دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دهم، شماره اول، بهار و تابستان 99

اثر تلقیح بذر با باکتری حل‌کننده فسفات بر عملکرد و رشد باقلا (*Vicia faba* L.) در مقادیر مختلف کود فسفر

پیمان شریفی[1*]، زینب مقبول‌کردار[2]

1- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
2- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: peyman.sharifi@gmail.com

(تاریخ دریافت: 10 دی ماه 1398؛ تاریخ پذیرش 17 شهریورماه 1399)

چکیده

این پژوهش در سال زراعی 96-1395، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در رشت انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سودوموناس فلورسنت در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) و کود فسفاته از منبع سوپر فسفات تریپل در شش سطح (بدون مصرف کود، 30، 60، 90، 120 و 150 کیلوگرم در هکتار) بودند. اثر سودوموناس بر طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه خشک، شاخص برداشت و محتوی فسفر دانه و اثر کود فسفاته بر تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه خشک، محتوی فسفر دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود ($P\leq 0.01$). برهمکنش دو فاکتور بر تمام صفات به‌جز شاخص برداشت معنی‌دار بود ($P\leq 0.01$). بیشترین مقدار محتوی فسفر دانه (355 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ترکیب تیماری تلقیح با سودوموناس و استفاده از 150 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار حاصل شد. عملکرد دانه در ترکیب کودی تلقیح با سودوموناس و استفاده از 90 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار برابر با 3893/3 کیلوگرم در هکتار بود که اختلاف معنی‌داری با 120 و 150 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار و در شرایط تلقیح با سودوموناس نداشت. این ترکیب کودی سبب افزایش 38 درصدی عملکرد دانه در مقایسه با عدم تلقیح و مصرف 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار شد. درمجموع، مصرف 90 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار و تلقیح با سودوموناس می‌تواند منجر به حصول به پتانسیل عملکرد دانه، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و صرفه‌جویی در مصرف کود فسفاته گردد.

واژه‌های کلیدی: سودوموناس فلورسنت، محتوی فسفر دانه، کود زیستی، کود فسفاته، ریز جانداران.

مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) گیاهی یکساله پاییزه است که در نواحی گرمسیری و نمیه‌گرمسیری با اهداف تهیه غذا و علوفه، تثبیت نیتروژن و کود سبز کاشته می‌شود (29). در ایران باقلا در 36000 هکتار از اراضی در استان‌های گرگان، خوزستان، لرستان، گیلان، مازندران و هرمزگان کشت می‌شود و متوسط عملکرد آن 4000-2000 کیلوگرم در هکتار بذر خشک و حدود 8 تن در هکتار غلاف سبز است (16).

فسفریکی از عناصر ضروری برای محصولات کشاورزی است که کمبود آن‌یکی از مشکلات عمده کشاورزی است و به فراهم‌سازی آن برای گیاهان نیاز است (11). تورک و تاواها (29) نشان دادند که حداکثر عملکرد باقلا با مصرف 52/5 کیلوگرم در هکتار فسفات حاصل شد. اثر مثبت کودهای فسفاته بر رشد و عملکرد غلاف و دانه در باقلا (11)، نخودفرنگی (25) و لوبیا سبز (22) نیز گزارش‌شده است. با توجه به اینکه هنگام اضافه شدن کود فسفاته به خاک، فسفر به‌سرعت با اجزای خاک واکنش می‌دهد و جذب سطحی ذرات خاک می‌شود، بیشتر خاک‌های کشاورزی حاوی ذخیره‌های کلی فسفر هستند، اما تثبیت شدن و رسوب آن باعث کمبود یا ناکارآمدی فسفر می‌شود و جذب فسفر توسط گیاه سخت می‌شود (31). مدیریت نامناسب و استفاده مفرط از کودهای معدنی ازجمله کودهای فسفاته سبب کاهش مواد آلی خاک می‌شود و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و فرسایش خاک افزایش می‌یابد (14). بنابراین با توجه به غلظت بسیار کم فسفر در محلول خاک نیاز است که فسفات‌های آلی و بسیار کم‌محلول به فسفات‌های محلول تبدیل گردند که در این مورد میکروارگانیسم‌ها می‌توانند نقش مهمی را ایفا نمایند. ازاین‌رو، در حال حاضر، در سیستم‌های کشاورزی پایدار، کودهای زیستی به‌عنوان مکمل برای کودهای شیمیایی هستند که سبب افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش اثرات مخرب کودهای شیمیایی می‌شوند (27). کودهای زیستی شامل انواع مختلفی از ریز جانداران آزادزی (باکتری‌ها و قارچ‌های مفید حل‌کننده فسفات) هستند که معمولاً با اسیدی کردن خاک و یا ترشح آنزیم‌های فسفاتاز و رهاسازی یون فسفات از ترکیبات معدنی شده، توانایی تبدیل فرم غیرقابل استفاده عناصر را به فرم قابل‌استفاده دارند و فاکتورهای محرک رشد گیاه را از طریق فرآیندهای بیولوژیکی تولید می‌کنند (15). باکتری‌های جنس سودوموناس[1]به‌طور گسترده‌ای در خاک توزیع‌شده‌اند و می‌توانند در ریزوسفر گیاهان کلونیزه شوند و برای تولید متابولیت‌های مختلف به کار گرفته شوند (24). توانایی سودوموناس برای حل کردن فسفر خاک موجب افزایش عملکرد، پارامترهای رشد و جذب فسفر در گیاهان می‌شود (12). مطالعات متعددی درزمینهٔ بررسی اثر کودهای شیمیایی همانند فسفات در حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات[2]و یا سایر کودهای زیستی در حبوبات مختلف ازجمله باقلا انجام پذیرفته است. رضایی چیانه و همکاران (2) با بررسی اثر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی‌بر عملکرد کمی و کیفی نخود نشان داد که تیمارها اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه درنیام، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه داشتند، ولی بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری نداشتند. کاربرد تلفیقی سبب بهبود اجزای عملکرد، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد گردید و بیشترین عملکرد دانه در تیمار 50٪ کود شیمیایی + کود زیستی +کود دامی به دست آمد. منصورقناعی پاشاکی و همکاران (5) در تحقیقی با بررسی اثر کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و کودهای زیستی ریزوبیوم، باسیلوس و سودوموناس نشان دادند که برهمکنش کود زیستی در فسفر بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه لوبیا

