حدی (تا سطح سوم، P_{50}) عملکرد را افزایش داد و با بیش‌تر شدن فسفر مصرفی مقدار عملکرد کاهش یافت. علت این امر می‌تواند تأثیر سوء زیادی فسفر بر سایر پارامترهای رشد از جمله جذب سایر عناصر غذایی و به‌خصوص روی باشد. براساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۷)، جذب کل روی تنها با مصرف کم‌ترین سطح فسفر

تفاوت معنی‌داری با شاهد دارد و با بالا رفتن فسفر مصرفی، به‌علت کاهش غلظت روی در گیاه، جذب کل این عنصر توسط اندام‌های هوایی کاهش یافت. این نتیجه می‌تواند کاهش عملکرد ناشی از زیادتی فسفر را توجیه نماید. به‌نظر می‌رسد کارایی موجودات میکروبی حل‌کننده فسفات نیز متأثر از میزان فسفر خاک باشد به‌طوری‌که به‌نظر می‌رسد کارایی این باکتری‌ها در خاک‌های ضعیف‌تر بیش‌تر است این موضوع زمینه‌ای برای پژوهش‌های بیش‌تر است. براساس نتایج به‌دست آمده کاربرد منفرد فسفر نیز تأثیر معنی‌داری در سطح ($P < 0/01$) بر افزایش جذب کل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز توسط اندام‌های هوایی داشت. علت این افزایش‌ها را می‌توان به تأثیر مثبت کاربرد فسفر بر عملکرد ماده خشک سورگوم ربط داد. استفاده هم‌زمان فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش قطر ساقه‌ها، عملکرد کل و جذب کل فسفر توسط سورگوم در سطح ($P < 0/01$) و جذب کل نیتروژن، پتاسیم، آهن و منگنز در سطح ($P < 0/05$) معنی‌دار گردید استفاده هم‌زمان از فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفر باعث افزایش غلظت فسفر در خاک پس از برداشت شد. استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر هم‌زمان با کود فسفوره می‌تواند با آزادسازی تدریجی فسفر از کود فسفوره، همانند یک کود فسفوره عمل کند و باعث افزایش غلظت فسفر در خاک شود. این نتایج با نتایج الدیوبینی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

منابع

1. Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2007. Pseudomonas fluorescence enhances biomass yield and ajmalicine production in Catharanthus roses under water deficit stress. *Biointerfaces*. 60: 1. 7-11.
2. Abeles, F.B., Morgan, P.W., and Saltveit, M.E. 1992. *Ethylene in Plant Biology*. San Diego, CA. Academic Press, 2 editions. 414p.
3. Abusuwar, A.O., and Omer, E.A. 2011. Effect of intercropping, phosphorus fertilization and rhizobium inoculation on the growth and nodulation of some leguminous and cereal forage. *Agric. Biol. J. North Amer.* 2: 1. 109-124.
4. Afzal, A., Ashraf, M., Asad, S.A., and Farooq, M. 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganism on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticumaestivum* L.) in rainfed area. *Inter. J. Agric. Biol.* 7: 2. 207-209.
5. Ali Ehyae, M., and Behbahanizadeh, A.A. 1994. *Description of Soil Chemical Analysis Methods*. Technical publication No. 1024, Vol. 2. Soil and Water Research Institute Press. Tehran. 128p. (In Persian)

6. Alimadadi, A., Jahansouz, M.R., Besharaty, H., and Tavakkol-Afshari, R. 2010. Evaluating the effects of phosphate solubilizing microorganisms, mycorrhizal fungi and seed priming on nodulation of chickpea. *Iran. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences)*, 24: 1. 43-53. (In Persian)
7. Arshad, M., and Frankenberger W.T., Jr., 2002. *Ethylene: Agricultural Sources and Applications*, Kluwer Academic Publishers, New York, U.S.A. 342p.
8. Eftekhari, Gh., Fallah, A.R., Akbari, Gh.A., Mohaddesi, A., and Allahdadi, I. 2010. Effect of phosphate solubilizing bacteria and phosphate fertilizers on rice growth parameters. *J. Soil Res. (Soil and Water Sciences.)*. 23: 2. 229-239. (In Persian)
9. El-Dewiny, C.Y., Moursy, Kh.S., and El-Aila, H.I. 2006. Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spinach and radish plants. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 2: 3. 103-108.
10. Emami, A. 1996. *Methods of Plant Analysis*. Technical Publication No. 182. Soil and Water Research Institute Press, Tehran. 125p. (In Persian)
11. Ghaibi, M.N., and Malakouti, M.J. 1997. Determine the critical level of nutrients in strategic plants and accurate fertilizer recommendations in country. Agricultural Education Publication, Karaj, Iran. 56p.
12. Glick, B.R., Penrose, D., and Wenbo, M. 2001. Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advance*. 19: 2. 135-138.
13. Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 27: 1. 29-43.
14. KhasseheSirjani, A. 2011. Evaluation of biofertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and enriched organic P-fertilizer in wheat production. *Iran. J. Soil Res. (Soil and Water Science.)*. 25: 3. 217-224. (In Persian)
15. Khavazi, K., and Malakouti, M.J. 2001. Necessary for industrial production of biological fertilizers (Proceedings). Agricultural Education Publication. 610p.
16. Kim, K.Y., Jordan, D., and MacDonald, G.A. 1989. Entrobacteragglomerans, phosphate solubilizing bacteria, and microbial activity in soil: Effect of carbon sources. *Soil Biology and Biochemistry*. 89: 995-1003.
17. Kucey, R.M.N., and Leggett, M.E. 1989. Microbial mediated increases in plant available phosphorus. *Advances in Agronomy*. 42: 199-228.
18. Larsen, J., Cornejo, P., and Miguel Barea, J. 2009. Interactions between the arbuscularmycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. macerans* in the mycorrhizosphere of *Cucumis sativus*. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 286-292.
19. Lee, K.D., Bai, Y., Smith, D., and Han, H.S. 2005. Isolation of Plant-Growth-Promoting Endophytic Bacteria from Bean Nodules. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 1: 3. 232-236.

