Archive of SID

نشریه زیست‌شناسی خاک / جلد 3 / شماره 1 / 1394

تأثیر کاربرد همزمان باکتری *سودوموناس فلوروسنس* و کودهای فسفاتی بر عملکرد و جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در کلزا

فرهاد آذرمی[1]، محمدجعفر ملکوتی، کاظم خاوازی و کبری ثقفی

دانشجوی دکتری علوم‌خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان؛ **farhadazarmi@yahoo.com**

استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت‌مدرس تهران؛ **mjmalakouti@hotmail.com**

دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **kkhavazi@yahoo.com**

کارشناس‌ارشد مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **kobra_saghafi@yahoo.com**

دریافت: **92/11/16** و پذیرش: **93/11/29**

چکیده

باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) می‌توانند رشد و عملکرد گیاهان زراعی را با افزایش فراهمی و جذب عناصرغذایی به‌ویژه فسفر بهبود بخشند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر کاربرد همزمان باکتری *سودوموناس فلوروسنس* و کودهای فسفاتی بر عملکرد و جذب عناصرغذایی در دانه کلزا بود. آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل شاهد بدون تلقیح، تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* (PGPR)، سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل، فسفات‌آمونیوم، خاک‌فسفات، سوپرفسفات‌ساده+ PGPR، سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR، فسفات‌آمونیوم+ PGPR و خاک‌فسفات+ PGPR بود. نتایج نشان داد که تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* عملکرد دانه و کاه کلزا را به‌ترتیب 29/80 و 30/56 درصد نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) افزایش داد. کاربرد همزمان PGPR با کودهای فسفاتی تأثیر بیشتری در افزایش عملکرد دانه و کاه کلزا نشان داد. بیشترین عملکرد دانه و کاه به‌ترتیب برابر 10/22 و 29/99 گرم در گلدان بود که از تیمار سوپرفسفات‌-تریپل+ PGPR بدست آمد و اختلاف معنی‌داری ($p<0.05$) با سایر تیمارها داشت. همچنین کاربرد PGPR موجب افزایش جذب فسفر، آهن، روی و منگنز نسبت به شاهد بدون تلقیح شد. بیشترین مقدار جذب فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در دانه کلزا به‌ترتیب برابر با 63/97، 0/76، 0/34، 0/43 و 0/03 میلی‌گرم در گلدان بود که به‌غیر از جذب آهن بقیه به تیمار سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR تعلق داشت. بین تیمارهای سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR و فسفات‌-آمونیوم+ PGPR در جذب فسفر، آهن، روی، منگنز و مس اختلاف معنی‌داری ($p<0.05$) مشاهده نشد. به‌طور کلی کاربرد همزمان باکتری *سودوموناس فلوروسنس* و کودهای فسفاتی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و جذب عناصرغذایی در کلزا داشت. با توجه به نتایج حاصل شده، کاربرد PGPR همراه با کودهای فسفاتی می‌تواند فراهمی و کارایی آن‌ها را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های حل کننده فسفات، جذب عناصرغذایی، کلزا، کودهای شیمیایی

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه ولی‌عصر (عج)، دانشکده کشاورزی، گروه علوم‌خاک.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فسفر در مقایسه با دیگر عناصر پرمصرف، کمترین تحرک و فراهمی را در خاک داشته و در نتیجه اغلب مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاه به شمار می‌رود. دلیل عمده کمتر بودن تحرک و فراهمی فسفر غیر آلی خاک، واکنش‌پذیری زیاد یون‌های فسفات نسبت به اجزاء خاک و در نتیجه رسوب آن در خاک می‌باشد. بنابراین فرآیندهای جذب و واجذب و انحلال و رسوب، کنترل‌کننده غلظت فسفر در محلول خاک و در نتیجه تحرک و زیست‌فراهمی فسفر هستند (هینسینگر، 2001). از طرفی در اثر برهمکنش یون‌های فسفات با کاتیون‌های کلسیم، آهن و آلومینیم، فسفر از فاز محلول خارج و برای گیاه غیرقابل دسترس می‌شود.

در بسیاری از خاک‌های زراعی ایران به‌دلیل بالا بودن pH و فراوانی یون کلسیم، مقدار محلول و قابل جذب برخی عناصر از جمله فسفر کمتر از مقدار لازم برای رشد بهینه گیاه است. غلظت فسفر در محلول خاک بین 0/1 تا 10 میکرومولار (منگل و کرکبی، 1987) و حد بحرانی آن در خاک برای کلزا 20 میلی‌گرم در کیلوگرم است (ملکوتی و همکاران، 1387). از این‌رو فسفر مورد نیاز گیاهان به‌طور عمده از کودهای شیمیایی تأمین می‌شود. هرچند استفاده از کودهای شیمیایی ابتدا تأثیر زیادی در افزایش عملکرد داشت، اما کاربرد بیش از حد این نهاده‌ها منجربه کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب محیط زیست و اتلاف هزینه شده است. علاوه براین، کارایی مصرف کودهای شیمیایی هم اکنون از لحاظ تئوری به بالاترین سطح خود رسیده است، بدین معنی که استفاده بیش از این از کودها به‌سختی می‌تواند عملکرد را افزایش دهد (احمد، 1995). بیش از 75 درصد فسفر افزوده شده به خاک در قالب کودهای شیمیایی، در خاک تثبیت شده و برای گیاه غیر قابل استفاده می‌شود (گلدستین، 1986). مقدار فسفر انباشته شده در اراضی کشاورزی در صورت قابل استفاده شدن می‌تواند نیاز گیاهان برای داشتن حداکثر عملکرد برای 100 سال آینده را تأمین کند (گلداشتاین و همکاران، 1993). از راهکارهای مؤثر بر افزایش فراهمی و استفاده از فسفر انباشته شده در خاک کاربرد ریزجانداران مفید خاکزی است. ریزجانداران خاک نقش مهمی در افزایش تحرک و در نتیجه فراهمی عناصرغذایی برای گیاه ایفا می‌کنند (ریچاردسون، 2001).

