تأثیر تلقیح ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات در افزایش کارایی و درصد بازیافت کودهای فسفاتی در کلزا

فرهاد آذرمی[1]، محمدجعفر ملکوتی و کاظم خاوازی

دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران؛ fa86_tmu@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران؛ mjmalakouti@hotmail.com

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب کرج؛ kkhavazi@yahoo.com

دریافت: 1391/8/21 و پذیرش: 1392/4/17

چکیده

فسفر (P) یکی از مهمترین عناصر مورد نیاز در تولید محصول به شمار می‌آید. بخش اعظم کودهای فسفاتی که برای تامین فسفر گیاه به خاک افزوده می‌شوند در مدت زمان کوتاهی تثبیت شده و در خاک‌های زراعی آهکی عمدتاً به صورت فسفات‌های کلسیم ترسیب می‌شوند. به منظور استفاده اقتصادی از ذخایر فسفاتی انباشته شده در خاک‌های آهکی ایران و افزایش کارایی کودهای فسفاتی، مطالعه گلخانه‌ای در سال زراعی90-1389به صورت طرح کاملا تصادفی با 8 تیمار و 4 تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل: T_1= شاهد (C)، T_2= ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات (PSM)، T_3= سوپرفسفات‌تریپل (TSP)، T_4= TSP+PSM، T_5= بیوفسفات‌طلایی (GBP)، T_6= GBP+PSM، T_7= خاک‌فسفات (RP) و T_8= RP+PSM بود. نتایج نشان داد تلقیح با ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات جذب فسفر توسط کلزا را 80/44 درصد نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح افزایش داد که این مقدار در سطح 5 درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار جذب فسفر از تیمار T_4 برابر با 84/36 میلی‌گرم در گلدان حاصل شد. همچنین بیشترین مقدار بازده نسبی-زراعی و درصد بازیافت کود به ترتیب برابر 109/29 و 71/91 درصد بود که از تیمار TSP+PSM بدست آمد. تلقیح با ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات در همه تیمارها باعث افزایش وزن خشک اندام‌هوایی، تعداد غلاف، غلظت فسفر، جذب فسفر، بازده نسبی‌زراعی و درصد بازیافت کود نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای بدون تلقیح شد. با توجه به نتایج حاصله، گرانی کودهای فسفاتی در جهان و رعایت مسایل زیست محیطی، انجام تحقیقات میدانی در این رابطه مورد پیشنهاد است.

واژه‌های کلیدی: بازده نسبی‌زراعی، سوپرفسفات‌تریپل، کودهای فسفاتی

مقدمه

فسفر (P) پس از نیتروژن و علی‌رغم فراوانی آن در خاک، مهمترین عنصرغذایی محدودکننده رشد گیاه می‌باشد. از مهمترین نقش‌های فسفر در گیاه می‌توان به تشکیل بذر و گل، توسعه ریشه، افزایش کیفیت محصول، ساخت پروتئین و ساخت اسیدهای نوکلئیک، مقاومت در برابر بیماری‌ها و تنش‌های محیطی اشاره کرد (ملکوتی و همکاران، 1387).

متداول‌ترین روش برای جبران کمبود فسفر خاک، از استفاده از کودهای شیمیایی فسفاتی است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد افزایش مصرف کودهای فسفاتی طی سال‌های اخیر نه تنها عملکرد محصولات زراعی را

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: کرج، مهرشهر، شهرک ولیعصر، خیابان6، کوچه توحید2، فرعی2، پلاک 26، کدپستی: 3187665999

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش نداده بلکه در نتیجه‌ی برهم زدن تعادل عناصر غذایی، کاهش محصول را نیز به دنبال داشته است (کریمیان، 1377). بخش اعظم کودهای فسفاتی که برای تأمین فسفر مورد نیاز گیاه به خاک افزوده می‌شوند به علت واکنش با کلسیم، آهن و کلوییدهای خاک در مدت زمان کوتاهی تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج و در خاک‌های زراعی آهکی عمدتا به صورت فسفات‌های کلسیم رسوب می‌کنند (رودریگوئز و فراگا، 1999). شدت این ترسیب در ایران به دلایل متعددی از جمله ارزانی، تصور اشتباه در رابطه با میزان نیاز گیاه به فسفر و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاتی بسیار زیاد می‌باشد.