[1] . *Pseudomonas*

[2] . Phosphate Solubilizing Bacteria, PDB

معنی‌دار بود. رضا پور کویشاهی و همکاران (3) اثر برخی سویه‌های باکتری حل‌کنندهٔ فسفات را بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی مهم لوبیای محلی گیلان در مقادیر مختلف کود فسفاته بررسی کردند و نشان دادند که برهمکنش کود و باکتری بر وزن صد دانه، محتوای پروتئین دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و شاخص برداشت لوبیا معنی‌دار بود. ذرشین زنوش و همکاران (1) نشان دادند که برهمکنش پرایمینگ شیمیایی و زیستی توسط تلقیح باکتریایی بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد غلاف سبز و عملکرد و پروتئین دانه معنی‌دار بود. همچنین ال-گیزاوی و مِحاسن (15) نشان دادند که تلفیق 30 کیلوگرم در هکتار P_2O_5 و باکتری حل‌کننده فسفات سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه و غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و درصد فسفر دانه باقلا شد. صابری و همکاران (4) نشان دادند که امکان تلفیق کودهای زیستی فسفر (سودوموناس و باسیلوس) با 50 درصد کود فسفر شیمیایی برای تأمین فسفر موردنیاز لوبیای محلی گیلان جهت نیل به حداکثر عملکرد دانه وجود دارد. علاوه بر موارد فوق اثر مثبت کودهای فسفاته بر رشد و عملکرد غلاف و دانه در شرایط استفاده از سودوموناس و یا سایر کودهای زیستی در لوبیا (21، 22، 23) و باقلا (26) نیز گزارش‌شده است.

با توجه به سطح زیر کشت باقلا در استان گیلان، این آزمایش باهدف ارزیابی اثر سطوح کود فسفاته در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری سودوموناس بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی باقلا در رشت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی 96-1395 در رشت به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی رقم باقلای برکت انجام شد. عملیات کاشت در آذر 1395 انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود شیمیایی فسفاته از منبع سوپرفسفات تریپل (19/8 فسفر) در شش سطح (،بدون کود،30، 60، 90، 120 و 150 کیلوگرم در هکتار) و باکتری سودوموناس فلورسنت[3]در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) بود. باکتری سودوموناس فلورسنت از بانک میکروبی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. عمل تلقیح بذور با باکتری در ساعات اولیه روز کاشت انجام شد. بدین ترتیب که پس از مخلوط کردن بذور با صمغ عربی، هفت گرم از هر باکتری به ازای یک کیلوگرم بذر (طبق توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب) به بذور اضافه شد (هر گرم باکتری، حاوی 10^7 باکتری زنده بود). پس از تلقیح بذور و خشک‌کردن در سایه، عملیات کاشت صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک در محل آزمایش در جدول 1 ارائه‌شده است.

[3] . *Pseudomonas fluorescent*

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک آزمایش (سانتی‌متر)	0- 30
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	0/72
اسیدیته گل اشباع (اسیدیته)	7/45
کربن آلی (درصد)	0/38
نیتروژن کل (درصد)	0/04
فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	6/6
پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	140
درصد شن	54
درصد سیلت	28
درصد رس	18
بافت خاک	لومی-شنی

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و صاف کردن زمین قبل از اجرای آزمایش صورت گرفت. پس از آماده‌سازی زمین اقدام به ایجاد پشته‌هایی به فواصل 40 سانتی‌متر از یکدیگر گردید و نقشه طرح پیاده شد. بذور هر یک از ژنوتیپ‌ها در چهار خط به طول چهار متر و بافاصله 50 سانتی‌متر از یکدیگر کشت شدند. فواصل بوته‌ها درروی ردیف 20 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوران رشد و نمو، مراقبت‌های زراعی معمول شامل کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها انجام شد. برای تأمین عناصر فسفر و پتاسیم به ترتیب کودهای سوپر فسفات تریپل (در آخرین مرحله تسطیح زمین) و سولفات پتاسیم (50 درصد در آخرین مرحله تسطیح زمین و قبل از کاشت و 50 درصد در مرحله ایجاد شاخه فرعی) به میزان 100 کیلوگرم در هکتار به خاک مزرعه اضافه گردید. کود نیتروژن (اوره) به‌صورت استارتر و به میزان 50 کیلوگرم در هکتار با توزین دقیق به هرکدام از کرت‌ها اختصاص داده شد.کاشت به‌صورت دیم انجام پذیرفت.

در نیمه دوم اردیبهشت و انتهای فصل رشد، پس از رسیدگی فیزیولوژیک و حذف نیم متر ابتدا و انتهای خطوط کشت در هر کرت و ردیف‌های کشت ابتدایی و انتهایی هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، صفات زیر در کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شدند. صفت ارتفاع گیاه از سطح زمین تا انتهای بوته بر روی 10 بوته قبل از رسیدگی اندازه‌گیری شد. صفت تعداد غلاف در بوته بر روی 10 بوته قبل از رسیدگی شمارش شد. تعداد دانه در غلاف در 10 بوته تصادفی هر کرت آزمایشی شمارش شد. وزن صد دانه با استفاده از توزین 100 دانه اندازه‌گیری شد. برداشت از اوایل خرداد انجام پذیرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیک از یک مترمربع از هر کرت، بوته‌ها انتخاب، از سطح خاک برداشت و با ترازوی دیجیتال توزین شدند و به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شدند. طول غلاف از 10 غلاف انتخاب شده در هر بوته برحسب سانتی‌متر اندازه گرفته شد. برای محاسبه عملکرد دانه از سطحی به مساحت دو مترمربع بوته‌ها برداشت و وزن دانه‌ها و میزان رطوبت آنها تعیین و مقادیر عملکرد دانه بر مبنای رطوبت 13 درصد تعیین گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه خشک به عملکرد کل ماده خشک بوته تعیین گردید (28). برای برآورد درصد فسفر موجود در بذر، 100 گرم بذر از هر تیمار توزین و شستشو شد و سپس در آون با دمای 72 درجه سانتی‌گراد (به مدت 72 ساعت) خشک گردید. پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها، درصد فسفر دانه با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گرفته شد (19).

بعد از واردکردن داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آنها، تجزیه واریانس انجام گرفت. از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) جهت مقایسه میانگین فاکتورها استفاده شد. نرم‌افزار SAS9.2 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر باکتری سودوموناس بر صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و محتوی فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 2).

اثر کود فسفاته نیز بر صفات تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، محتوی فسفر دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش دو فاکتور بر تمام صفات موردمطالعه به‌جز شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول 2). لذا با توجه به این نتایج اقدام به بررسی اثر ساده کود فسفاته در هر سطح سودوموناس و همچنین اثر ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته برای صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و محتوی فسفر دانه گردید. برای شاخص برداشت اثر اصلی سودوموناس و کود فسفاته بررسی شدند.