اهمیت جمعیت میکروبی در حفظ سلامت ریشه، جذب عناصرغذایی و افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی، به‌خوبی مشخص شده است (بوون و روویرا، 1999). باکتری‌ها از مهم‌ترین و فراوان‌ترین اعضای جامعه میکروبی خاک می‌باشند به‌طوری‌که تعداد آن‌ها حتی از مجموع جمعیت قارچ‌ها، جلبک‌ها و پروتوزئرها نیز بیشتر است (فلاح، 1391). باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)[1]، گروهی از باکتری‌های ریزوسفری هستند که با سازوکارهای مستقیم یا غیر مستقیم می‌توانند رشد گیاهان را افزایش دهند. سازوکار غیرمستقیم وقتی است که PGPR ها اثرات مخرب عوامل بیماریزای گیاهی را کنترل می‌کنند (فارینا و همکاران، 2012). سازوکارهای مستقیم شامل حل‌کردن فسفات‌های نامحلول، تثبیت نیتروژن اتمسفری، تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین و افزایش حلالیت آهن با تولید سیدروفور می‌باشد (گلیک، 1995؛ گوش و همکاران، 2003؛ زیدی و همکاران، 2006). استفاده از PGPR ها راهی مناسب برای جایگزین کردن بخشی از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و مکمل‌ها می‌باشد (سحران و نحرا، 2011). گونه‌های متعددی از باکتری‌های *Azotobacter*، *Enterobacter*، *Bacillus*، *Pseudomonas*، *Azospirillum* و *Klebsiella* می‌توانند رشد گیاه را افزایش دهند (جوزف و همکاران، 2007).

سودوموناس‌ها از فراوانترین باکتری‌ها در خاک‌های کشاورزی هستند که مهمترین آن‌ها *سودوموناس‌های فلوروسنس* می‌باشد (سحران و نحرا، 2011). باکتری‌های *سودوموناس* توانایی زیادی در افزایش کارایی جذب فسفر داشته و به‌دلیل وسعت انتشار، تنوع گونه‌ای و مقاوم بودن در برابر تنش‌های محیطی، از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید گیاهان زراعی برخوردارند (کیم و همکاران، 1989). تلقیح با *سودوموناس‌های فلوروسنس* موجب افزایش وزن ریشه و اندام‌هوایی کلزا در محیط کشت هیدروپونیک شد (ون‌پیر و اسچیپر، 1998). سیدروفور ترشح شده توسط باکتری‌ها، با آهن فریک خاک تشکیل کمپلکس پایدار داده و با جلوگیری از تثبیت و غیرفعال شدن آن در خاک، تغذیه آهن گیاه را بهبود می‌بخشد (اسولیوان و اگارا، 1992). نتایج مطالعات سان و همکاران (2006) نشان داد که کاربرد گونه‌های مختلف *سودوموناس*، وزن خشک گره، تعداد گره، عملکرد و جذب عناصر غذایی در سویا را افزایش داد. مدنی و همکاران (1389) نشان دادند که کاربرد کودهای بیولوژیک با سطوح مختلف کود فسفات آمونیوم موجب بهبود عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد فسفر در بافت‌های کلزا شد. کاربرد همزمان باکتری‌های حل کننده فسفات، مواد آلی و خاک‌فسفات جذب فسفر، روی و منگنز را نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح در دانه کلزا

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش داد (سلیم‌پور و همکاران، 1389). همچنین نتایج کائور و ردی (2014) نشان داد که تلقیح گندم و ذرت با باکتری‌های حل کننده فسفات عملکرد دانه، جذب فسفر، کربن آلی خاک، فراهمی فسفر، فعالیت آنزیمی و جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات در خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. کاربرد این باکتری‌ها با خاک‌فسفات تأثیر بیشتری در افزایش حاصلخیزی خاک داشت.

کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی است یکساله که دو فرآورده مهم روغن و کنجاله از دانه آن بدست می‌آید (رودی و همکاران، 1382). مطابق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی 90-89، سطح زیر کشت کلزا در کشور حدود 93 هزار هکتار و عملکرد آن در شرایط آبی 2181/3 کیلوگرم در هکتار می‌باشد. نیاز کلزا به فسفر در مراحل اولیه رشد بیشتر از مراحل دیگر است.

