

ارزیابی اثر کاربرد سویه‌هایی از باکتری سودوموناس بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف فسفر

شهرام رضوان بیدختی^{۱*}، علیرضا دشتبان^۲، محمد کافی^۳ و سارا سنجانی^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۵

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۳۰

چکیده

کاربرد کودهای زیستی به ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه به جای مصرف کودهای شیمیایی از مهمترین راهبردهای تغذیه‌ای در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد. در این تحقیق به منظور ارزیابی اثر باکتری‌های سودوموناس در سطوح مختلف فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم کویر آزمایشی در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان اجرا شد. آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عامل اصلی شامل ۵ سطح کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل (P_۰، P_۱، P_۲ و P_۳) به ترتیب (۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل فرعی شامل چهار سطح (S_۱، S_۲، S_۳ و S_۴) به ترتیب (تیمار بدون تلقیح (شاهد) و سه سطح سویه‌های سودوموناس پوتیدا^{۲۱}، سودوموناس پوتیدا^{۱۵۸} و سودوموناس فلورسنس^{۱۶۸}) بود. نتایج نشان داد که تعداد سنبله، تعداد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک به طور معنی داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود فسفر، باکتری و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند. حداکثر عملکرد دانه به مقدار ۷۶۳۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار تلقیح با سودوموناس فلورسنس^{۱۶۸} به همراه مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل حاصل شد. با توجه به عملکرد مناسب سودوموناس فلورسنس^{۱۶۸} می‌توان چنین نتیجه گرفت که در شرایط کاهش استفاده از کودهای فسفاته، این سویه قادر است ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه را در حد قابل قبولی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های سودوموناس، سوپر فسفات تریپل، عملکرد، *Triticum aestivum*

مقدمه

توسعه کشاورزی پایدار و حفظ سلامت محیط زیست گردند (Poudel et al., 2002; Arun, 2002).

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و یکی از مهمترین کودهای شیمیایی مورد استفاده در سیستم‌های زراعی است. کمبود غلظت فسفات قابل جذب خاک‌های زراعی معمولاً باعث می‌شود تا برای رفع کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان، این عنصر به صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه شود. با این وجود مقادیر زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک نامحلول شده و در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیم و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Whitelaw et al., 1999).

در این راستا به کارگیری باکتری‌های حل‌کننده فسفات برای بهبود جذب فسفر و کاهش مصرف کودهای فسفاته یکی از راهکارهای اساسی برای جبران کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان است. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات به گروهی از ریز جانداران خاکزی اطلاق می‌شود که به عنوان اجزای مکمل چرخه فسفر قادرند

در اکثر نقاط دنیا از جمله ایران مصرف افراطی کودهای شیمیایی برای دستیابی به عملکرد بالا در محصولات زراعی و میزان کمبود منابع خصوصاً فسفر باعث افزایش هزینه‌های تولید همراه با تخریب منابع خاکی، آبی و زیستی شده است. جدی بودن تخریب محیط زیست در اثر کاربرد روش‌های غلط موجب جلب توجه و علاقمندی متخصصین به نظام‌های زراعی سالم و بادوام از نظر اکولوژیکی گردیده است بطوریکه امروزه در اکثر محافل علمی صحبت از توسعه سیستم‌های پایدار کشاورزی به میان آمده است (Ardakani, 2001). در این راستا نظام‌های کشاورزی اکولوژیک و کم‌نهاد می‌توانند به عنوان جایگزینی برای سیستم‌های رایج در نظر گرفته شده و باعث

۱ و ۲- مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

* نویسنده مسئول: (Email: sharamrezvan@yahoo.com)

۳ و ۴- به ترتیب عضو هیأت علمی و دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