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که در شرایط تلقیح، بین سطوح مختلف کود فسفاته ازنظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بااین‌وجود در این شرایط، کمترین میزان ارتفاع بوته در شرایط عدم استفاده از کود فسفاته مشاهده شد و با افزایش کود فسفاته تا 150 کیلوگرم در هکتار بر میزان ارتفاع بوته افزوده شد. در شرایط تلقیح، کمترین میزان ارتفاع بوته در شرایط عدم استفاده از کود فسفاته مشاهده شد و با افزایش کود فسفاته تا 90 کیلوگرم در هکتار بر میزان ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری افزوده شد، به‌نحوی‌که بیشترین ارتفاع بوته در شرایط استفاده از کود فسفاته به میزان 90 کیلوگرم در هکتار حاصل شد و ازآن‌پس افزایش کود فسفاته سبب کاهش ارتفاع بوته شد. بین تمام سطوح مصرف کود فسفاته اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. (جدول 3).

ارتفاع بوته عاملی اثرگذار بر عملکرد دانه است، زیرا ساقه در طی رشد، قسمت اعظمی از مواد فتوسنتزی برگ‌ها را که ممکن است از راه‌های مختلف برای اندام‌های زایشی به مصرف برسد، در خود ذخیره کرده و همچنین به‌عنوان منبعی از کربوهیدرات و نیتروژن است که در طی مرحله پر شدن دانه به دانه منتقل می‌شوند (9). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، کاظمی پشت‌مساری و همکاران (5) و تارک و تاواها (29) اظهار داشتند که با افزایش مقدار کود فسفرِ بر ارتفاع بوته باقلا افزوده می‌شود.

جدول 2- تجزیه واریانس اثر کود فسفاته و تلقیح با سودوموناس بر ویژگی‌های رشد و عملکرد باقلا

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	طول غلاف	وزن صد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	محتوی فسفر دانه
تکرار	2	19/32^{ns}	0/12^{ns}	0/03^{ns}	5/81**	95/02^{ns}	3658^{ns}	500269^{ns}	0/0004^{ns}	1145^{ns}
سودوموناس	1	34/8^{ns}	3/36**	0/90**	8/31**	4147/36**	3276100**	88011^{ns}	0/0200**	2534**
کود فسفاته (P)	5	48/58^{ns}	0/25^{ns}	0/52**	0/67^{ns}	563/64**	1417268**	1572204^{ns}	0/0059**	3275**
کود فسفاته x سودوموناس	5	64/59*	2/99**	0/49**	9/19**	283/23*	215333**	7070731**	0/0008^{ns}	4581**
خطا	22	20/38	0/18	0/07	0/99	73/9	46158	645896	0/0005	475
ضریب تغییرات	-	8/00	8/63	7/23	5/65	6/82	6/61	6/14	9/18	5/83

ns، * و :** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول 3- اثر ساده کود فسفاته در هر سطح سودوموناس بر صفات موردمطالعه

سودوموناس	کود فسفاته (P)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	طول غلاف (سانتی‌متر)	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	فسفر دانه (میلی‌گرم در کیلوگرم)
عدم تلقیح	بدون کود	53/23^{a}	3/27^{c}	2/93^{c}	15/20^{c}	110/17^{b}	2536/7^{c}	11483/3^{c}	245^{d}
	30	54/50^{a}	4/93^{b}	3/47^{c}	17/87^{ab}	113/65^{b}	2646/7^{c}	12263/3^{bc}	305^{c}
	60	57/73^{a}	5/43^{a}	3/93^{abc}	18/57^{a}	118/01^{ab}	2683/3^{c}	12906/7^{ab}	311^{bc}
	90	59/63^{a}	4/53^{b}	3/90^{abc}	17/47^{ab}	122/02^{ab}	2826/7^{c}	13556/7^{ab}	315^{bc}
	120	59/53^{a}	4/97^{b}	4/33^{a}	16/80^{b}	130/38^{a}	3203/3^{b}	13853/3^{ab}	336^{ab}
	150	59/72^{a}	4/47^{b}	4/03^{ab}	16/80^{b}	118/51^{ab}	3773/3^{a}	14143/3^{a}	349^{a}
	LSD (5%)	9/25	0/67	0/56	1/38	16/54	310/7	1500/5	25/41
تلقیح	بدون کود	53/83^{b}	4/23^{b}	3/13^{c}	15/73^{c}	123/92^{c}	2833/3^{d}	11546/7^{d}	294^{c}
	30	56/67^{ab}	5/90^{a}	3/50^{bc}	19/40^{a}	124/95^{c}	3226/7^{dc}	12370/0^{cd}	318^{bc}
	60	60/20^{a}	5/93^{a}	3/57^{b}	19/23^{a}	136/43^{bc}	3233/2^{dc}	13356/7^{bc}	322^{bc}
	90	61/03^{a}	5/67^{a}	3/73^{b}	18/27^{ab}	143/07^{b}	3893/3^{ab}	13763/3^{b}	332^{ab}
	120	55/60^{ab}	5/43^{a}	4/30^{a}	18/67^{ab}	149/18^{ab}	4336/7^{a}	15403/3^{a}	355^{a}
	150	54/23^{ab}	5/07^{ab}	3/60^{b}	17/17^{bc}	163/36^{a}	3986/7^{ab}	12420/0^{cd}	358^{a}
	LSD (5%)	6/19	0/89	0/37	1/82	14/96	489/0	1257/3	29/53

میانگین‌هایی که در هر ستون مربوط به هرکدام از سطوح باکتری سودوموناس، حروف مشترک دارند، دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نیستند

تعداد دانه در غلاف

در شرایط عدم تلقیح، بیشترین تعداد دانه در غلاف با مصرف 60 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته حاصل شد و کمترین میزان این صفت نیز مربوط به عدم استفاده از کود فسفاته بود. در شرایط تلقیح بذور با باکتری سودوموناس نیز چنین روندی وجود داشت، به‌طوری‌که کمترین تعداد دانه در غلاف در شرایط عدم استفاده از کود فسفاته و بیشترین تعداد آن با استفاده از 60 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته تولید شد که با سطوح 30، 90 و 120 کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 3). در این راستا، والویو (32) نشان داد که سطوح بالای فسفر، به دلیل مقدار فسفر محلول بالاتر باعث افزایش تثبیت و فعالیت بیولوژیک نیتروژن شده و درنتیجه میزان جذب نیتروژن را افزایش داده و موجب افزایش تعداد دانه در گیاه سویا می‌گردد. کاهش تعداد دانه در غلاف در تیمار فاقد فسفر به کاهش هورمون سیتوکنین در این تیمارها نسبت داده شده است (18). همچنین اظهارشده است که باوجودآنکه تعداد دانه در غلاف تحت کنترل ساختار ژنتیکی می‌باشد، ولی عوامل بهزراعی و محیطی همچون فراهم بودن عناصر غذایی، میزان دی‌اکسید کربن هوا و ... بر روی این صفت اثر می‌گذارند، اگرچه این تغییرات جزئی است، اما سهم نسبتاً مهمی در میزان عملکرد دانه دارد (13).