با توجه به بالا بودن pH و ماهیت آهکی خاک‌های زراعی ایران، غلظت فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف در محلول خاک کمتر از مقدار لازم برای رشد بهینه گیاه می‌باشد. از طرفی سالیانه مقادیر زیادی از انواع کودهای شیمیایی برای رشد بهینه و افزایش عملکرد گیاهان به خاک افزوده می‌شود که بخش زیادی از این کودها در خاک تثبیت شده و کارایی آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی کاربرد همزمان برخی کودهای فسفاتی پرکاربرد در اراضی کشاورزی و باکتری *سودوموناس فلوروسنس* در تأمین فسفر، بهبود کارایی کودهای فسفاتی و همچنین جذب عناصر کم‌مصرف در کلزا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد باکتری *سودوموناس فلوروسنس* همراه با کودهای فسفاتی بر عملکرد و جذب عناصرغذایی در دانه کلزا، مطالعه گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD)[1] در چهار تکرار در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، 1372). در هر گلدان 8 کیلوگرم خاک (غیر استریل) ریخته شد. با توجه به اینکه فرم قابل جذب فسفر و دیگر عناصر غذایی در خاک کمتر از حد بحرانی بود (جدول 1)، برای رشد بهینه کلزا این عناصر از منبع کودهای شیمیایی به خاک افزوده شد. نیتروژن از منبع اوره، پتاسیم از منبع سولفات‌پتاسیم، منیزیم از منبع سولفات‌منیزیم، روی از منبع سولفات‌روی و بور از منبع اسیدبوریک تأمین شدند. فسفر نیز از منابع مختلف کودهای فسفاتی مورد استفاده در این مطالعه بر اساس آزمون خاک، به مقدار 150 میلی‌گرم در گلدان بر حسب P_2O_5 قبل از کاشت به هر گلدان اضافه شد. از بذور کلزا رقم Triangle در این تحقیق استفاده گردید. تیمارهای اعمال شده شامل 1) شاهد، 2) *سودوموناس فلوروسنس* (PGPR)، 3) سوپرفسفات‌ساده (SSP)، 4) سوپرفسفات‌تریپل (TSP)، 5) فسفات‌آمونیوم (AP)، 6) خاک‌فسفات (RP)، 7) سوپرفسفات‌ساده+ PGPR، 8) سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR، 9) فسفات‌آمونیوم+ PGPR، 10) خاک‌فسفات+ PGPR بود.

باکتری *Pseudomonas fluorescens* strain 93 از بانک میکروبی بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و با استفاده از پرلیت به‌صورت مایه تلقیح (استفاده از پرلیت به‌عنوان حامل) با جمعیت 5×10^8 سلول در گرم تهیه شد. برای تلقیح، ابتدا بذرها با صمغ عربی آغشته شده سپس با مایه تلقیح مخلوط شدند به‌طوری‌که یک لایه مایه تلقیح سطح بذور را پوشش داد. برای جلوگیری از آلودگی، ابتدا بذور مربوط به تیمارهای تلقیح نشده کشت شد. در هر گلدان ابتدا پنج عدد بذر کشت شده و پس از جوانه‌زنی تعداد آن‌ها به سه عدد تقلیل یافت. پس از طی دوره رشد (24 هفته) و رسیدگی فیزیولوژیک، بوته‌ها برداشت شده و دانه‌ها جدا شدند. سپس وزن دانه، وزن کاه و غلظت فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در دانه‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور تجزیه، دانه‌ها پودر شده و یک گرم از آن به روش خشک سوزانی با اسید کلریدریک 2 نرمال عصاره‌گیری شد. غلظت فسفر به‌روش مولیبدات-وانادات توسط اسپکتروفتومتر و غلظت عناصر کم‌مصرف به‌وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین شد (امامی، 1375).

داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن ارزیابی شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد.

[1] Completely Randomized Design

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Texture	Cu	Mn	Zn	Fe	K	P	OC	TN	EC	pH	CEC
			mg kg^{-1}				٪	٪	dS m^{-1}		$Cmol_1$ kg^{-}
لومی	1/22	10/41	0/52	5/40	190	4/00	0/61	0/057	0/75	8/00	17/30

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در سطح 1 درصد معنی‌دار بود (جدول2). کاربرد PGPR در کنار کودهای فسفاتی باعث بهبود عملکرد دانه، عملکرد کاه، جذب فسفر و جذب عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) گردید. تلقیح با *سودوموناس فلوروسنس* بدون مصرف کودهای فسفاتی عملکرد دانه، عملکرد کاه و جذب فسفر، آهن و روی را به‌ترتیب 29/8، 30/56، 54/44، 30، 30 و 33/33 درصد نسبت به شاهد به‌طورمعنی‌داری ($p<0.05$) افزایش داد. همچنین در این تحقیق همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد و جذب فسفر و عناصر غذایی کم‌مصرف در دانه کلزا مشاهده شد (شکل 1).