بهینه و صحیح کودهای شیمیایی، سموم و افزایش مواد آلی خاک و حفاظت از محیط زیست لازم به نظر می‌رسد. لذا با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و با نظر به اهمیت گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، این مطالعه با هدف تعیین بهترین سطح کود فسفات به هنگام کاربرد سوبه‌هایی از باکتری سودوموناس از طریق بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان با عرض جغرافیایی $36/08$ درجه و طول شرقی $54/19$ درجه و ارتفاع $155/4$ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی سالیانه منطقه 150 میلی‌متر بوده و حداکثر درجه حرارت محل اجرای آزمایش 43 و حداقل آن $13-$ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. محل آزمایش سال قبل از آزمایش به صورت آیش بوده است. قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، به منظور تعیین خصوصیات خاک، نمونه‌برداری از خاک محل تحقیق انجام گرفت. خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. پنج سطح کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل شامل: P: شاهد (بدون کود)، $P_1: 60$ ، $P_2: 90$ ، $P_3: 120$ و $P_4: 150$ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های اصلی و سوبه‌های باکتری سودوموناس پوتییدا $21 (S_1)$ ، سودوموناس پوتییدا $158 (S_2)$ ، سودوموناس فلورسنس $168 (S_3)$ و یک سطح شاهد بدون باکتری (S_0) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

عملیات تهیه زمین مطابق عرف منطقه با اجرای شخم عمیق و دو دیسک عمود بر هم قبل از کاشت انجام شد. عملیات کاشت در تاریخ بیست و ششم آبان ماه انجام گرفت. کود نیتروژن به مقدار 250 کیلوگرم در هکتار بصورت اوره در سه نوبت، یک سوم در هنگام کاشت، یک سوم در زمان ساقه دهی و باقی مانده قبل از مرحله تورم غلاف برگ پرچی مصرف شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش گندم رقم کویر بود که مقاوم به شوری و خشکی و بادزدگی آخر فصل بوده و بیشتر در مناطق گرم و خشک توصیه می‌شود. مایه تلقیح این باکتری‌ها از بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. برای تلقیح بذرها میزان 15 گرم مایه تلقیح که جمعیت آنها $10^8 \times 5$ سلول در گرم بود، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. هنگام کاشت، بذور ابتدا با سوبه‌های ذکر شده به طور جداگانه تلقیح شده و پس از مشخص نمودن محدوده هر کرت، بذرهای هر تیمار به صورت دستی در 6 خط کاشت در کرت‌هایی به ابعاد $1/5 \times 5$ متر و در عمق $2/5$ سانتی متری کشت شدند. بین کرت‌های

از طریق مکانیسم‌های مختلف، فسفر را از منابع نامحلول آزاد کنند (Saleh-Rastin, 2001). باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفات و قارچ‌های حل کننده فسفات از جمله ارگانوسم‌های موثر در این فرایند شناخته شده اند (Reys et al., 1999).

باکتری‌های جنس سودوموناس از مهمترین باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGRP)^۱ به شمار می‌روند. باکتری‌های سودوموناس، هوازی و میله‌ای شکل هستند (Vazqueseta et al., 2002).

(Rasouli Sadaghiani et al., 2006) گزارش کردند که سودوموناس‌ها و بالاخص سودوموناس فلورسنس از مهمترین ارگانوسم‌های ریزوسفری به شمار رفته و اثرات مثبت ناشی از تلقیح آنها بر رشد به اثبات رسیده است. بسیاری از این باکتری‌ها با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، آزاد شدن فسفر را از ترکیبات آلی فسفردار موجب می‌شوند. باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفات نه تنها رها سازی فسفر، بلکه تولید مواد بیولوژیک دیگر از جمله هورمون‌های رشد مثل اکسین و جیبرلیک اسید و همچنین ویتامین‌ها را موجب می‌شوند. این مواد با انحلال فسفات همبستگی مثبت دارند (Saleh Rastin, 2001). به طور کلی افزایش تعداد و تنوع میکروارگانوسم‌ها و اثرات متقابل جوامع میکروبی باعث افزایش تعداد و تنوع اسیدهای آلی موثر در فرایند انحلال فسفات‌های نامحلول می‌شود (Sharma, 2002).