بررسی اثر ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته نیز نشان داد که در تمام سطوح کود فسفاته، تلقیح بذور سبب افزایش تعداد دانه در غلاف گردید (جدول 4). در تطابق با این نتیجه اثر مثبت باکتری سودوموناس و سایر میکروارگانیسم‌ها بر تعداد دانه در غلاف نخود (2)، لوبیا (3، 6، 22) و باقلا (1) نیز گزارش‌شده است.

تعداد غلاف در بوته

در شرایط عدم تلقیح، کمترین تعداد غلاف در بوته در شرایط عدم استفاده از کود فسفاته و بیشترین تعداد آن با استفاده از کود فسفاته به میزان 120 کیلوگرم در هکتار حاصل گردید و با افزایش بیشتر کود فسفاته تا 150 کیلوگرم در هکتار از تعداد غلاف در بوته کاسته شد، هرچند با 120 کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌دار نداشت. در شرایط تلقیح بذور با باکتری نیز کمترین و بیشترین تعداد غلاف در بوته به ترتیب در شرایط عدم استفاده از کود فسفاته و مصرف 120 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار حاصل شد که با 150 کیلوگرم در هکتار نیز اختلاف معنی‌دار داشت (جدول 3).

در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، تورک و تاواها (29) نشان دادند که تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر تیمار کود فسفاته قرار می‌گیرد. همچنین کاظمی پشت‌مساری و همکاران (5) مقدار 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته را به‌عنوان مقدار مناسب برای حصول حداکثر تعداد غلاف در بوته گزارش کرد. این نتایج نشان می‌دهد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات در سطوح متوسط مصرف فسفر معدنی به‌مراتب بیش از مصرف سطوح بالای فسفر بر تعداد غلاف در بوته تأثیر می‌گذارد. دلایل این تأثیر علاوه بر توانایی این ریز جانداران در انحلال فسفات‌های نامحلول خاک، می‌تواند مربوط به سایر توانایی‌های این باکتری‌ها نظیر سنتز هورمون‌های محرک رشد مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و همچنین سنتز ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه نیز باشد (20). بررسی اثر ساده باکتری در هر سطح کود فسفاته نشان داد که در سطوح بدون کود و 30 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار تلقیح بذور سبب افزایش تعداد غلاف در بوته گردید (جدول 4). این نتیجه در تطابق با یافته‌های سایر محققین در نخود (2)، لوبیا (3، 6) و باقلا (1، 15) است که نشان دادند استفاده از کود زیستی

یا تلقیح بذور با باکتری‌های حل‌کننده فسفات نظیر سویه‌های مختلف سودوموناس سبب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد.

طول غلاف

بررسی اثرات ساده کود فسفاته در هر سطح باکتری سودوموناس نشان داد که در شرایط عدم تلقیح، کمترین میزان طول غلاف در شرایط عدم مصرف کود فسفاته و بیشترین میزان آن با استفاده از 60 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته حاصل شد که با سطح 90 کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت، اما کاربرد بیشتر کود فسفاته سبب کاهش معنی‌دار طول غلاف گردید. همچنین در شرایط تلقیح با باکتری نیز کمترین میزان طول غلاف در شرایط عدم استفاده از کود شیمیایی و بیشترین میزان آن با مصرف 30 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار حاصل شد که با سطوح 60، 90 و 120 کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 3). این نتایج با یافته‌های تورک و تاواها (29) و کاظمی پشت‌مساری و همکاران (6) مطابقت می‌کند. بررسی اثرات ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته نشان داد که در تمام سطوح کود فسفاته، تلقیح بذور سبب افزایش طول غلاف در مقایسه با شرایط عدم تلقیح شد (جدول 4).

جدول 4- اثر ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته بر صفات موردمطالعه

کود فسفاته (P)	سودوموناس	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	طول غلاف (سانتی‌متر)	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک(کیلوگرم در هکتار)	فسفر دانه (میلی‌گرم در کیلوگرم)
0	عدم تلقیح	53/23	3/27	2/93	15/20	110/17	2536/7	11483/3	245
	تلقیح	53/83	4/23	3/13	15/73	123/92	2833/3	11546/7	294
	LSD 5%	7/34	1/08	0/74	1/94	27/11	573/1	2885/5	23/71
30	عدم تلقیح	54/50	4/93	3/47	17/87	113/65	2646/7	12263/3	305
	تلقیح	56/67	5/90	3/50	19/40	124/95	3226/7	12370/0	318
	LSD 5%	10/62	0/28	1/12	1/51	28/43	839/1	1499/6	9/75
60	عدم تلقیح	57/73	5/43	3/93	18/57	118/01	2683/3	12906/7	311
	تلقیح	60/20	5/93	3/57	19/23	136/43	3233/2	13356/7	322
	LSD 5%	11/31	2/3	0/49	4/77	17/04	298/1	3767/7	8/91
90	عدم تلقیح	59/63	4/53	3/90	17/47	122/02	2826/7	13556/7	315
	تلقیح	61/03	5/67	3/73	18/27	143/07	3893/3	13763/3	332
	LSD 5%	19/7	1/72	0/75	3/25	9/12	624/7	1468/2	12/5
120	عدم تلقیح	59/53	4/97	4/33	16/80	130/38	3203/3	13853/3	336
	تلقیح	55/60	5/43	4/30	18/67	149/18	4336/7	15403/3	355
	LSD 5%	7/80	1/31	0/14	5/22	35/45	396/1	1624/4	17/65
150	عدم تلقیح	59/72	4/47	4/03	16/80	118/51	3773/3	14143/3	349
	تلقیح	54/23	5/07	3/60	17/17	163/36	3986/7	12420/0	358
	LSD 5%	16/92	1/13	1/74	2/99	26/82	522/4	4221/0	12/81

وزن صد دانه

در شرایط عدم تلقیح، حداکثر میزان وزن صد دانه با استفاده از 120 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار حاصل شد که با سطوح 60، 90 و 150 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تلقیح با سودوموناس نیز با افزایش کود فسفاته بر میزان وزن صد دانه افزوده شد، به‌طوری‌که کمترین میزان آن در شرایط شاهد و بیشترین میزان آن در سطح 150 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار حاصل شد که با سطح 120 کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 3). در راستای نقش مثبت کود فسفاته بر وزن صد دانه اظهار شده است که افزایش محتوای فسفر خاک به علت افزایش فسفر محلول نقش بسیار مهمی در جذب عناصری ازجمله فسفر، پتاسیم، منیزیوم و روی دارد و باعث اختصاص بیشتر مواد غذایی و مواد فتوسنتزی به بذر و درنتیجه بزرگتر شدن اندازه دانه می شود (11). بنابراین به نظر می‌رسد که قسمتی از افزایش وزن صد دانه در تحقیق حاضر می‌تواند به همین دلیل باشد. افزایش مقدار فسفر محلول، میزان ذخیره فیتین بذر را افزایش می‌دهد. فیتین منبع اصلی ذخیره فسفر در اکثر دانه‌ها و بذرها و ترکیب مهمی برای جوانه زدن و رشد دانه است و می‌تواند نقش مهمی در اندازه و وزن بذر داشته باشد (34).