جدول 2- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد کاه	فسفر	آهن	روی	منگنز	مس
تیمار	9	23/82**	99/70**	1258/78**	0/1573**	0/0248**	0/0443**	0/0003**
خطا	30	0/12	0/42	28/30	0/0006	0/0002	0/0003	0/0001
ضریب تغییرات		5/30	2/87	14/41	5/4710	6/3311	5/6610	8/9100

** معنی‌دار در سطح یک درصد

عملکرد دانه و کاه

بیشترین عملکرد دانه از تیمار سوپرفسفات-تریپل+ PGPR بدست آمد که برابر 10/22 گرم در گلدان بود و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها در سطح 5 درصد داشت. کاربرد همزمان باکتری *سودوموناس فلوروسنس* همراه با کودهای سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل، فسفات‌آمونیوم و خاک‌فسفات عملکرد دانه را به‌ترتیب 36/54، 18/96، 39/73 و 69/27 درصد نسبت به کاربرد تنهای این کودها افزایش داد. در بین کودهای فسفاتی بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار سوپرفسفات‌تریپل برابر با 8/59 گرم در گلدان بود. هم-چنین بین تیمار خاک‌فسفات و PGPR اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه مشاهده نشد. بیشترین تأثیر باکتری-*سودوموناس فلوروسنس* بر بهبود کارایی کودهای فسفاتی، مربوط به خاک‌فسفات بود، به‌طوری‌که تلقیح با PGPR موجب افزایش 69/27 درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار خاک‌فسفات شد ($p<0.05$). کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار شاهد برابر با 3/12 گرم در گلدان بود.

مطابق نتایج ارایه شده در جدول 2، اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد کاه کلزا معنی‌دار شد($p<0/01$). بیشترین مقدار عملکرد کاه مربوط به تیمار سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR برابر با 29/99 گرم در گلدان بود. کاربرد همزمان سوپرفسفات‌تریپل همراه با PGPR، عملکرد کاه کلزا را 4/42 درصد نسبت به تیمار سوپرفسفات‌تریپل افزایش داد. همچنین تلقیح با PGPR عملکرد کاه را در تیمار خاک‌فسفات+ PGPR 29/59 درصد نسبت به کاربرد تنهای خاک‌فسفات افزایش داد که این مقدار اختلاف معنی‌داری با تیمار سوپرفسفات‌ساده نداشت ($p<0.05$). هم‌چنین کاربرد PGPR بدون حضور کودهای فسفاتی موجب افزایش 20/63 درصدی عملکرد کاه نسبت به تیمار خاک‌فسفات شد. عملکرد کاه با مصرف کودهای سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل، فسفات‌آمونیوم و خاک‌فسفات به‌ترتیب 41/73، 90/83، 55/88 و 8/24 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کمترین مقدار عملکرد کاه برابر 15/05 گرم در گلدان بود که از تیمار شاهد حاصل شد.

جذب فسفر

مقدار فسفر جذب شده در دانه کلزا در تیمار باکتری *سودوموناس فلوروسنس* برابر 21/05 میلی‌گرم در گلدان بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. بیشترین مقدار جذب فسفر از تیمار سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR بدست آمد که برابر 63/97 میلی‌گرم در گلدان بود و اختلاف معنی‌داری با تیمار

www.SID.ir

Archive of SID

فسفات‌آمونیوم+ PGPR نداشت. در بین کودهای فسفاتی، به‌جز خاک‌فسفات بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند. کاربرد همزمان PGPR و کودهای فسفاتی سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل و فسفات‌آمونیوم جذب فسفر را به‌ترتیب 60/59، 46/28 و 54/95 درصد نسبت به کاربرد بدون تلقیح این کودها افزایش داد. بیشترین تأثیر PGPR در جذب فسفر بر خاک‌فسفات بود. در بین کودهای فسفاتی بیشترین جذب فسفر مربوط به سوپرفسفات‌تریپل برابر با 43/73 میلی‌گرم در گلدان بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار فسفات‌آمونیوم نداشت. کمترین مقدار جذب فسفر برابر 13/63 میلی‌گرم در گلدان بود که از تیمار شاهد بدست آمد.

جذب آهن، روی، منگنز و مس

بیشترین مقدار جذب آهن مربوط به تیمار فسفات‌آمونیوم+ PGPR برابر با 0/76 میلی‌گرم در گلدان بود که به جز با سوپرفسفات‌تریپل+ PGPR اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها در سطح 5 درصد داشت. تلقیح همزمان PGPR و کودهای فسفاتی سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل، فسفات‌آمونیوم و خاک‌فسفات به‌ترتیب جذب آهن را 41/7، 19/36، 46/16 و 76 درصد نسبت به کاربرد تنهای این کودها افزایش داد. در بین کودهای فسفاتی بیشترین مقدار جذب فسفر مربوط به تیمار سوپرفسفات‌تریپل بود (0/62 میلی‌گرم در گلدان) که اختلاف معنی‌داری با سایر کودها داشت. کمترین آهن جذب شده مربوط به تیمار شاهد (0/20 میلی‌گرم در گلدان) بود. به‌جز خاک‌فسفات، بقیه کودهای فسفاتی جذب روی در دانه کلزا را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح افزایش دادند (جدول 3). بیشترین روی جذب شده مربوط به تیمار سوپرفسفات‌تریپل + PGPR برابر با 0/34 میلی‌گرم در گلدان بود که به‌جز تیمار فسفات‌آمونیوم+PGPR، اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت. کاربرد همزمان PGPR و کودهای سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل، فسفات‌آمونیوم و خاک‌فسفات جذب روی را به‌ترتیب 47، 30/77، 47/62 و 100 درصد نسبت به کاربرد تنهای این کودها افزایش داد. کمترین مقدار روی جذب شده مربوط به تیمار شاهد برابر با 0/10 میلی‌گرم در گلدان بود. در بین کودهای فسفاتی بشترین روی جذب شده از تیمار سوپرفسفات-تریپل+ PGPR حاصل شد (0/26 میلی‌گرم در گلدان) که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت.