باکتری‌های سودوموناس پتانسیل قابل توجهی در بهبود کارایی جذب فسفر از خود نشان داده و به علت وسعت انتشار، تنوع گونه‌ای و مقاوم بودن برخی از گونه‌های آن به تنش‌های محیطی توانسته اند به عنوان کود زیستی مناسب از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردند (Kim et al., 1989; Loheurte & Betrthlin, 1988). استفاده از کودهای زیستی بخصوص در کشت‌های فشرده و خاک‌های فقیر از لحاظ عناصر غذایی، ضرورتی اجتناب ناپذیر برای حفظ ارزش کیفی خاک است. در حالیکه مصرف غیر اصولی و بلند مدت کودهای شیمیایی نتیجه‌ای جز تخریب تدریجی کیفیت خاک، کاهش ارزش کیفی محصول، بهم زدن تعادل طبیعی اکوسیستم و گسترش آلودگی‌های زیست محیطی در پی نخواهد داشت (Saleh- Rastin, 2005).

کودهای زیستی در مقایسه با مواد شیمیایی مزایای قابل توجهی دارند. از جمله این که در چرخه غذایی تولید مواد سمی و میکروبی نمی‌نمایند، قابلیت تکثیر خودبخودی دارند، باعث اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند (Moalem & Eshghizadeh, 2007) و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و از دیدگاه زیست محیطی قابل پذیرش هستند. از آنجا که دستیابی به کشاورزی پایدار جزء اهداف اصلی متخصصان کشاورزی به‌شمار می‌رود، برای نیل به این هدف و اقتصادی کردن امر تولید، استفاده از کودهای زیستی، مصرف

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

از جمله گندم سبب بهبود استقرار گیاه، گسترش سیستم ریشه‌ای، توسعه اندام‌های گیاهی، افزایش پنجه زنی و شکل‌گیری دانه و نهایتاً باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Ardakani, 2000). Zabih et al. (2009) گزارش کردند که تلقیح با کلیه سویه‌های باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد گندم در کلیه سطوح فسفر شد.

افزایش عملکرد دانه گندم، جو و برنج با استفاده از باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Wagar et al., 2004; Sharma & Prasad, 2003; Fikretin et al., 2004). Tohidi-Moghadam (2007) در آزمایشی روی ذرت نشان دادند که در حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات (سودوموناس پوتیدا و باسیلوس) میزان مصرف کودهای شیمیایی فسفات تا ۵۰٪ کاهش یافت.

عملکرد ماده خشک

در بررسی اثر فسفر بر روی عملکرد ماده خشک مشاهده شد که بین سطوح مختلف فسفر از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵٪ وجود دارد (جدول ۲). بیشترین عملکرد ماده خشک با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (بدون کود) به دست آمد (جدول ۳). اثر باکتری نیز بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد ماده خشک از سویه ۱۵۸ به دست آمد که البته با سایر سویه‌های باکتری تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت و کمترین آن هم در تیمار شاهد (بدون باکتری) مشاهده شد (جدول ۳). Saleh-Rastin (2001) نشان داد که باکتری‌های سودوموناس قادر به تولید هورمون‌های اکسین، جیبرلین و ویتامین‌ها است. بنابراین احتمالاً افزایش عملکرد ماده خشک را می‌توان به این توانایی باکتری نسبت داد. Pamela & Steven (1982) اثر باکتری در افزایش عملکرد ماده خشک در گندم و سورگوم را به دلیل مصرف بهتر فسفر که توسط آزاد شدن آن از منابع نامحلول بوده، گزارش داد.