برخی از ریزجانداران خاکزی می‌توانند با مکانیسم‌های مختلفی درحل شدن فسفات‌های معدنی کم-محلول موثر باشند. کودهای بیولوژیک در مقایسه با کود-های شیمیایی برتری‌های قابل توجهی دارند که می‌توان به قابلیت تکثیر خودبه‌خودی، نداشتن اثرات منفی بر محیط‌زیست و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره کرد (معلم و عشقی‌زاده، 2007). ریز-جانداران‌حل‌کننده‌فسفات (PSM)[1] با تولید اسیدهای معدنی (اسیدکربنیک و اسیدسولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک، لاکتیک و ...) و تولید آنزیم‌های فسفاتاز باعث انحلال فسفات‌های معدنی و آلی می‌شوند (ساندارا و همکاران، 2001). کمتر از 10 درصد کل ریزجانداران خاک قدرت حل کنندگی فسفات را دارند. توان باکتری‌ها در حل کردن فسفات‌های نامحلول بیشتر از قارچ‌هاست (رنجکار و همکاران، 2007). باکتری‌های‌حل-کننده‌فسفات 50-1 درصد و قارچ‌ها فقط 0/5-0/1 درصد جمعیت میکروبی خاک را شامل می‌شوند (چن و همکاران، 2006). در تحقیقی که بر روی خاک‌های شمال ایران انجام شد حدود 88 درصد از PSM را باکتری‌ها تشکیل می‌دادند (فلاح،2006). باکتری‌های *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Rhizobium* و *Enterobacter* و قارچ‌های *Aspergillus* و *Penicillium* اهمیت بالایی در حل کردن فسفر خاک دارند (وایتلاو، 2000). تلقیح با باکتری‌های-حل‌کننده‌فسفات، فسفر قابل جذب خاک، جذب فسفر توسط گیاه و رشد گیاه را افزایش داد (گوپتا و همکاران، 2012). باکتری ترموفیلیک *Acidithiobacillus caldus* توانایی بیشتری نسبت به باکتری مزوفیلیک *Acidithiobacillus thiooxidan* در حل کردن فسفر از خاک فسفات در دمای 45 درجه و اسیدیته 2/5 دارد. حل شدن فسفر توسط *A.caldus* تحت تأثیر دما، اسیدیته اولیه، مقدار خاک‌فسفات و مقدار سولفور بود (ژیاوو و همکاران، 2011). تلقیح گیاهان زراعی با این ریزجانداران می‌تواند رشد و عملکرد آن‌ها را افزایش دهد. به‌طور کلی افزایش تعداد و تنوع ریزجانداران و اثرات متقابل آن‌ها موجب افزایش تعداد و تنوع اسیدهای آلی موثر در فرآیند انحلال فسفات‌های نامحلول می‌شود (شارما، 2002).

کاربرد باکتری‌های‌حل‌کننده‌فسفات همراه با سوپرفسفات‌ساده و خاک‌فسفات مصرف فسفر را به ترتیب 25 و 50 درصد کاهش داد (ساندارا و همکاران، 2002). کومار و همکاران (2001) گزارش کردند که تلقیح با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم تأثیر مطلوبی بر عملکرد گندم داشت و باعث افزایش عملکرد دانه، کاه، عملکرد بیولوژیکی، وزن هزار دانه و بیوماس ریشه نسبت به شاهد شد.

کاربرد باکتری‌های *Bradyrhizobium japonicum* و *Pseudomonas* ssp. می‌تواند تعداد غلاف، وزن خشک غلاف، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، فراهمی عناصر غذایی خاک و جذب آن‌ها در سویا را افزایش دهد (سان و همکاران، 2006). نتایج مطالعات گونز و همکاران (2009) نیز نشان داد که افزودن کود فسفاتی به‌تنهایی همه‌ی بخش‌های فسفر در خاک را افزایش داد اما PSM در مقایسه با کود فسفاتی عملکرد بالاتری را ایجاد کردند. نتایج همچنین نشان داد که این ریزجانداران اثرات مثبت معنی‌داری بر غلظت عناصرغذایی در برگ و میوه‌ی توت فرنگی داشتند.

کاربرد باکتری‌های‌حل‌کننده‌فسفات (PSB) قطر، وزن هزار دانه، تعداد دانه و مقدار روغن آفتابگردان را افزایش داد. کاربرد همزمان PSB و کودهای فسفاتی تأثیر بیشتری نشان داد (اکین، 2010). همچنین نتایج مطالعات سلیم پور و همکاران (1389) نشان داد که کاربرد PSM همراه با خاک‌فسفات و مواد آلی، جذب عناصر غذایی توسط دانه و اندام‌هوایی، تعداد غلاف و عملکرد کاه را نسبت به تیمار شاهد در کلزا افزایش داد.

با توجه به اینکه در کشور ما به دلایل متعددی از جمله یارانه‌ای بودن کودهای فسفاتی و آهکی بودن خاک‌های زراعی، توجه بیش از اندازه به کودهای فسفاتی داده شده و نیاز به کودهای فسفاتی را تقریباً مشابه نیاز به کودهای نیتروژنی تصور نموده است، بنابراین در گذشته 60-50 ساله در کشور، کودهای فسفاتی بیش از نیاز مصرف شده است. به‌طوری که انباشتگی فسفر در خاک-های زراعی علاوه بر رسوب فسفات‌های کلسیم، تجمع کادمیوم را نیز موجب شده است (ملکوتی و همکاران، 1387). با توجه به مطالب فوق و کمبود مستندات در

[1] Phosphate Solubilizing Microorganisms

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه با تأثیر PSM بر کارایی و درصد بازیافت فسفر از منابع مختلف کودهای فسفاتی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تلقیح ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات بر کارایی و درصد بازیافت کودهای فسفاتی در گیاه کلزا، به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی 90-1389 به صورت طرح کاملا تصادفی با هشت تیمار و چهار تکرار به صورت گلخانه‌ای در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران و بر روی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی شامل: T_1= شاهد (C)، T_2= ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات (PSM)، T_3= سوپرفسفات-تریپل (TSP)، T_4= TSP+PSM، T_5= بیوفسفات‌طلایی (GBP)، T_6= GBP+PSM، T_7= خاک‌فسفات (RP) و T_8= RP+PSM بود.