کاربرد همزمان باکتری*سودوموناس فلوروسنس* و کودهای سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل، فسفات-آمونیوم و خاک‌فسفات جذب منگنز در دانه کلزا را به-ترتیب 40/91، 26/47، 51/85 و 78/57 درصد نسبت به کاربرد بدون تلقیح این کودها افزایش داد. بیشترین مقدار منگنز جذب شده از تیمار سوپرفسفات‌تریپل+PGPR حاصل شد که برابر 0/43 میلی‌گرم در کلدان بود و اختلاف معنی‌داری با تیمار فسفات‌آمونیوم+PGPR نداشت. همچنین در بین کودهای فسفاتی بیشترین جذب منگنز مربوط به تیمار سوپرفسفات‌تریپل بود. کاربرد همزمان خاک‌فسفات و PGPR اختلاف معنی‌داری در جذب منگنز با تیمار فسفات‌آمونیوم نداشت. جذب منگنز در تیمار خاک‌فسفات+PGPR بیشتر از تیمار سوپر فسفات ساده بود.

جذب مس در اثر تلقیح با باکتری*سودوموناس فلوروسنس* اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (جدول 3). همچنین کاربرد PGPR همراه با کودهای سوپرفسفات‌ساده، سوپرفسفات‌تریپل و فسفات‌آمونیوم اختلاف معنی‌داری با کاربرد بدون تلقیح تیمار سوپرفسفات‌تریپل نداشت. کاربرد همزمان PGPR همراه با کودهای سوپرفسفات‌ساده، فسفات‌آمونیوم و خاک-فسفات جذب مس در دانه کلزا را به‌ترتیب 50، 50 و 100 درصد نسبت به کاربرد تنهای این کودها افزایش داد. در بین کودهای فسفاتی نیز بیشترین جذب مس متعلق به تیمار سوپرفسفات‌تریپل بود. کمترین جذب مس مربوط به تیمارهای شاهد، PGPR و خاک فسفات برابر با 0/01 میلی‌گرم در گلدان بود.

بحث

نقش ریزجانداران در تأمین فسفر و انحلال ترکیبات فسفاتی از گذشته مشخص شده است. باکتری‌ها در حل ترکیبات فسفاتی از قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها مؤثرترند (احمد و همکاران، 2002). نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد باکتری*سودوموناس فلوروسنس* همراه و بدون کودهای فسفاتی عملکرد دانه و کاه، جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در کلزا را افزایش داد. تأثیر تلقیح همزمان PGPR و کاربرد کودهای فسفاتی بر فاکتورهای اندازه‌گیری شده بیشتر از زمانی بود که باکتری *سودوموناس فلوروسنس* به تنهایی به‌کار برده شده بود. نتایج مطالعات فرجی و ارزانش (1392) نشان داد که با کاربرد PGPR ها می‌توان مصرف کودهای شیمیایی را تا 50 درصد کاهش داد، به‌طوری‌که کاربرد PGPRها همراه با 50 درصد کود کامل، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد دانه در متر مربع و ماده خشک کلزا نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح شد که این شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری با مصرف 100 درصد کود کامل نداشت.