تعداد سنبله در متر مربع

کود فسفر اثر معنی‌داری بر تعداد سنبله در متر مربع داشت (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله (۶۶۲ سنبله در متر مربع) از تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با تیمار ۹۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد سنبله از تیمار شاهد (۵۲۰ سنبله در مترمربع) به دست آمد (جدول ۳). کاربرد باکتری سبب افزایش تعداد سنبله در مترمربع شد (جدول ۲)، بطوریکه بیشترین سنبله (۶۹۲ سنبله در متر مربع) با مصرف سویه ۱۵۸ بدست آمد که با سویه ۱۶۸ از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین سنبله (۵۰۷ سنبله در متر مربع) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

اصلی سه ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. فاصله خطوط کاشت ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت نشتی و با توجه به شرایط اقلیمی و وضعیت رطوبتی خاک در زمان‌های مورد نیاز انجام شد. برداشت در تاریخ پانزدهم تیرماه با در نظر گرفتن مساحتی معادل دو مترمربع از ارتفاع پنج سانتیمتری سطح زمین به منظور تعیین عملکرد صورت گرفت. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب شد. پس از توزین کل محصول برداشت شده در هر کرت، دانه‌ها توسط کمباین آزمایشی از کاه و کلش جدا شد و پس از خشک نمودن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، وزن هزار دانه محاسبه شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Minitab-ver.1.3 و MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثر کود فسفر بر عملکرد دانه معنی‌دار ($p < 0.05$) بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۶۱۹۲ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بدست آمد که با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد دانه (۳۸۰۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). بین سویه‌های باکتری اختلاف معنی‌داری دیده شد و این سویه‌ها در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند به طوریکه ۲ S (سویه ۱۶۸) بیشترین عملکرد دانه (۶۴۲۱ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد که البته تفاوت معنی‌داری با S_۳ (سویه ۱۵۸) نداشت. کمترین عملکرد دانه (۲۷۱۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد (بدون باکتری) بدست آمد که یک کاهش ۵۷ درصدی را نسبت به S_۲ نشان داد (جدول ۳). در مطالعات انجام شده بر روی نخود فرنگی و سورگوم افزایش عملکرد دانه به استفاده از باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر نسبت داده شده است (Redy & Ahlawat, 1988; Patidar, 2001).

اثر متقابل کود و باکتری بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲) و حداکثر عملکرد دانه (۷۶۳۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سویه ۱۶۸ با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بدست آمد و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمارهای بدون باکتری (شاهد) می‌باشد که بازگوکننده کارایی بالای باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر می‌باشد (جدول ۴). افزایش آزادسازی فسفر از منابع نامحلول و همچنین تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین و سیتوکینین و سنتز و تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن توسط فعالیت باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر در چهار هفته رشد اولیه بویژه برای غلات

کیلوگرم در هکتار فسفر به دست آمد که البته تفاوت معنی داری با تیمار P۲ با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نداشت و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). اثر باکتری بر تعداد دانه در متر مربع معنی دار بود. بیشترین تعداد دانه (۳۰۸۳۰) با استفاده از سویه ۱۵۸ به دست آمد که نشان می‌دهد با استفاده از باکتری سویه ۱۵۸ افزایش ۵۸ درصدی در تعداد دانه نسبت به تیمار شاهد به دست می‌آید (جدول ۳). وجود باکتری تسهیل کننده جذب فسفر با توجه به نقشی که فسفر در تحریک رشد زایشی و تشکیل دانه در گیاه ایفا می‌کند، در این نتایج مشهود بود. اثر متقابل کود و باکتری نیز معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در مترمربع در تیمار با سویه ۱۵۸ با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و کمترین آن هنگامی که باکتری استفاده نشد به دست آمد (جدول ۴).

فسفر یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و در تشکیل گل و دانه بندی اهمیت زیادی دارد و وجود باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر سبب استفاده بهتر گیاه از فسفر غیر قابل جذب خاک شده و نشان دهنده این موضوع است که تامین فسفر کافی برای گندم سبب افزایش تعداد دانه در سنبله شده است.

همسو با نتایج این بررسی، افزایش تعداد سنبله در گندم و سورگوم به علت استفاده از باکتری در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Pamella & Steven, 1982; Zabihi et al., 2009). احتمالاً باکتری باعث می‌شود که فسفر بیشتری در دسترس گیاه قرار گیرد. اثر متقابل کود و باکتری نیز در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد سنبله معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله (۷۵۳) مربوط به سویه ۱۵۸ با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بود که تفاوت معنی داری با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر نداشت (جدول ۴). Shah et al. (2001) گزارش دادند که کاربرد کود فسفر به همراه باکتری‌های سودوموناس نه تنها باعث افزایش مقدار فسفر در خاک، بلکه باعث تسریع مراحل رشد (پنجه زنی، گلدهی و بلوغ) در سویا می‌شود.