بررسی اثرات ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته نیز نشان داد که در تمام سطوح کود فسفاته، تلقیح بذور با سودوموناس سبب افزایش معنی‌دار وزن صد دانه گردید (جدول 4). در تطابق با این نتیجه اثر مثبت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات در نخود (2)، لوبیا (3، 6) و باقلا (9) نیز گزارش‌شده است.

عملکرد دانه

بررسی اثر ساده کود شیمیایی فسفاته در هر سطح باکتری نشان داد که در شرایط عدم تلقیح، با افزایش مصرف کود فسفاته از صفر به 150 کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه به میزان 49 درصد افزایش یافت، به‌طوری‌که از 2536/7 کیلوگرم در هکتار به 3773/3 کیلوگرم در هکتار رسید. این نتایج همچنین نشان داد که در شرایط تلقیح، با افزایش مصرف کود فسفاته از صفر به 120 کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه به میزان 53 درصد افزایش یافت، به‌طوری‌که از 2833/3 کیلوگرم در هکتار (در شرایط عدم مصرف کود فسفاته) به 4336/7 کیلوگرم در هکتار رسید، اما ازآن‌پس با افزایش کود فسفاته از عملکرد دانه خشک کاسته شد، به‌طوری‌که افزایش مصرف کود فسفاته (150 کیلوگرم در هکتار) منجر به کاهش عملکرد دانه به میزان هشت درصد گردید. در شرایط تلقیح، اختلاف معنی‌داری بین سطوح 90 و 120 کیلوگرم در هکتار ازنظر آماری وجود نداشت. در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح، کمترین عملکرد دانه خشک مربوط به تیمار شاهد بود (جدول 3). در تطابق با این نتیجه، افزایش وزن خشک باقلا با افزایش فسفر خاک توسط سایر محققین گزارش‌شده است (26، 29). همچنین اثر مثبت کودهای فسفر بر عملکرد لوبیا (6، 7، 21، 22، 23)، نخودفرنگی (25)، لوبیا چشم‌بلبلی (30) و سویا (8) نیز گزارش‌شده است. در شرایط تلقیح با سودوموناس و استفاده از 90 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار عملکردی معادل 3893/3 کیلوگرم در هکتار حاصل شد که نسبت به تمام سطوح مصرف فسفر در شرایط عدم تلقیح بیشتر بود و با سطوح 120 و 150 کیلوگرم در هکتار فسفر و در شرایط تلقیح نیز اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 3). در تطابق با این نتیجه اظهار شده است که در دسترس بودن یون فسفات باعث مقاومت گیاه در برابر ورس، زودرسی محصول، کیفیت بالاتر، افزایش سرعت نمو گیاهان از سبز شدن تا آغازش گلدهی و گرده‌افشانی شده و درنتیجه عملکرد محصول افزایش می‌یابد (29). علاوه بر این، گزارش شده است

که تغذیه کافی گیاه با فسفر باعث استحکام بافت‌های گیاهی و برگ‌ها، به تعویق افتادن ریزش برگ‌ها، افزایش بقای برگ‌ها و حفظ شادابی آنها شده و با تداوم عمل فتوسنتز نقش بسزایی در افزایش عملکرد دانه‌دارند (11).

بررسی اثرات ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته نیز نشان داد که در تمام سطوح کود فسفاته، تلقیح بذور با سودوموناس سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه خشک گردید، به‌طوری‌که در شرایط تلقیح، در سطوح صفر، 30، 60، 90، 120 و 150 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته، عملکرد دانه به ترتیب به میزان 12، 22، 20، 38، 35 و 6 درصد در مقایسه با شرایط عدم تلقیح افزایش یافت (جدول 4). همان‌طور که ملاحظه می شود در مقادیر بالای فسفر (به‌خصوص 150 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته)، کارایی تلقیح با سودوموناس کاهش‌یافته و مقدار افزایش عملکرد دانه فقط 6 درصد بود. این نتیجه در تطابق با یافته یساری و همکاران (8) است که نشان دادند با مصرف فسفر و تلقیح باکتری، عملکرد دانه سویا روندی افزایشی پیدا نمود و حداکثر میزان عملکرد دانه تحت اثرات متقابل مصرف توأم فسفر و باکتری سودوموناس حاصل گشت، اما با مصرف سطوح بالاتر فسفر و باکتری، عملکرد دانه روندی کاهشی پیدا کرد. در توجیه این پدیده اظهار شده است که مقادیر بالای فسفر چون جذب و انتقال عناصر ریزمغذی توسط گیاه را با مشکل مواجه می‌کند، باعث بروز مسائلی چون تشدید کمبود عناصر کم‌مصرف می‌گردد که نشان‌دهنده اثرات آنتاگونیستی مصرف باکتری و سطوح بالای فسفر است (7). از طرفی، تلقیح بذور با باکتری بدون استفاده از کودهای شیمیایی باوجود افزایش عملکرد دانه خشک (12 در صد)، قابل‌مقایسه با سطوح بالاتر کود فسفاته (22، 20، 38 و 35 در صد برای مقادیر 30، 60، 90 و 120 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار) نبود. در این راستا اظهارشده است که استفاده باکتری به‌تنهایی و بدون مقادیر محرک از کودهای شیمیایی از کارایی کمتری برخوردار بود (14). نتایج تحقیقات سایر محققین نیز در خصوص کارایی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، نشان‌دهنده نقش مؤثر آنها در افزایش عملکرد باقلا (1، 15، 19)، ذرت (17)، نخود (2)، سویا (10)، نخودفرنگی (25) و لوبیا (3،6،21، 22، 23) است.