www.SID.ir

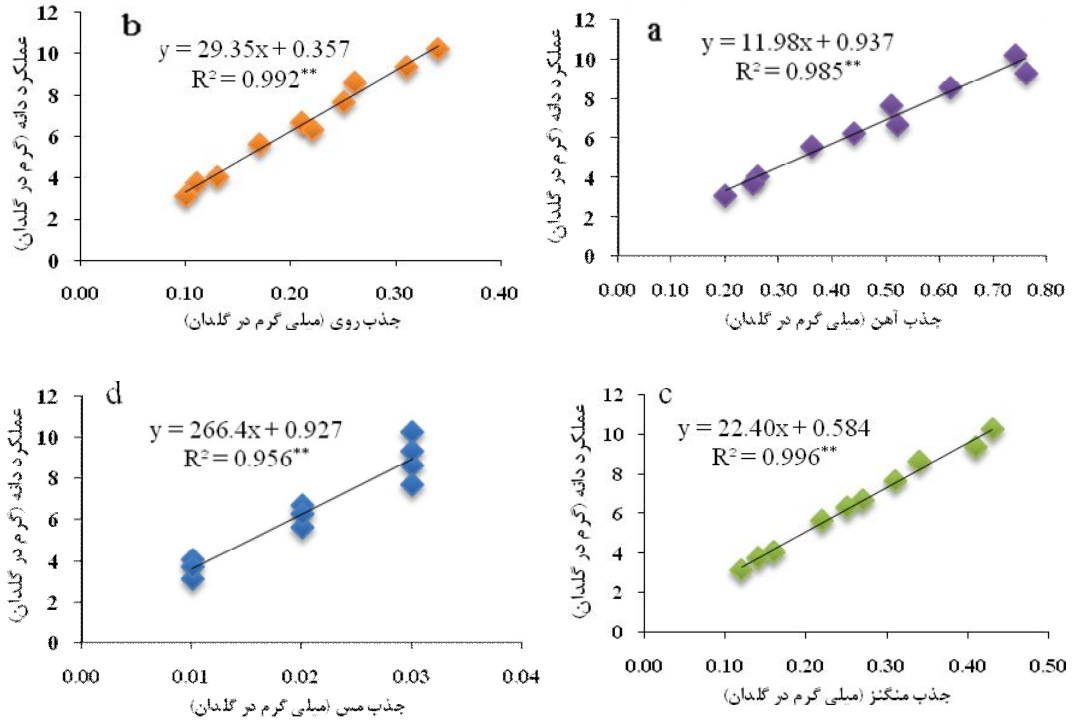
Archive of SID

جدول 3- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در اثر اعمال تیمارهای مختلف*

تیمار	عملکرد دانه	عملکرد کاه	فسفر	آهن	روی	منگنز	مس
	گرم در گلدان			میلی‌گرم در گلدان			
باکتری *سودوموناس فلوروسنس*							
شاهد	3/12 h	15/05 i	13/63 d	0/20 g	0/10f	0/12 g	0/01 c
PGPR	4/05 g	19/65 g	21/05 cd	0/26 f	0/13 e	0/16 f	0/01 c
کودهای فسفاتی							
SSP	5/61 f	21/33 f	26/62 c	0/36 e	0/17 d	0/22 e	0/02 b
TSP	8/59 c	28/72 b	43/73 b	0/62 b	0/26 b	0/34 b	0/03 a
AP	6/67 e	23/46 e	40/89 b	0/52 c	0/21 c	0/27 d	0/02 b
RP	3/71 g	16/29 h	16/80 d	0/25 f	0/11 f	0/14 f	0/01 c
باکتری *سودوموناس فلوروسنس* همراه با کودهای فسفاتی							
SSP+PGPR	7/66 d	24/48 d	42/75 b	0/51 c	0/25 b	0/31 c	0/03 a
TSP+PGPR	10/22 a	29/99 a	63/97 a	0/74 a	0/34 a	0/43 a	0/03 a
AP+PGPR	9/32 b	26/93 c	63/36 a	0/76 a	0/31 a	0/41 a	0/03 a
RP+PGPR	6/28 e	21/11 f	36/37 b	0/44 d	0/22 c	0/25 d	0/02 b

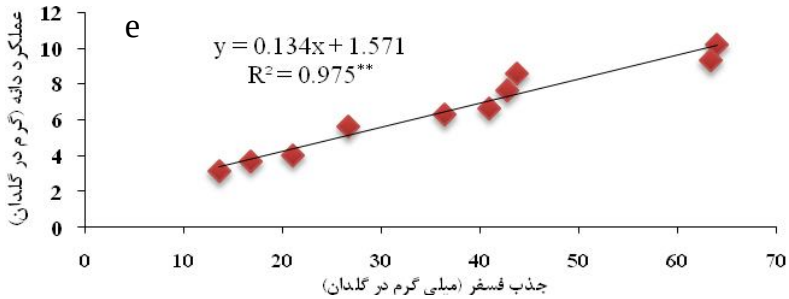
PGPR: باکتری *سودوموناس فلوروسنس*، SSP: سوپرفسفات‌ساده، TSP: سوپرفسفات‌تریپل، AP: فسفات آمونیوم، RP: خاک‌فسفات

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از نظر آماری (آزمون دانکن) اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد باهم ندارند.



www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- همبستگی بین عملکرد و جذب آهن (a)، روی (b)، منگنز (c)، مس (d) و فسفر (e) در دانه کلزا

در تحقیق حاضر، تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* عملکرد کلزا را نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای کودی بدون تلقیح افزایش داد. بیشترین و کمترین تأثیر PGPR به‌ترتیب بر کودهای خاک‌فسفات و سوپرفسفات‌تریپل بود. با توجه به اینکه مقدار فسفر قابل-جذب خاک‌فسفات پایین است، PGPR با افزایش انحلال فسفر آن، موجب افزایش فراهمی فسفر و در نتیجه عملکرد گیاه می‌شوند. کاربرد باکتری *سودوموناس فلوروسنس* همراه با خاک‌فسفات عملکرد دانه را نسبت به کاربرد تنهای سوپرفسفات‌ساده به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین بین تیمار خاک‌فسفات+ PGPR با تیمارهای فسفات آمونیوم و سوپرفسفات‌ساده در عملکرد دانه و کاه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌عبارتی می-توان مصرف خاک‌فسفات - به‌عنوان یک منبع کودی در دسترس و ارزان را همراه با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* جایگزین کودهای فسفاتی فسفات‌آمونیوم و سوپرفسفات‌ساده کرد.

بخشی از افزایش عملکرد کلزا را می‌توان به هورمون‌های گیاهی ترشح شده توسط PGPR مانند اکسین نسبت داد. ترشح IAA و دیگر هورمون‌های گیاهی رشد کلزا، گندم و گوجه‌فرنگی را در تیمارهای تلقیح شده با باکتری *Azotobacter paspali* افزایش داد (عباس و اوکان، 1993). کاربرد کودهای فسفاتی همراه با باکتری-های *سودوموناس* علاوه‌بر افزایش مقدار فسفر در خاک، موجب تسریع مراحل رشد سویا شده است (شاه و همکاران، 2001). باکتری‌های محرک رشد گیاه با تأثیر بر اندازه و مرفولوژی ریشه، بر توانایی ریشه در دسترسی به حجم وسیع‌تر خاک اثر گذاشته و در نتیجه کارایی مصرف کود و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهند (زهیر و همکاران، 2004).