تعداد دانه در متر مربع

تعداد دانه علاوه بر اینکه به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد، تحت تأثیر شرایط محیطی و زراعی نیز قرار می‌گیرد. سطوح مختلف کود فسفر به طور معنی داری ($p < 0.01$) بر تعداد دانه تأثیر داشت (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در متر مربع (۲۸۸۸۰) در تیمار P۳ با مصرف ۱۲۰

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک قطعه آزمایش

Table 1- Soil physico-chemical properties of experimental site

OC (%)	pH	نیترژن Nitrogen (%)	پتاسیم potassium mg kg ⁻¹	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus mg kg ⁻¹	بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
0.4	8.5	0.04	190	5.5	شنی-لومی Sandy-Loamy	64.48	24	11.52

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد اندازه گیری

Table 2- Analysis of variance (Mean of square) for measurement traits

وزن هزار دانه Thousand seed weight	تعداد دانه در مترمربع Seed per m ²	تعداد سنبله در متر مربع Spike per m ²	عملکرد ماده خشک Biomass	عملکرد دانه Grain yield	درجه آزادی df	منابع تغییر S. O. V
13.86	3426286.6	9555.81	27523791.6	733187.1	2	بلوک Block
70.99**	215806385.8**	42777/77**	28334020.8*	11773965.05**	4	فسفر phosphorus
4.33	4963215.8	1703.71	6767020.8	57706.9	8	خطای اصلی Main error
61.71**	982957623.8**	114116.48**	123440944.4**	43215177.48**	3	سویه‌های باکتری Bacteria strains
9.76	14369494.7**	2704.64*	6989381.9	809858.35*	12	فسفر* باکتری Phosphorus*Bacteria
7.86	3504485.5	1221.44	5422986.1	404660.81	30	خطای فرعی Sub error
10.6	7.72	5.6	17.1	12.2		ضریب تغییرات CV

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are Non-significant, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- میانگین اثرات اصلی عملکرد و اجزای عملکرد

Table 3- Mean comparison of main effects of yield and yield components

وزن هزار دانه (گرم) Thousand seed weight (g)	تعداد دانه در مترمربع Seed per m ²	تعداد سنبله در مترمربع Spike per m ²	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Biomass (Kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (Kg/ha)	تیمارهای آزمایش Treatments
22.37 ^b	18600 ^c	520.3 ^c	12410 ^a	3804 ^d	P ₀
25.64 ^a	21210 ^c	600.8 ^b	13430 ^{ab}	4645 ^c	P ₁
27.82 ^a	27000 ^{ab}	644.8 ^{ab}	14170 ^{ab}	^a 6029	P ₂
28.46 ^a	28880 ^a	662.3 ^a	15880 ^a	6192 ^a	P ₃
27.23 ^a	25590 ^b	659.5 ^{ab}	12020 ^b	5213 ^b	P ₄
23.45 ^b	12780 ^d	507.9 ^c	9307 ^b	2715 ^c	S ₀
26.39 ^a	24480 ^c	587.3 ^b	14660 ^a	5400 ^b	S ₁
27.28 ^a	30830 ^a	694.2 ^a	15440 ^a	6170 ^a	S ₂
28.1 ^a	28920 ^b	680.8 ^a	14920 ^a	6421 ^a	S ₃

p: شاهد بدون کود، P₀, P₁, P₂, P₃ و P₄ به ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و S: شاهد بدون باکتری، S₁، S₂ و S₃ به ترتیب سویه ۲۱، سویه ۱۵۸ و سویه ۱۶۸ باکتری می‌باشند. در هر ستون حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج و یک درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

P₀: control without fertilizer, P₁, P₂, P₃ and P₄ respectively 60, 90, 120 and 150 (Kg/ha) phosphate fertilizer, S₀: control without bacteria, S₁, S₂ and S₃ respectively strain 21, strain 158 and strain 168. In each column means followed by similar letters are not significantly different (p=0.05 and 0.01).