باکتری‌های حل‌کننده فسفات با اسیدی کردن خاک و ترش آنزیم فسفات از باعث رهاسازی یون‌های فسفات از ترکیبات آن می‌گردد که این یون‌ها توسط گیاه قابل‌جذب می‌باشند (9). همچنین این باکتری‌ها به دلیل تأثیر هم‌افزایی (سینرژیسم) با فسفر، تا مقدار معینی از آن و نه بیشتر از آن، موجب افزایش رشد و جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، درصد کلونیزه شده ریشه و سطح تماس ریشه با خاک می شوند و بدین ترتیب می‌توانند موجبات افزایش عملکرد گیاهان را فراهم آورند (12). این باکتری ها متابولیک های متعددی ازجمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و ویتامین‌ها را در خاک تولید می‌نمایند که بر رشد گیاهان و همچنین سایر ریز جانداران موجود در خاک تأثیر می گذارند. علاوه بر موارد فوق، فراهمی عناصر ریزمغذی، افزایش قابلیت دسترسی به فسفر خاک و نیتروژن معدنی (19)، کمک به جذب سایر عناصر و بهبود ساختمان خاک (10) نیز از پیامدهای مثبت استفاده از باکتری‌های مذکور می‌باشد. همچنین توانایی افزایش عملکرد دانه ممکن است با توجه به توانایی میکروارگانیسم‌ها برای تولید بعضی از تنظیم‌کننده‌های رشد باشد که نقش مهمی در رشد گیاه از طریق بهبود فتوسنتز، جابجایی و ذخیره مواد خشک در اندام‌های مختلف گیاهی دارند (14). از طرفی، تثبیت کودهای شیمیایی فسفرِ تحت شرایط موجود در خاک و تبدیل آن به فرم‌های غیر محلول مشکل جدی محسوب می‌گردد (15) که باکتری‌های حل‌کننده فسفات در تلفیق با میزان مناسب کود فسفر با رهاسازی تدریجی فسفر و تبدیل آن به شکل قابل‌جذب گیاه، نیاز به کودهای شیمیایی فسفاته را کاسته و کارایی آنها را بالا می‌برند. درواقع میکروارگانیسم‌ها با استقرار در منطقه ریزوسفر از ترشحات ریشه استفاده نموده و با تغییر pHمحیط یا ترشح آنزیم‌ها شرایط را برای تبدیل فسفر نامحلول به شکل قابل‌استفاده فراهم می‌سازند (30).

عملکرد بیولوژیک

بررسی اثر ساده کود شیمیایی فسفاته در هر سطح باکتری سودوموناس نشان داد که در شرایط عدم تلقیح بذور با باکتری با افزایش کود فسفاته بر میزان عملکرد بیولوژیک به‌صورت معنی‌داری افزوده شد، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین میزان آن به ترتیب در سطوح 0 و 150 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته تولید شد. بین سطوح 60، 90، 120 و 150 کیلوگرم در هکتار ازنظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تلقیح با باکتری نیز با افزایش کود فسفاته تا 120 کیلوگرم در هکتار بر عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری افزوده شد، به‌طوری‌که کمترین میزان آن در سطح صفر و بیشترین میزان آن با استفاده از 120 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته حاصل شد (جدول 3). باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند به جذب بیشتر نیتروژن و فسفر توسط گیاه کمک کنند. بنابراین، با توجه به اثر مثبت نیتروژن و فسفر در عملکرد زیستی و تشکیل گل و دانه‌بندی، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین فسفر کافی برای گیاه، یکی از راهکارهای افزایش عملکرد زیستی محسوب شده و دلیل دیگر را می‌توان به نقش بسیار مهم فسفر در تأمین انرژی در ساختار ATP دانست، زیرا برای تثبیت نیتروژن انرژی زیادی موردنیاز است (18).

بررسی اثرات ساده سودوموناس در هر سطح کود فسفاته نشان داد که در سطوح 0، 30، 60، 90 و 120 کیلوگرم در هکتار کود فسفاته، تلقیح بذور با سودوموناس سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در واحد سطح گردید (جدول 4). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، افزایش عملکرد بیولوژیک در باقلا (19) و نخود (2) با کاربرد قارچ‌های حل‌کننده فسفر و سطوح فسفر معدنی گزارش شده است که این افزایش می‌تواند به خاطر افزایش فعالیت متابولیکی فسفر در گیاه باشد. در ارتباط با نقش مثبت باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش‌شده است که این باکتری‌ها با سنتز هورمون‌های گیاهی باعث افزایش رشد گیاه شده و مراحل اولیه رشد گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و درنتیجه ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کند و سطح جذب فسفر افزایش می‌یابد (10). همچنین اظهارشده است که استفاده از میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، صفات فیزیولوژیکی گیاهان را از طریق افزایش میزان مواد فتوسنتزی، تغییر در جریان مواد فتوسنتزی در ساقه و ریشه‌ها و نیز تأثیر برجذب مواد معدنی تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث جذب بیشتر از طریق ریشه‌ها، فتوسنتز بالاتر و به دنبال آن افزایش وزن بیولوژیک گیاه می‌گردد (20). در شرایط کمبود فسفر و در سطوح پایین فسفر محلول، افزایش فعالیت هورمون‌هایی مانند اتیلن باعث ممانعت از رشد و توسعه اندام‌های هوایی گیاه و کاهش فعالیت هورمون‌هایی مانند سیتوکنین می‌شود که نقش حیاتی در تقسیم و توسعه سلولی در مناطق مریستمی دارند. ولی در شرایط فراهمی فسفر، فعالیت سیتوکنین افزایش‌یافته و موجب رشد اندام‌های گیاهی، تقویت رشد اندام‌های زایشی و درنتیجه حصول عملکرد زیستی مطلوب می‌شود (33).

شاخص برداشت

بررسی اثرات اصلی باکتری سودوموناس نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در شرایط تلقیح و کمترین میزان آن در شرایط عدم تلقیح به دست آمد (جدول 5). همچنین بررسی اثرات اصلی کود فسفاته نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت (0/29) در شرایط استفاده از کود شیمیایی فسفاته به میزان 150 کیلوگرم در هکتار حاصل شد که با 120 کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین میزان شاخص برداشت در شرایط عدم استفاده از کود فسفاته حاصل شد. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تلقیح و نیز با مصرف مقادیر بالای فسفر شیمیایی، مقدار بیشتری از مواد فتوسنتزی ساخته شده به‌وسیله گیاه به دانه اختصاص

می‌یابد. این نتیجه در تطابق با یافته نصراله‌زاده اصل و قربان‌نژاد (7) در لوبیاچیتی است که نشان دادند فسفر باعث افزایش شاخص برداشت می‌شود. همچنین رضاپور کویشاهی و همکاران (3) اثر برخی سویه‌های باکتری حل‌کنندهٔ فسفات را بر شاخص برداشت لوبیا معنی‌دار اعلام کردند. به نظر می‌رسد با توجه به افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح کود فسفرِ، شاخص برداشت در مقادیر بالاتر کود فسفاته افزایش‌یافته باشد.