در این مطالعه تلقیح با باکتری *سودوموناس فلوروسنس* جذب فسفر در دانه کلزا را نسبت به تیمارهای تلقیح نشده افزایش داد. ریزجانداران با توان حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول، ترکیبات فسفاتی را از طریق فرآیندهای اسیدی کردن، کلاته کردن و واکنش‌های تبادلی به‌شکل محلول در می‌آورند. همچنین باکتری‌ها با معدنی کردن ترکیبات آلی موجب افزایش فراهمی عناصر غذایی در ریزوسفر می‌شوند (شن و همکاران، 2004). مهم‌ترین مکانیسم در انحلال فسفات‌های معدنی تولید اسیدهای آلی است که این اسیدها به دو طریق باعث افزایش فراهمی عناصرغذایی به‌ویژه فسفر می‌شوند که یکی از طریق کاهش اسیدیته منطقه ریزوسفر و دیگری از طریق کلاته شدن یون آلومینیم در خاک‌های اسیدی و یون کلسیم در خاک‌های سدیمی است (کوسی، 1983). نتایج مطالعات یو و همکاران (2012) نشان داد که در اثر تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات، مقدار فسفر قابل جذب در ریزوسفر نهال‌های گردو به‌شکل معنی‌داری افزایش یافت. مختاری و بشارتی (1392) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات همراه با سطوح مختلف کود فسفره عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی در ذرت را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

براساس نتایج حاصل شده، تلقیح با PGPR موجب افزایش فراهمی و در نتیجه جذب عناصر کم-مصرف آهن، روی، منگنز و مس در دانه کلزا نسبت به تیمار شاهد شد. افزایش جذب عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن، روی و منگنز ممکن است به تولید سیدروفورهای میکروبی مربوط باشد. سیدروفورها ترکیبات آلی با وزن مولکولی اندک هستند که تمایل زیادی برای ترکیب شدن با کاتیون‌های مختلف از جمله آهن دارند (ارزانش و همکاران، 2009). تولید سیدروفور در GPR های مختلف از جمله *سودوموناس‌ها* به اثبات رسیده است (یانگ و همکاران، 2011). نتایج مطالعات چن و همکاران (1994) نشان داد که سیدروفور تولید شده توسط باکتری *سودوموناس پوتیدا* حلالیت آهن، روی، منگنز و مس را افزایش داد. دوبلار و همکاران (2003) نشان دادند که تلقیح با باکتری‌های با توانایی تولید اکسین، موجب افزایش طول ریشه، طول تارهای کشنده و انشعابات ریشه‌های فرعی گیاهان شد. کاربرد همزمان باکتری‌های

www.SID.ir

Archive of SID

حل کننده فسفات، خاک‌فسفات و مواد آلی، جذب فسفر، روی و منگنز را در دانه کلزا به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (سلیم‌پور و همکاران، 1389). به‌طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با کاربرد باکتری *سودوموناس فلوروسنس* همراه با کودهای فسفاتی می‌توان بخشی از کودهای شیمیایی که عمدتاً وارداتی نیز هستند را با این باکتری‌ها جایگزین کرد. همچنین کاربرد این ریزجانداران با منابع ارزانتر مانند خاک‌فسفات می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای دیگر باشد، بدون آنکه عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش یابد.

فهرست منابع:

1. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره 982، کرج، ایران.
2. بی‌نام. 1392. آمارنامه کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران.
3. رودی، د. رحمانپور، س. و جاویدفر، ف. 1382. زراعت کلزا. بخش تحقیقات دانه‌های روغنی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، صفحه 53.
4. سلیم‌پور، س. خاوازی، ک. نادیان، ح و بشارتی، ح. 1389. تأثیر خاک‌فسفات همراه با گوگرد و ریزجانداران بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد 24، شماره 1، 19-9.
5. علی‌احیایی، م. و بهبهانی‌زاده، ع. ا. 1372. شرح روش‌های تجزیه خاک (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره 893، کرج، ایران.
6. فرجی، ا. و ارزانش، م. ح. 1392. واکنش دو ژنوتیپ کلزا به باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Azospirillum* spp.): عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت. مجله به‌زراعی نهال و بذر. جلد 2-29، 29-17.
7. فلاح، ع. 1391. بررسی رابطه بین جمعیت کل باکتری‌ها و قارچ‌ها با برخی خصوصیات خاک‌های استان گیلان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد 2، شماره 2، 68-49.
8. مدنی، ح. نادری بروجردی، غ. آقاجانی، ح. و پازکی، ع. مقایسه اثرات مصرف کودهای شیمیایی فسفره و و باکتری-های حل کننده فسفات در عملکرد دانه، بیولوژیک و محتوای نسبی فسفر بافت‌ها در کلزای پاییزه. مجله زراعت و اصلاح و نباتات. جلد 6، شماره 4، 104-93.
9. مختاری، م. و بشارتی، ح. 1392. اثر باکتری‌های حل‌کننده‌فسفات بر عملکرد و برخی ترکیبات شیمیایی ذرت. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد 27، شماره 4، 628-619.
10. ملکوتی، م. ج. کشاورز، پ. و کریمیان، ن. 1387. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران. صفحه 755.
11. Abbass, Z. and Okon, Y. 1993. Plant growth promotion by *Azotobacter paspali* in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry 25: 1075-1083.
12. Ahmed, S. 1995. Agriculture-Fertilizer Interface in Asia-Issues of Growth and sustainability. Oxfeor and IBH Publ. Co. New Delhi.
13. Arzanesh, M. H., Alikhani, H. A., Khavazi, K., Rahimian, H. A. and Miransari, M. 2009. In vitro growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings, inoculated with *Azospirillum sp*., under drought stress. International Journal of Botany 5: 244-249.
14. Bowen, G. D. and Rovira, A. D. 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. Advances in Agronomy 66: 1-102.
15. Chen, Y., Jurkevitch, E., Bar-Ness, E. and Hadar, Y. 1994. Stability constants of pseudobactin complexes with transition metals. Soil Science Society of America Journal 58: 390-396.