برای انجام این تحقیق، خاک (غیر استریل) مناسب با مقدار فسفر پایین انتخاب شد (جدول 1) (علی-احیایی و بهبهانی‌زاده، 1372). بذور کلزای مورد استفاده در این تحقیق رقم Triangle بود. ریزجانداران‌حل‌کننده-فسفات در این تحقیق باکتری سودوموناس فلوروسنس (*Pseudomonas fluorescens* strain 93) بود که پس از بررسی و انجام مطالعات آزمایشگاهی (جدول 3)، با استفاده از پرلیت به صورت مایه تلقیح با جمعیت 5×10^8 سلول در گرم تهیه شد. کودهای شیمیایی فسفاتی نیز شامل سوپرفسفات‌تریپل (TSP)، بیوفسفات‌طلایی (GBP) و خاک‌فسفات (RP) (محتوی 35 درصد فسفر به‌صورت P_2O_5) بود. کود بیوفسفات‌طلایی حاوی 17 درصد فسفر، 20 درصد گوگرد، 16 درصد ماده‌آلی و 1 درصد روی بوده و به‌صورت گرانوله می‌باشد. همراه این کود یک بسته مایه تلقیح تیوباسیلوس نیز وجود دارد. مقدار فسفر اضافه شده به هر گلدان بر حسب P_2O_5 از همه منابع کودهای فسفاتی مورد استفاده در این تحقیق به یک مقدار برابر بود. به‌عبارت دیگر متغیر مورد مطالعه نوع کود فسفاتی (به‌شکل یک مجموعه مشخص) و ریزجانداران حل‌کننده‌فسفات بود. همچنین سایر عناصر غذایی نیز بر اساس آزمون خاک به‌صورت یکسان به همه تیمارها اضافه شدند.

نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، روی و بور از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد و عملکرد مطلوب کلزا می‌باشند (ملکوتی و سپهر، 1382). با توجه به نتایج تجزیه خاک و نقش عناصر غذایی در رشد و عملکرد کلزا توصیه کودی براساس آزمون خاک انجام شد. نیتروژن از منبع اوره، پتاسیم از منبع کلرورپتاسیم، روی از منبع سولفات‌روی، منیزیم از منبع سولفات‌منیزیم و بور از منبع اسیدبوریک قبل از کشت به‌صورت یکنواخت با خاک مخلوط شدند. در هر گلدان 8 کیلوگرم خاک ریخته شده و ابتدا بذور تلقیح نشده کشت شد. برای تلقیح بذور، ابتدا بذور توزین شده با صمغ عربی آغشته شده و سپس با مایه تلقیح، آغشته شدند. در هر گلدان ابتدا 5 عدد بذر کشت شد و 2 هفته بعد تعداد بوته‌ها به 3 عدد در هر گلدان کاهش یافت. در طول دوره رشد گیاه رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه کنترل شد. نتایج تجزیه آب مورد استفاده برای آبیاری در این تحقیق در جدول 2 آمده است.

پس از طی دوره رشد (5 ماه)، برداشت بوته‌ها انجام شد. ابتدا غلاف‌های هر گلدان و سپس اندام‌هوایی و ریشه بوته‌ها برداشت شد. اندام‌هوایی و ریشه‌های گیاهان به مدت 48 ساعت در آون قرار داده شد و سپس توزین و به وسیله آسیاب پودر شدند. جهت تجزیه نمونه‌های گیاهی و هضم آن‌ها از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسیدکلریدریک استفاده شد. برای اندازه‌گیری فسفر در گیاه از روش رنگ‌سنجی (مولیبد و وانادات) استفاده شد (امامی، 1375). شاخص‌های زراعی اندازه‌گیری شده شامل وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، تعداد غلاف، غلظت فسفر در اندام هوایی و ریشه، مقدار فسفر جذب شده توسط اندام‌هوایی و ریشه، بازده نسبی‌زراعی و درصد بازیافت کود بود. بازده نسبی‌زراعی و درصد بازیافت کود از روابط زیر محاسبه شد (جاگدیس واران و همکاران، 2005).

$$\text{بازده نسبی‌زراعی} = \frac{\text{وزن خشک در تیمار شاهد - وزن خشک در تیمار مورد نظر}}{\text{وزن خشک در تیمار شاهد - وزن خشک در تیمار سوپرفسفات‌تریپل}}$$

$$\text{درصد بازیافت کود} = \frac{[(\text{عملکرد در قطعه شاهد}\times\text{غلظت فسفر})-(\text{عملکرد در قطعه مورد نظر}\times\text{غلظت فسفر})]}{\text{مقدار کود مصرفی}}$$

نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه تحلیل شده و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (میانگین‌مربعات) فاکتورهای مختلف اندازه‌گیری شده در گیاه کلزا در اثر اعمال تیمارهای مختلف در جدول 4 آمده است. ریز-جانداران‌حل‌کننده‌فسفات همراه با کودهای فسفاتی وزن

Archive of SID

www.SID.ir

خشک اندام‌هوایی، تعداد غلاف، غلظت فسفر، جذب فسفر، بازده نسبی‌زراعی و درصد بازیافت کود را نسبت به مصرف به‌تنهایی و تیمار شاهد افزایش داد (جدول 5). ورما (1993) نیز نشان داد کاربرد PSM می‌تواند عملکرد گیاهان زراعی را تا 70 درصد افزایش دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد PSM به‌تنهایی موجب افزایش 30/56 درصد وزن خشک اندام‌هوایی، 47/67 درصد وزن خشک ریشه، 44/44 درصد تعداد غلاف، 36/67 درصد غلظت فسفر در اندام‌هوایی، 80/44 درصد جذب فسفر در اندام‌هوایی و 70/79 درصد جذب فسفر در ریشه نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح شد. تاثیر تلقیح PSM بر رشد و عملکرد گیاه احتمالاً به دلیل افزایش تحرک فسفر قابل جذب در ریزوسفر توسط ریزجانداران خاک، افزایش فعالیت ریزجانداران بومی خاک، تأثیر ریزجانداران خاک بر جذب سایر عناصر غذایی و در نتیجه افزایش فسفر محلول در ریزوسفر است. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی از تیمار T_4 (TSP+PSM) بدست آمد که برابر 29/99 گرم در گلدان بود و اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد با سایر تیمارها داشت. کاربرد ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات همراه با سوپرفسفات‌تریپل، وزن خشک اندام‌هوایی را 4/42 درصد نسبت به کاربرد تنهای سوپرفسفات تریپل افزایش داد. کمترین مقدار وزن خشک اندام‌هوایی مربوط به تیمار شاهد به میزان 15/05 گرم در گلدان بود. کاربرد PSM به‌تنهایی وزن خشک اندام‌هوایی را 30/56 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. وزن خشک اندام‌هوایی در تیمار T_8 (RP+PSM)، 29/59 درصد نسبت به کاربرد تنهای خاک‌فسفات (تیمار T_7) افزایش یافت. بیشترین مقدار وزن خشک ریشه نیز مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 4/09 گرم در گلدان بود. کاربرد PSM موجب افزایش 47/67 درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد بدون تلقیح شد. اعمال تیمار GBP+PSM، عملکرد وزن خشک ریشه را 26/63 درصد نسبت به کاربرد تنهای بیوفسفات‌طلایی افزایش داد. مطالعات متعددی در رابطه با تأثیر PSM بر آزادسازی فسفر تثبیت شده خاک و همچنین افزایش عملکرد گیاهان زراعی گزارش شده است (پال، 1998؛ دوبلار و همکاران، 2003؛ کانبولات و همکاران، 2006). در مطالعه‌ای بیشترین مقدار تجمع ماده خشک در ساقه و تجمع ماده خشک کل در تیمار ترکیبی باکتری‌های‌حل‌کننده‌فسفات به همراه سنگ‌فسفات مشاهده شد، همچنین بیشترین مقدار ماده خشک برگ از تیمار سوپرفسفات‌تریپل 50 درصد بدست آمد (افتخاری و همکاران، 1388). بیشترین تعداد غلاف مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 185 غلاف در گلدان بود که اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد با سایر تیمارها ایجاد کرد. کاربرد PSM همراه با سوپرفسفات‌تریپل تعداد غلاف را 29/37 درصد نسبت به تیمار سوپرفسفات‌تریپل افزایش داد. تعداد غلاف در تیمار T_8 (RP+PSM) 60/60 درصد نسبت به کاربرد تنهای خاک‌فسفات افزایش یافت. تلقیح با PSM موجب افزایش 44/44 درصد تعداد غلاف نسبت به شاهد بدون تلقیح شد. استفاده از PSM همراه با مواد آلی و خاک‌فسفات تعداد غلاف در بوته را 37 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (سلیم پور و همکاران، 1389).