جدول ۴- میانگین اثرات متقابل عملکرد و اجزای عملکرد

Table 4- Mean comparison of interaction effects of yield and yield components

تعداد دانه در مترمربع Seed per m ²	تعداد سنبله در مترمربع Spike per m ²	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (Kg/ha)	باکتری Bacteria	تیمارهای آزمایش Treatments
9227 ^k	442.7 ^h	2244 ^h	S ₀	P ₀
19520 ^{gh}	519.3 ^g	3670 ^{efg}	S ₁	
23000 ^{efg}	559 ^{efg}	4633 ^{de}	S ₂	
22640 ^{efg}	560 ^{efg}	4669 ^{de}	S ₃	
11010 ^{jk}	496.7 ^{gh}	2233 ^{de}	S ₀	P ₁
21800 ^{fg}	603.3 ^{cdef}	4422 ^{def}	S ₁	
25390 ^{def}	638 ^{cd}	5555 ^{cd}	S ₂	
26640 ^{de}	665 ^{bc}	6371 ^{bc}	S ₃	
13150 ^{ijk}	517.3 ^g	2660 ^{gh}	S ₀	P ₂
29000 ^{cd}	595.7 ^{def}	6733 ^{ab}	S ₁	
39480 ^a	752.7 ^a	7090 ^{ab}	S ₂	
33870 ^b	713.7 ^{ab}	7633 ^a	S ₃	
15000 ^{ij}	542.7 ^{fg}	3433 ^{fg}	S ₀	P ₃
26400 ^{def}	614.3 ^{cde}	6867 ^{ab}	S ₁	
34470 ^b	753 ^a	7233 ^{ab}	S ₂	
32120 ^{bc}	739.3 ^a	7233 ^{ab}	S ₃	
15530 ^{hi}	540 ^{fg}	3007 ^{gh}	S ₀	P ₄
25700 ^{def}	603.7 ^{cdef}	5310 ^{cd}	S ₁	
31790 ^{bc}	768.3 ^a	6336 ^{bc}	S ₂	
29330 ^{cd}	726 ^{ab}	6200 ^{bc}	S ₃	

p: شاهد بدون کود، P₀, P₁, P₂, P₃ و P₄ به ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و S: شاهد بدون باکتری، S₁، S₂ و S₃ به ترتیب سویه ۲۱، سویه ۱۵۸ و سویه ۱۶۸ باکتری می‌باشند. در هر ستون حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج و یک درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

P₀: control without fertilizer, P₁, P₂, P₃ and P₄ respectively 60, 90, 120 and 150 (Kg/ha) phosphate fertilizer, S₀: control without bacteria, S₁, S₂ and S₃ respectively strain 21, strain 158 and strain 168. In each column means followed by similar letters are not significantly different (p=0.05 and 0.01).

بیشترین آن در تیمار با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر است که با سایر تیمارهای کود فسفر در یک گروه آماری قرار گرفته است. به طوریکه با افزایش میزان کود فسفر وزن هزار دانه افزایش یافت (جدول ۳).

اثر باکتری نیز بر وزن هزار دانه معنی دار بود، به طوریکه کلیه سویه‌های مورد استفاده باعث افزایش وزن هزار دانه شدند (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه (۲۸/۱ گرم) با کاربرد سویه ۱۶۸ به دست آمد

در مطالعه‌ای افزایش تعداد دانه در سنبله جو و گندم و افزایش تعداد و وزن غلاف در کلزا به وجود باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر نسبت داده شده است (Freitas et al., 1997).