www.SID.ir

Archive of SID

16. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. and Okon, Y. 2003. Plant growth promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Review in Plant Science 22: 107-149.
17. Farina, R., Beneduzi, A., Ambrosini, A., Campos, S. B., Lisboa, B. B., Wendisch, V., Vargas, L. K. and Passaglia, L. M.P. 2012. Diversity of plant growth-promoting rhizobacteria communities associated with the stages of canola growth. Applied Soil Ecology 55: 44-52.
18. Ghosh, D., Bal, B., Kashyap, V. K. and Pal, S. 2003. Molecular phylogenetic exploration of bacteria diversity in a Bakreshwar (India) hot spring and culture of Shewanellarelated thermophiles. Applied and Environmental Microbiology 69: 4332-4336.
19. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-Living bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41: 109-117.
20. Goldstein, A. H. 1986. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspectives and future prospects. American Journal of Alternative Agriculture 1: 57–63.
21. Goldstein, A. H., Rogres, R. D. and Mead, G. 1993. Mining by microbe. Nature Biotechnology 11: 1250-1254.
22. Hinsinger, Ph. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant and Soil 237: 173-195.
23. Joseph, B., Patra, R. R. and Lawrence, R. 2007. Characterization of plant growth promoting Rhizobacteria associated with chickpea (*Cicer arietinum* L). International Journal of Plant Production 1: 141-152.
24. Kaur, G. and Reddy, M. S. 2014. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites. European Journal of Soil Biology 61: 35-40.
25. Kim, K. K. Jordan, D. and MacDonald, G. A. 1989. Entro bacter agglomerans, phosphate solublizing bacterial activity in soil: effect of carbon sources. Soil Biology and Biochemistry 89: 995-1003.
26. Kucey, R. M. N. 1983. Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soil. Canadian Journal of Soil Science 63: 671-678.
27. Mengel, K. and Kirkby, E. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th edn. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
28. O'Sullivan, D. J. and O'Gara, F. 1992. Traits of *Pseudomonas fluorescens* spp. Involved in suppression of plant root pathogens. Microbiological Reviews 56: 662-676.
29. Richardson, A. E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition ofphosphorus by plants. Australian Journal of Plant Physiology 28: 897-906.
30. Saharan, B. S. and Nehra, V. 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. Life Science and Medicine Research 21: 1-30.
31. Shah, P., Kakar, K. M. and Zaha, K. 2001. Phosphorus use efficiency of Soybean as affected by Phosphorus application and Inoculation. Plant Nutrition Developments in Plant and Soil Science 92: 670-671.
32. Shen, J., Li. R., Zhang, F., Fan, J., Tang, C. and Rengel, Z. 2004. Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under rice monoculture system on a calcareous soil. Field Crops Research 86: 225-238.
33. 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.
34. Van Peer, R. and Schippers, B. 1998. Plant growth responses to bacterization with selected Pseudomonas spp. strains and rhizosphere microbial development in hydroponic cultures. Canadian Journal of Microbiology 35: 456-463.

www.SID.ir

Archive of SID

35. Yang, M. M., Mavrodi, D. V., Mavrodi, O. V., Bonsall, R. F., Parejko, J. A., Paulitz, T. C., Thomashow, L. S., Yang, H. T., Weller, D. M. and Guo, J. H. 2011. Biological Control of Take-all by *Fluorescent Pseudomonas* spp. from Chinese Wheat Fields. Phytopathology 101: 1481-1491.
36. Yu, X., Liu, X., Zhu, T. H., Liu, G. H. and Mao, C. 2012. Co-inoculation with phosphate-solubilzing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. European Journal of Soil Biology 50: 112-117.
37. Zahir, A. Z., Arshad, M. and Frankenberger, W. F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria. Advances in Agronomy. 81: 97-168.
38. Zaidi, S., Usmani, S., Singh, B. R. and Musarrat, J. 2006. Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulatio*ssica juncea*. Chemosphere 64: 991-997.

www.SID.ir