جدول 5- اثرات اصلی باکتری سودوموناس و کود فسفاته بر شاخص برداشت

سودوموناس	شاخص برداشت (درصد)
تلقیح	0/27[a]
عدم تلقیح	0/23[b]
کود فسفاته	
0	0/21[d]
30	0/23[cd]
60	0/24[c]
90	0/25[bc]
120	0/27[ab]
150	0/29[a]

فسفر دانه

بررسی سطوح کود فسفاته در شرایط تلقیح و عدم تلقیح بر محتوی فسفر دانه‌نشان داد که در هر دو شرایط با افزایش میزان فسفر خاک بر محتوی فسفر دانه افزوده شد (جدول 3). همچنین در تمام سطوح کود فسفاته تلقیح بذور سبب افزایش محتوی فسفر دانه شد (جدول 4). در تطابق با این نتیجه بسیاری از مطالعات نشان دادند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات جذب عناصر معدنی ازجمله فسفر را در گیاه افزایش می‌دهند (20). این عوامل می‌توانند با آزاد ساختن فسفر از سنگ‌ها و تری-کلسیم نقش مهمی در افزایش جذب فسفات داشته باشند (14). همچنین ال-گیزاوی و مِحاسن (15) نشان دادند که اضافه کردن باکتری‌های حل‌کننده فسفات در ترکیب با کود فسفاته سبب افزایش محتوی فسفر و نیتروژن دانه در باقلا می‌شود. در تطابق با این نتیجه، صالحی و امین‌پناه (25) نیز نشان دادند که با افزایش P_2O_5 از صفر به 100 کیلوگرم در هکتار غلظت فسفر در برگ نخودفرنگی با سرعت بیشتری در استرین‌های R187 و R41 سودوموناس در مقایسه با شاهد افزایش یافت. همچنین رنجبر مقدم و امین‌پناه (23) نشان دادند که افزایش کود فسفاته در حضور کود زیستی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت فسفر در غلاف لوبیا سبز شد. مشتاق و امین‌پناه (21) نشان دادند که بالاترین غلظت فسفر در برگ لوبیا سبز با استفاده از 100 کیلوگرم در هکتار فسفر حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی

درمجموع نتایج این آزمایش نشان داد که اثرات کود فسفاته در سطوح تلقیح و عدم تلقیح با باکتری سودوموناس برای صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه خشک، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، ارتفاع بوته و محتوی فسفر دانه یکسان نبود. مصرف تلفیقی کود فسفاته به همراه باکتری

سودوموناس تأثیر معنی‌داری بر صفات موردمطالعه داشت و جهت حصول حداکثر عملکرد دانه خشک مصرف کودهای شیمیایی توأم با استفاده از کودهای زیستی توصیه می‌شود. مصرف 90 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار به همراه تلقیح بذور با باکتری سودوموناس می‌تواند منجر به حصول پتانسیل عملکرد گردد. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد باکتری سودوموناس زمانی مؤثر است که به همراه آن در حد نیاز کود شیمیایی فسفاته نیز مصرف شود، درحالی‌که اثرات مثبت باکتری سودوموناس در صورت عدم مصرف یا مصرف مقادیر بالای کود شیمیایی فسفر به حداقل رسید. مقادیر صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، ارتفاع بوته و محتوی فسفر دانه در ترکیب تیماری 90 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار به همراه تلقیح بذور با باکتری سودوموناس اختلاف معنی‌داری با سطوح بالاتر کود فسفاته نداشت. ازآنجاکه کاربرد بیش‌ازحد کودهای شیمیایی علاوه بر فشار اقتصادی بر کشاورزان، از طریق تجمع بیش‌ازحد فسفر در خاک باعث خسارات جبران‌ناپذیر اکوسیستمی، جلوگیری از جذب عناصر کم‌مصرف و آلودگی محیط‌زیست می‌شوند، جایگزینی کودهای زیستی به‌جای کودهای شیمیایی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی با استفاده از کودهای زیستی نویدبخش کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در آینده می‌باشد. بنابراین ترکیب تیماری 90 کیلوگرم کود فسفاته در هکتار به همراه تلقیح بذور با باکتری سودوموناس را می‌توان به‌عنوان یک ترکیب کودی مناسب با توجه به مزایای آن ازلحاظ کاهش مصرف کود فسفاته استفاده نمود.

منابع

1-**ذرشین زنوش، ر.، انصاری، م. ح. و مصطفوی راد، م.** 1394. اثر پرایمینگ شیمیایی و زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، 10(40): 73-83.

2-**رضایی چیانه، ا.، تاج‌بخش، م.، قیاسی، م. و امیرنیا، ر.** 1394. بررسی اثر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی‌بر عملکرد کمی و کیفی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط دیم. پژوهش در گیاهان زراعی، 3(1): 69-55.

3-**رضاپور کوشاهی، ط.، انصاری، م. ح. و مصطفوی راد، م.** 1394. اثر برخی سویه‌های باکتری حل‌کنندهٔ فسفات بر عملکرد و خصوصیات زراعی مهم لوبیای محلی (*Phaseolus vulgaris* L.) گیلان در مقادیر مختلف کود فسفاته. بهزراعی کشاورزی، 17(3): 814-801.

4-**صابری، ح. ، محسن‌آبادی، غ. ر.، مجیدیان، م. و احتشامی، س. م. ر.** 1394. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی‌بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط آب و هوایی شهرستان رشت. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، 6(1): 21-31.

5-**کاظمی پشت‌مساری، ح.، پیردشتی، ا. و بهمنیار، م .ع.** 1386. مقایسه اثرات کودهای فسفرِ معدنی و زیستی بر ویژگی‌های زراعی دو رقم باقلا (*Vicia faba* L.). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، 20:25-39.

6-**منصورقناعی پاشاکی ک.، محسن‌آبادی، غ. ر.، مجیدیان، م. و فلاح نصرت‌آباد، ع. ر.** 1395. تأثیر کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر به همراه کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در منطقه لاهیجان. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، 6(22): 47-59.

7-**نصراله‌زاده اصل، ع. و قربان‌نژاد، ح.** 1393. اثر کودهای زیستی و معدنی فسفر همراه با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.). اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، 8(4):451-464.

8-**یساری، ا.، مظفری، س.، قاسمی چپی، ا.، جعفر زاده زغال چالی، ح. و شفیعی، ع.** 1393. اثر تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده‌های فسفات و سطوح فسفر معدنی بر خصوصیات رشد و عملکرد دانه در ارقام سویا (*Glycine max*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، 12(4): 693-703.

9-Ahmed, M. A. and El-Abagy, H. M. H. 2007. Effect of bio-and mineral phosphorus fertilizer on the growth, productivity and nutritional value of some faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars in newly cultivated land. Journal of Applied Sciense and Research, 3 (6): 408-420.

10-Aris, T. W., Rika, I. A. and Giyanto, A. 2011. Screening of *Pseudomonas* sp. isolated from rhizosphere of soybean plant as plant growth promoter and bio-control agent. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 6 (1): 134-141.

11-Bolland, M. D. A., Riethmuller, G. P., Siddique, K. H. M. and Loss, S.P. 2006. Method of phosphoras fertilizer application and row spacing on grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.). Australian Journal Experimental Agriculture, 41 (2): 224-234.