وزن هزار دانه

در این آزمایش وزن هزار دانه تحت تأثیر سطوح مختلف کود فسفر قرار گرفت (جدول ۲). کمترین وزن هزار دانه در تیمار شاهد و

آزمایش حاکی از آن است که باکتری حل‌کننده فسفات قادر به ایفای نقش مهم در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گندم است. بنابراین چنین بنظر می‌رسد که کاربرد این باکتری‌ها در کشت‌های فشرده و خاک‌های فقیر از لحاظ عناصر غذایی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بوده و در شرایط کاهش مصرف کود (سیستم‌های کشاورزی پایدار) دور‌نمای روشنی را در افزایش تولید محصولات کشاورزی نوید می‌دهد.

که با سایرها تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد بدون باکتری مشاهده شد (جدول ۳). افزایش وزن هزار دانه در گیاه را می‌توان بواسطه نقش مثبت این میکروارگانیسم‌ها در جذب آب و عناصر غذایی و بویژه فسفر و انتقال آنها به سلول‌های گیاه دانست که سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز گیاه شده است (Freitas et al., 1997). در نتیجه در مرحله پر شدن دانه، شیره پرورده به دانه‌ها انتقال داده شده و دانه‌های درشت با وزن قابل قبول تولید شده است، بنابراین وزن هزار دانه نیز افزایش یافته است. نتایج حاصل از این

منابع

- 1- Ardakani, M.R., 2001. Ecology. Tehran University press, Iran, pp: 256. (In Persian with English summary).
- 2- Ardakani, M.R., 2000. Evaluation of application of biological fertilizers in sustainable wheat cultivation. Ph.D. Thesis. Islami Azad Univ Tehran., Iran. (In Persian with English summary).
- 3- Arun, K.S., 2002. A Handbook of Organic Farming Pub. Agrobios, India.
- 4- Fikretin, S., Çakmakçı, R., Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant. Soil. 7, 123-129.
- 5- Freitas, J.R.de., Banerjee, M.R., Germida, J.J., 1997. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). Biol. Fert. Soils. 24, 358-364.
- 6- Kim, K.K., Jordan, D., MacDonald, G.A., 1989. Entro bacter agglomerans, phosphate solublizing bacterial activity in soil: effect of carbon sources. Soil. Biol. Biochem. 89, 995-1003.
- 7- Loheurte, F., Betrthlin, J., 1988. Effect of a phosphate solublizing bacteria on maize grow and root exudation over four levels of lobile phosphorus. Plant. Soil. 105, 11-17.
- 8- Moalem, A.H., Eshghizade, H.R., 2007. Application of biological fertilizers: benefits and limitations. In: Second National Congress of Ecological Agriculture, Iran, Gorgan, pp: 47. (In Persian with English summary).
- 9- Pamella, A.C., Steven, S.H., 1982. Inorganic phosphate solubilization by rhizosphere in a zosteria marin community. Can. J. Microbiol. 28, 605 – 610.
- 10- Patidar, M., 2001. Integrated nutrient management in sorghum (*Sorghum biclor*) and its residue effect on wheat (*Triticum aestivum*). Indian. J. Agr. Sci. 71, 587 – 590.
- 11- Poudel, D.D., Hoawath, W.R., Lanini, W.T., Temple, S.R. Van Bruggen, A.H.C., 2002. Comparison of soil N availability and conventional farming systems in northern California. Agr. Ecosyst. Environ. 90, 125-137.
- 12- Rasouli Sadaghiani, M.H., Khavazi, K., Rahimian, H., Malakouti, M.J., Asadi rhamani, H., 2006. An Evaluation of the potentials of indigenous Fluorescent Pseudomonads of wheat rhizosphere for producing siderophore. J. Soil. Water. Sci. 20, 134-143.
- 13- Saleh-Rastin, N., 2001. Biological fertilizers and their roles on sustainable agriculture.
- 14- Emergency of production biological fertilizers in Iran. Educational Agriculture press. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Karaj, Iran. (In Persian with English summary).
- 15- Saleh-Rastin, N., 2005. Sustainable management from viewpoint of soil biology. Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO). Agricultural Ministry, Tehran, Iran. (In Persian with English summary).
- 16- Redy, N.R.N., Ahlawat, I.P.S., 1998. Response of (*Cicer arietinum*) genotypes to irrigation and fertilizers under Late-sow conditions. Indian. J. Agron. 7, 95-101.
- 17- Reyes, I., Brnir, L., Simard, R., Antoun, H., 1999. Characterstic of phosphate solubilization by an isolate of a tropical penicillium regulusum and uv-induced mutants. FEMS. Microbiol. Ecol. 23, 291-295.
- 18- Shah, P., Kakar, K.M., Zaha, K., 2001. Phosphorus use efficiency of Soybean as effected by Phosphorus application and Inoculation. Plant Nutrition Food Security and Sustainability of Agro Ecosystem. 92, 670-671.
- 19- Sharma, A.K., 2002. Bifertilizers for sustainable agriculture. Agrobios Indian Publications. 456.
- 20- Sharma, S., Prasad, N.R., 2003. Yield and P uptake by rice and wheat grown in a sequence as influenced by phosphate fertilization with diammonium phosphate and Mussoorie rock phosphate with or without crop residues and phosphate solubilizing bacteria. J. Agr. Sci. 141, 359-369.
- 21- Tohidi-Moghadam, H.R., Nassiri, M., Zahedi, H., Hamidi, A., Sharghi, Y., 2007. Application of phosphorus fertilization with phosphate solubilizing bacteria in variety of grain maize. In: Second National Congress of Ecological Agriculture, Iran, Gorgan, pp: 94. (In Persian with English summary).
- 22- Vazques, P., Holguin, G., Puente, M.E., 2000. Phosphate solubilizing micro organism associated with the rizosphere of mangroves in semi arid coastallagoon. Biol. Fert. Soils. 30, 460-468.