تأثیر تلقیح ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات بر فاکتورهای مختلف بررسی شده در حضور کودهای فسفاتی بیشتر بود. بیشترین مقدار غلظت فسفر در اندام‌هوایی مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 0/282 درصد بود. کاربرد همزمان PSM با تیمار سوپرفسفات‌تریپل، غلظت فسفر در اندام‌هوایی را 19 درصد نسبت به کاربرد تنهای سوپرفسفات‌تریپل افزایش داد. کمترین مقدار غلظت فسفر در اندام‌هوایی مربوط به تیمار شاهد برابر با 0/18 درصد بود. این مقدار اختلاف معنی‌داری با تیمارهای T_5 و T_7 در سطح 5 درصد نداشت. غلظت فسفر در اندام‌هوایی در تیمار T_2 36/67 درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش نشان داد. بیشترین غلظت فسفر در ریشه کلزا مربوط به تیمار T_6 (GBP+PSM) برابر با 0/172 درصد بود که 59/26 درصد نسبت به مصرف تنهای بیوفسفات‌طلایی افزایش نشان داد. افزایش غلظت فسفر در ریشه کلزا را می‌توان به افزایش انحلال فسفر تثبیت شده در خاک در اثر کاهش pH ریزوسفر ارتباط داد. باکتری‌های تیوباسیلوس موجود در ترکیب کود بیوفسفات‌طلایی می‌توانند با تبدیل گوگرد به اسیدسولفوریک، pH را کاهش داده و فراهمی عناصر غذایی بویژه فسفر برای گیاه را افزایش دهند. در مطالعه‌ای که غانی و همکاران (1994) انجام دادند تلقیح تیوباسیلوس به سنگ‌فسفات + گوگرد باعث افزایش انحلال سنگ‌فسفات گردید و بیشترین انحلال از کاربرد تیمار تیوباسیلوس + سنگ‌فسفات +گوگرد + محلول غذایی بدست آمد. کمترین مقدار غلظت فسفر در ریشه مربوط به تیمار شاهد برابر با 0/103 درصد بود. این مقدار اختلاف معنی‌داری با تیمارهای T_2، T_3، T_5 و T_7 در سطح 5 درصد نداشت. کیم و همکاران (2003) گزارش کردند فسفر قابل جذب در خاک برای جذب نیتروژن از خاک، استفاده گیاه و عملکرد بهتر آن مهم است. افزایش رشد گیاه با افزایش کاربرد فسفر، احتمالا نشان دهنده این مطلب است که فسفر کارایی مصرف نیتروژن را افزایش

Archive of SID

www.SID.ir

داده و به دنبال آن رشد گیاه افزایش یافته و نیاز به فسفر قابل جذب در گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش فسفر قابل جذب رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. در این زمینه زوبیلاگا و همکاران (2002) نیز گزارش‌های مشابهی را ارایه کرده‌اند. بیشترین مقدار جذب فسفر در اندام‌هوایی مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 84/36 میلی‌گرم در گلدان بود که این مقدار نسبت به تیمار سوپرفسفات‌تریپل 23/95 افزایش داشت. همچنین جذب فسفر در تیمار T_8 (RP+PSM) 57/27 درصد نسبت به تیمار T_7 (خاک‌فسفات) افزایش یافت که در سطح 5 درصد معنی‌دار بود. تلقیح با PSM به‌تنهایی جذب فسفر در اندام‌هوایی را 80/44 درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش داد. بیشترین مقدار جذب فسفر در ریشه مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 5/93 میلی‌گرم در گلدان بود. کاربرد همزمان PSM با سوپرفسفات‌تریپل جذب فسفر در ریشه را 51 درصد نسبت به تیمار سوپرفسفات‌تریپل افزایش داد. فسفر جذب شده توسط ریشه در تیمار T_6 (GBP+PSM) برابر 4/33 میلی‌گرم در گلدان بود که بعد از تیمار T_4 دومین تیمار از نظر جذب فسفر توسط ریشه بود. کودهای حاوی گوگرد و ریزجاندار علاوه بر تغذیه گیاه از نظر گوگرد، از نظر جذب فسفر توسط گیاه نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند (خاوازی و همکاران، 1384). رزا و همکاران (1989) گزارش کردند که تلقیح مخلوط گوگرد و خاک-فسفات با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس موجب کاهش سریع pH ریزوسفر شده و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد. تلقیح با PSM به‌تنهایی جذب فسفر در ریشه را 70/79 درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش داد. مقدار فسفر جذب شده در حضور کودهای فسفاتی بیشتر بود. در این تحقیق همبستگی بالایی بین فسفر جذب شده توسط گیاه و تعداد غلاف مشاهده شد (شکل 1).

تلقیح با PSM فعالیت میکروبی در ریزوسفر را افزایش داده و موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود. ریزجانداران ریزوسفری که برهم‌کنش مثبتی باهم دارند، می‌توانند رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر گردند. ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات، فسفر در دسترس گیاه را افزایش داده، رشد و توسعه گیاه را گسترش و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را افزایش می‌دهند (پون موروگان و گوپی، 2006). همچنین افضل و بانو (2008) نتیجه گرفتند که کاربرد همزمان PSM و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR)، مصرف کودهای فسفاتی را تا 50 درصد کاهش داد بدون آن‌که عملکرد به طور معنی‌داری کاهش یابد. از طرفی استفاده از PSM همراه با کودهای فسفاتی 40-30 درصد بیشتر از مصرف به‌تنهایی کودهای فسفاتی عملکرد دانه گندم را افزایش داد و تلقیح با PSM بدون استفاده از کودهای فسفاتی موجب افزایش عملکرد تا 20 درصد بیشتر از زمانی که کودهای فسفاتی به‌تنهایی بکار برده شدند، گردید.