20. Li, J., Ovakim, D.H., Charles, T.C., and Glick, B.R. 2000. An ACC deaminase minus mutant of *Enterobacter cloacae* UW4No longer promotes root elongation. *Current Microbiology*. 41: 2. 101-105.
21. Makoi, J.H.J.R., and Ndakidemi, P.A. 2009. The agronomic potential of vesicular-arbuscularmycorrhiza (VAM) in cereals-legume mixtures in Africa. *Afric. J. Microbiol. Res.* 3: 11. 664-675.
22. Munir, I., Ranjha, A.M., Sarfraz, M., Obaid-ur-Rehman, Mehdi, S.M., and Mahmood, K. 2004. Effect of residual phosphorus on sorghum fodder in two different textured soils. *Inter. J. Agric. Biol. Sci.* 6: 6. 967-969.
23. Ramezani, A. 2005. Role of reproducer ACC deaminase enzyme rhizobium bacteria on moderation the adverse effect of ethylene stress in wheat. M.Sc. Thesis in soil science, University of Tehran.
24. Rodriguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. 17: 4-5. 319-339.
25. Shahroona, B., Arshad, M., Zahir, Z.A., and Khalid, A. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 9. 2971-2975.
26. Singh, A.L., and Chaudari, V. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. *J. Agron. Crop Sci.* 179: 2. 107-114.
27. Vazques, P., Holguin, G., Puente, M.E., Lopez-Cortes, A., and Bashan, Y. 2000. Phosphate solubilizing microorganism associated with the rizosphere of mangroves in semi-arid coastal lagoon. *Biology Fertility of Soils*. 30: 5-6. 460-468.
28. Wagar, A., Shahroona, B., Zahir, Z.A., and Arshad, M. 2004. Inoculation with Accdeaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Pak. J. Agric. Sci.* 41: 3-4. 119-124.
29. Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilization fungi. School of wine and food sciences. Charles Stuart University, Wagga, NSW2678, Australia.
30. Wu, B., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., and Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trail. *Geoderma*. 125: 1-2. 155-162.



Phosphate solubilizing bacteria roles on the mineral nutrition uptake and yield of sorghum

A.R. Farahbakhsh¹, *A.H. Ziaeyan², H. Besharati³ and L. Joukar⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Islamic Azad University, Fars Science
and Researches Unit, ²Associate Prof. of Agriculture and Natural Resource Research
Center of Fars, ³Associate Prof. of Soil and Water Research Institute,

⁴Instructor of Agriculture and Natural Resource Research Center of Fars

Received: 04/28/2013; Accepted: 10/01/2013

Abstract

The usage of soil microorganisms which they have ability of dissolving fixed phosphorus, is one of the effective ways to increment the uptake of phosphorus in calcareous soils. In order to study the roles of phosphate solubilizing bacteria on the availability of P in the sorghum, a pot experiment was conducted as a factorial in completely randomized design with eight treatments and three replications. The experimental factors were different phosphorus levels and phosphate solubilizing bacteria (*Bacillus megaterium*). The treatments were combination of four P levels (zero, 25, 50 and 75 mg/kg P₂O₅ from triple super phosphate source) and the two treatments of phosphate solubilizing bacteria (with bacteria inoculation and without bacteria inoculation). The results indicated that utilizing the phosphate solubilizing bacteria increased significantly ($P < 0.01$) the dry matter yield, nitrogen, phosphorus and potassium uptakes but had not significant effects on iron, manganese and zinc uptake. Phosphorus application also had a significant effect ($P < 0.01$) on some indicators such as plant height and diameter, dry matter yield, shoot P concentration and shoot P uptake. Combined using of both phosphorus and phosphate solubilizing bacteria had a significant effect ($P < 0.01$) on the stem diameter, dry matter yield, shoots phosphorus concentration, nitrogen, phosphorus, iron and manganese uptakes by sorghum.

Keywords: Yield component, Total uptake, Phosphate solubilizing microorganism, Sorghum, Growth indicators, Phosphorous biofertilizers

* Corresponding Authors; Email: ziaeyan_39@yahoo.com