- 23- Wagar, A., Shahroona, B., Zahir, Z.A., Arshad, M., 2004. Inoculation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Pak. J. Agric. 41, 119-124.
- 24- Whitelaw, M.A., Harden, T.Y. Bender, G.L., 1999. Plant growth promotion of wheat inoculated with *penicillium radicum* sp. Nov. Aust. J. Soil. Res. 38, 291-300.
- 25- Zabihi, H.R., Savagebi, G.R., Khavazi, K., Ganjali, A., 2009. Responses of wheat growth and yield to application of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of phosphorus fertilization. Iran. J. Field. Crop. Res. 7, 41-51. (In Persian with English summary).

Evaluating the effect of some *Pesodomonas* bacteria strains on wheat yield and its components at various levels of phosphorus fertilization

S. Rezvan Beidokhti*, A. Dashtban, M. Kafi and S. Sanjani¹

Abstract

Application of biofertilizers, especially plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) is one of the most important strategies for plant nutrition compared to chemical fertilizers, especially in sustainable management of agroecosystems. In order to evaluate the effect of *Pesodomonas* bacteria strains and chemical phosphate fertilizer on yield and yield components of wheat the Kavir cultivar an experiment was conducted in experimental farm of the Agriculture Faculty of Azad University of Damghan. The treatments were arranged as split plots and were evaluated in a complete randomized block design with three replications. The chemical phosphate fertilizer levels of P₀ (control), P₁ (60 Kg/ha), P₂ (90 Kg/ha), P₃ (120 Kg/ha) and P₄ (150 Kg/ha) of super phosphate triple were allocated to the main plots. While the different bacteria strains of *Pseudomonas putida* 21 (S₁), *Pseudomonas putida* 158 (S₂), *Pseudomonas fluorescens* 168 (S₃) and non-inoculation control (S₀) were allocated to the sub plots. The results of the experiment indicated that the highest grain yield of 7633 Kg/ha was obtained with application of 90 kg/ha of phosphorus fertilizer accompanied with S₃ bacteria (strain No.168). The *Pseudomonas fluorescens*168 demonstrated a remarkable efficiency in dry matter and grain production in wheat with no chemical phosphate application.

Keywords: *Pseudomonas* bacteria, Super phosphate triple, *Triticum aestivum*, yield

1- A Contribution from Islamic Azad University of Damghan and Ferdowsi University of Mashhad
(* - Corresponding author Email: sharamrezvan@yahoo.com)