تلقیح با ریزجانداران‌حل‌کننده‌فسفات، بازده‌نسبی زراعی و درصد بازیافت کود را در تمامی تیمارهای کودهای فسفاتی نسبت به کاربرد تنهای آن‌ها افزایش داد. بیشترین درصد بازده نسبی‌زراعی مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 109/29 درصد بود. کاربرد همزمان PSM با سوپرفسفات‌تریپل بازده نسبی‌زراعی را 9/29 درصد نسبت به کاربرد تنهای سوپرفسفات‌تریپل افزایش داد. کمترین درصد بازده نسبی‌زراعی از تیمار خاک‌فسفات (T_7) برابر 9/07 درصد بدست آمد. بازده نسبی‌زراعی در تیمار T_6 (GBP+PSM) 36/93 درصد نسبت به مصرف تنهای بیوفسفات‌طلایی افزایش یافت. بیشترین درصد بازیافت کود مربوط به تیمار T_4 (TSP+PSM) برابر با 71/91 درصد بود که در سطح 5 درصد اختلاف معنی-داری با سایر تیمارها داشت. کمترین درصد بازیافت کود مربوط به تیمار T_7 برابر با 8/23 درصد بود. همچنین درصد بازیافت کود در تیمار T_8 (RP+PSM)، به 32/07 درصد افزایش یافت. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که ریزجانداران مفید خاک می‌توانند کارایی کودهای فسفاتی را افزایش دهند (وو و همکاران، 2005؛ اکین و همکاران، 2009). نتایج تحقیقات یزدانی و همکاران (1389) نشان داد در حالی که بازده نسبی‌زراعی کود در تیمار NPK برابر 57/23 درصد بود این مقدار در تیمار NPK+PGPR+PSM برابر 67/68 درصد شد. همچنین بازده نسبی‌زراعی کود در تیمار N_{50}PK+PGPR+PSM برابر 67/60 درصد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار NPK+PGPR+PSM نداشت. همچنین در کاربرد همزمان خاک‌فسفات، مواد آلی و باکتری‌های‌حل‌کننده‌فسفات، درصد بازده نسبی‌زراعی در دانه کلزا برابر 33/34 درصد و در کاه آن برابر 47/85 درصد بود. با توجه به افزایش 40 درصدی درصد بازیافت کود در مصرف همزمان سوپرفسفات‌تریپل با PSM نسبت به تیمار سوپرفسفات-تریپل، می‌توان از آن به‌عنوان شاخصی در کاهش مقدار مصرف کود سوپرفسفات‌تریپل استفاده کرد. به‌عبارتی با کاربرد PSM می‌توان مصرف سوپرفسفات‌تریپل را تا حدود 40 درصد کاهش داد. برای اظهارنظر قطعی در این رابطه نیاز به انجام مطالعات مشابهی در سطح مزرعه است

Archive of SID

www.SID.ir

که در تیمارهای آن، مقادیر فسفر مصرفی با روند مشخصی کاهش یافته و با تیمار میکروبی مورد مقایسه قرار گیرد. در این رابطه یزدانی و همکاران (1389) و ساندارا و همکاران (2002) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. به‌طورکلی تلقیح با PSM موجب افزایش کارایی و درصد بازیافت کود نسبت به مصرف تنهای کودهای فسفاتی شد که نشان دهنده نقش مهم این ریزجانداران در افزایش کارایی و کاهش مصرف کودهای فسفاتی می‌باشد. با توجه به گرانی و کارایی پایین کودهای فسفاتی، کاربرد این ریزجانداران می‌تواند علاوه بر افزایش رشد و عملکرد گیاه و افزایش کارایی کودهای فسفاتی از آلودگی خاک و گیاه نیز جلوگیری نماید.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

شن	سیلت	رس	بافت	pH	EC	TN	OC	P	K	Cu	Zn	Mn	Fe
	%				$dS\ m^{-1}$	%	%			$mg\ kg^{-1}$			
34/3	43/3	22/4	لوم	8/00	0/75	0/057	0/61	4/00	190	1/22	0/52	10/41	5/40

جدول 2- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری

Mg	Ca	Cl	Na	HCO_3^-	SO_4^{-2}	pH	EC
		mg/L					$dS\ m^{-1}$
26/1	42/8	40/1	72/4	121	184/3	7/50	0/56

جدول 3- خصوصیات ریزجاندار مورد استفاده (رسولی‌صدقیانی، 1384)

IAA		Sid. Pro (24hr)		
Trp (0)	Trp (50)	قطر هاله	قطر کلونی	قطر کلونی/ قطر هاله
	$mg\ L^{-1}$	cm		
2/131	2/190	2/4	0/7	3/43

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین‌مربعات) فاکتورهای اندازه‌گیری شده کلزا در تیمارهای مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام‌هوایی	وزن خشک ریشه	تعداد غلاف	غلظت فسفر در اندام هوایی	غلظت فسفر در ریشه	جذب فسفر در اندام‌هوایی	جذب فسفر در ریشه	بازده نسبی زراعی	درصد بازیافت کود
تیمار	7	117/73**	4/69**	7344/75**	0/0048**	0/0023**	1463/40**	11/51**	5815/18**	2433/97**
خطا	24	0/615	0/0084	46/55	0/00038	0/00012	0/0048	0/000089	0/00041	0/00007
ضریب تغییرات		3/07	4/02	6/515	8/5	8/79	0/141	0/309	0/395	0/025

**، * و ns به‌ترتیب به‌معنی معنی‌دار شدن صفت موردنظر در سطح 1 و 5 درصد و عدم معنی‌دار شدن می‌باشد.

درجه آزادی مربوط به بازده نسبی‌زراعی و درصد بازیافت کود به‌دلیل قابل محاسبه نبودن در برخی تیمارها به‌ترتیب برابر 6 و 5 می‌باشد.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر برخی از فاکتورهای رشد کلزا *

تیمار	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	تعداد غلاف	غلظت فسفر در اندام هوایی	غلظت فسفر در ریشه	جذب فسفر در اندام هوایی	جذب فسفر در ریشه	بازده نسبی زراعی	درصد بازیافت کود
	$g\ pot^{-1}$	$g\ pot^{-1}$		%	%	$mg\ pot^{-1}$	$mg\ pot^{-1}$	%	%
T_1	15/05 g	0/86 h	54 g	0/18 d	0/103 d	26/79 h	0/89 h	-	-
T_2	19/65 de	1/27 g	78 e	0/246 b	0/119 cd	48/34 d	1/52 g	33/65 e	-
T_3	28/72 b	3/51 b	143 b	0/237 b	0/112 cd	68/06 b	3/93 c	100 b	51/36 b

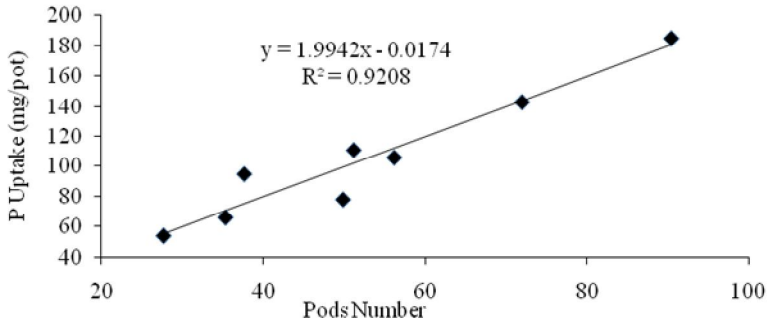
Archive of SID

www.SID.ir

T_4	29/99 a	4/09 a	185 a	0/282 a	0/145 b	84/36 a	5/93 a	109/29 a	71/91 a
T_5	18/67 e	1/99 e	95 d	0/188 d	0/108 cd	35/09 f	2/17 e	26/48 f	10/39 e
T_6	20/007 cd	2/52 c	111 c	0/233 bc	0/172 a	46/81 e	4/33 b	36/26 d	24/91 d
T_7	16/29 f	1/82 f	66 f	0/205 cd	0/106 cd	33/40 g	1/93 f	9/07 g	8/23 f
T_8	21/11 c	2/25 d	106 c	0/249 b	0/124 c	52/53 c	3/62 d	44/33 c	32/07 c

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد می‌باشد.

* فاکتورهای مشخص شده با علامت – قابل محاسبه نبوده است.



شکل 1- همبستگی بین جذب فسفر و تعداد غلاف

فهرست منابع:

۱. افتخاری، ق. فلاح، ع. اکبری، غ.ع. محدثی، ع و دادی، ا. 1388. اثر باکتری های حل کننده فسفات و کودهای فسفاته بر چگونگی رشد گیاه برنج. پژوهش های آب و خاک (علوم آب و خاک). جلد 23، شماره 2، 229 تا 238

۲. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی 982، کرج، ایران.

۳. خاوازی، ک. اسدی رحمانی، ه و ملکوتی، م. ج. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). انتشارات سنا. تهران. ص 418.

۴. رسولی‌صدقیانی، ح. 1384. بررسی نقش فیتوسیدروفورها و سودوموناس‌های تولید کننده سیدروفور در تامین آهن و روی مورد نیاز ارقام گندم. رساله دکتری خاکشناسی، دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران.

۵. سلیم‌پور، س. خاوازی، ک. نادیان، ح و بشارتی، ح. 1389. تاثیر خاک فسفات همراه با گوگرد و ریزجانداران بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. پژوهش های آب و خاک (علوم آب و خاک). جلد 24، شماره 1، 9 تا 19

۶. علی احیایی، م و بهبهانی‌زاده، ع. ا. 1372. شرح روش های تجزیه خاک (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره 893، کرج، ایران.

۷. کریمیان، ن.ع. 1377. پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفری. مجله خاک و آب. جلد 12، شماره4.

۸. ملکوتی، م. ج و سپهر، ا. 1382. تغذیه بهینه دانه های روغنی گامی موثر در نیل به خودکفایی روغن در کشور (مجموعه مقالات). انتشارات خانیران، تهران. ص452.

۹. ملکوتی، م. ج کشاورز، پ و کریمیان، ن.ع. 1387. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.

Archive of SID

www.SID.ir

۱۰. یزدانی، م پیردشتی، ه اسماعیلی، م.ع و بهمنیار، م.ع. 1389. اثر تلقیح باکتری های حل کننده فسفات و محرک رشد بر کارایی مصرف کودهای ازته و فسفره در کشت ذرت سینگل کراس604. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد 3، شماره 2، 65 تا 80

11. Afzal, A., and Bano, A. 2008. *Rhizobium* and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.). Int. J. Agri. Biol. 10: 85-88.
12. Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arunshen, A. B., Lai, W. A., and Young, C. C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Appl. Soil Ecol. 34: 33-41.
13. Canbolat, M. Y., Bilen, S., Çakmakçı, R., Sahin, F., and Aydın, A. 2006. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. Biol. Fertil. Soils 42: 350-357.
14. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Okon, Y. Y. 2003. Plant growth promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Crit. Rev. Plant Sci. 22: 107-149.
15. Ekin, Z. 2010. Performance of phosphate solibilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annu*us L.) in the presence of phosphorus fertilizer. African Journal of Biotechnology 9: 3794-3800.
16. Ekin, Z. Oguz, F. Erman, M., and Ögün, E. 2009. The effect of *Bacillus* sp. OSU-142 inoculation at various levels of nitrogen fertilization on growth, tuber distribution and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). African Journal of Biotechnology 8: 4418-4424.
17. Fallah, A. 2006. Abundance and distribution of phosphate solubilizing bacteria and fungi in some soil samples from north of Iran. 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
18. Ghani, A., Rajan, S. S. S., and Lee, A. 1994. Enhancement of phosphate rock solubility thorough biological processes. Soil Bio. And Biochem. 26: 127-136.
19. Gunes, A., Ataoglu, N., Turan, M., Esitken, A., and Ketterings, Q. 2009. Effects of phosphate-solubilizing microorganisms on strawberry yield and nutrient concentrations. Plant Nutr. 172: 385-392.
20. Gupta, M., Kiran, SH., Gulati, A., Singh, B., and Tewari, R. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of Aloe barbadensis Miller. Microbiol. Res. 167: 358-363.
21. Jagadeeswaran, R., Murugappan, V., and Govindaswamy, M. 2005. Effect of slow release NPK fertilizer sources on the nutrient use efficiency in turmeric (*Curcuma longa* L.). World J. Agric Sci. 1: 65-69.
22. Kim, T., Jung, W., Lee, B., Yoneyama, T., Kim, H., and Kim, K. 2003. P effects on N uptake and remobilization during regrowth of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). Environ. Exp. Bot. 50: 233-242.
23. Kumar, V., Behl, R. K., and Narula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under green house conditions. Microbiol. Res. 156: 87-93.
24. Moalem, A. H., and Eshghizade, H. R. 2007. Application of biological fertilizers: benefits and limitations. In: Second National Congress of Ecological Agriculture, Iran, Gorgan, pp 47.
25. Pal, S. S. 1998. Interactions of an acid tolerant strain of phosphate solubilizing bacteria with a few acid tolerant crops. Plant Soil 198: 169-177.
26. Ponmurugan, P., and Gopi, C. 2006. Distribution pattern and screening of phosphate solubilizing bacteria isolated from different food and forage crops. J. Agron. 5: 600-604.
27. Ranjkar, P. N., Tambekar, D. H., and Wate S. R. 2007. Study of phosphate solubilization efficiencies of fungi and bacteria isolated from saline belt of Purna river basin. Res. J. Agri. and Bio. Sci. 3: 701-703.

Archive of SID

www.SID.ir

28. Rodriguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol. Adv. 17: 319-339.
29. Rosa, M. C., Muchovej, J., Muchovegand, J., and Alvarez, A. H. 1989. Temporal relation of phosphorus fraction in an oxisol amended rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans.* Soil Sci. Soc. of Am. J. 53: 1096-1100.
30. Sharma, A. K. 2002. Bifertilizers for sustainable agriculture. Agrobios Indian Publications .456.
31. Son, T. T. N., Diep, C. N., and Giang, T. T. M. 2006. Effect of bradyrhizobia and phosphate solubilizing bacteria application on soybean in rotational system in the Mekong delta. Omonrice. 14: 48-57.
32. Sundara, B., Natarajan, V., and Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane yields. Field Crops Res. 77: 43-49.
33. Sundara, B., Natarajan, V., and Hari, K. 2001. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on soil available P-status and sugarcane development on a tropical vertisol. Proceeding of Interaction Society of Sugarcane Technology 24: 47-51.
34. Verma, L. N. 1993. Biofertiliser in agriculture. In: P. K. Thampan (ed.) Organics in soil health and crop production. Peekay Tree Crops Development Foundation, Cochin, India. pp. 152-183.
35. Whitelaw, M. A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. Adv. Agron. 69: 99-151.
36. Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., and Wong, M. H. 2005. Effect of biofertilizer containing N- fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trial. Geoderma 125: 155-166.
37. Xiao, C. Q., Chi, R. A., Li, W. Sh., and Zheng, Y. 2011. Biosolubilization of phosphorus from rock phosphate by moderately thermophilic and mesophilic bacteria. Minerals Engineering 24: 956-958.
38. Zubillaga, M. M., Aristi, J. P., and Lavado, R. S. 2002. Effect of phosphorus and nitrogen fertilization on sunflower (*Helianthus annuus* L.) nitrogen uptake and yield. J. Argon. Crop Sci. 188: 267-274.

Archive of SID

www.SID.ir