12-Crowley, D. 2006. Microbial Siderophores in the plant rhizosphere. In Barton L. L.; Abada J. (Eds.). Iron Nutrition in Plants andRhizospheric Microorganisms, Springer, Netherlands, pp. 169-198.

13-Egli, D.B. and Bruening, W.P. 2001. Source-sink relationships, seed sucrose levels and seed growthrates in soybean. Annals of Botany, 88: 235-242.

14-El-Din Mekki, B. 2016. Effect of bio-organic, chemical fertilizers and their combination on growth, yield and some macro and micronutrients contents of faba bean (*Vicia faba* L.). Bioscience Research, 13(1): 8-14.

15-El-Gizawy, N. K. B. and Mehasen, S.A.S. 2009. Response of faba bean to bio, mineral phosphorus fertilizers and foliar application with zinc. World Applied Sciences Journal, 6(10): 1359-1365.

16-FAO. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Available online: http://faostat.fao.org.

17-Hashemniya, P., Sharifi, P. and Aminpanah, H. 2015. Effect of *Azotobacter* and chemical phosphorus fertilizer on maize. Jordan Journal of Agricultural Sciences, 11(3): 789–802.

18-Kuroha, T., Tokunaga, H., Kojima, M., Ueda, N., Ishida, T., Nagawa, S., Fukuda, H., Sugimoto, K. andSakakibara, H. 2009. Functional analyses of lonely guy cytokinin-activating enzymes reveal the importance of the direct activation pathway in Arabidopsis. The Plant and Cell, 21: 3152–3169.

19-Mehana, T. A. and Abdul Wahid, O. A. 2002. Associative effect of phosphate dissolving fungi, rhizobium and phosphate fertilizer on some soil properties, yield components and the phosphorus and nitrogen concentration and uptake by (*Vicia faba* L.) under field conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences, 5(11): 1226-1231.

20-Mekail, M. M., Maatouk M. A., Zanouny, I., Fouaad, M. and Abd El-Aziz, S. M. 2005. Response of corn and faba bean to bio-fertilization. Minia Journal of Agriculture, Research and Development, 25(3): 421-436.
21-Moshtagh, S. and Aminpanah, H. 2015. Effects of phosphorus rate and iron foliar application on green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and yield. Agricultural Consensus Science, 80(3): 139–146.
22-Rafat, M. and Sharifi, P. 2015. The effect of phosphorus on yield and yield components of green bean. Journal of Soil and Nature, 8(1):9-13.
23-Ranjbar-Moghaddam, F. and **Aminpanah, H. 2015.** Green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and yield as affected by chemical phosphorus fertilizer and phosphate bio-fertilizer. IDESIA, 33(2): 77-85
24-Rashid, M., Khalil**, S., Ayub, N., Alam, S. and Latif, F. 2004.** Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under *in vitro* conditions. Pakistan Journal of Biology Science, 7: 187-196.
25-Salehi, B. and Aminpanah, H. 2015. Effects of phosphorus fertilizer rate and *Pseudomonas fluorescens* strain on field pea (*Pisum sativum* subsp. arvense (L.) Asch.) growth and yield. Acta agriculturae Slovenica, 105(2): 213 - 224
26-Shakori, S. and **Sharifi, P. 2016.** Effect of Phosphate Biofertilizer and Chemical Phosphorus on Growth and Yield of *Vicia faba* L.. Electronic Journal of Biology, S1: 47-52.
27-Talebipour, N., **Aminpanah H. and Rabiee, M. 2015.** Effects of *Rhizobium phaseoli* strains and molybdenum foliar application on growth and yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Soil and Nature, 8(1): 1–8
28-Toker, C. 2004. Estimates of broad-sense heritability for seed yield and yield criteria in faba bean (*Vicia faba* L.). Hereditas, 140: 222-225.
29-Turk, M. A. and Tawaha, A. R. M. 2007. Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence of moisture stress. Biotechnol. Agronomy Society and Environment, 6(3): 171-178.
30-Van Othman, W. M., Lio, T. A., Mannetje, L. and Wassink, G. Y. 2011. Low level phosphorus supply affecting nodulation, N_2 fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Plant and Soil, 135: 67-74.
31-Wakelin, S. A., Warren, R. A., Harvey, P. R. and Ryder, M. H. 2004. Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots. Biology and Fertility of Soils, 40: 36-43.
32-Waluyo, S. H. and Lie, T. and Mannetje, L. 2004. Effect of phosphate on nodule primordia of soybean (*Glycine max* Merrill) in acid soils in rhizotron experiments. Indonesian Journal of Agricultural Science, 5: 37-44.
33-Wu, S. C., Caob, Z. H., Lib, Z. G., Cheunga, K. C. and Wong, M. H. 2005. Effects of bio-fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125: 155-166.
34-Zeidan, M. S. 2007. Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. Research journal of agriculture and biological sciences, 3(6): 748-752.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 10, No. 1, Spring and summer 2020

Effect of Seed Inoculation with Phosphate Solubilizing Bacteria Yield and Growth faba bean (*Vicia faba* L.) at the Different Values of Phosphorus Fertilizers

Peyman Sharifi*[2], ZeinabMaghbolKerdar [1]

1- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
2- Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
Email: peyman.sharifi@gmail.com

(Received: 31 December 2019; Accepted: 7 September 2020)

Abstract

This research carried out in a field factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in Rasht at 2016-17 growing season. Experimental factors were including two levels of *Pseudomonas fluorescent* (seed inoculation and uninoculation) and six levels of phosphate fertilizer from super phosphate triple source (0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg/ha). *Pseudomonas* effect was significant on pod length, number of seed per pod, number of pod per plant, hundred seed weight, dry seed yield, harvest index and phosphorous seed content (P≤ 0.01). Effect of phosphate fertilizer was significant on number of pod per plant, hundred seed weight, dry seed yield, harvest index and phosphorous seed content (P≤ 0.01). Interaction effects of two factors were significant on all of the studied traits except of harvest index (P≤ 0.01). The highest value of phosphorous seed content (355 ppm) was observed in combination treatment of 150 kg P/ha and *Pseudomonas* inoculation. Seed yield was 3893.3 kg/ha in combination of seed inoculation with *Pseudomonas* and phosphate fertilizer (90 kg/ha), which there was no significant differences with 120 and 150 kg P/ha. This fertilizer combination increased 38 percent seed yield in comparison to 90 kg/ha phosphate fertilizer and uninoculation of *Pseudomonas* bacteria. Overall, the inoculation with *Pseudomonas* bacteria and phosphate fertilizer (90 kg/ha) could achieve seed yield potential, reduce the adverse environmental impacts and save the P-fertilizer utilization.

Keywords: Bio-fertilizer, Microorganisms, Phosphate fertilizer, *Pseudomonas fluorescent*, Seed phosphorus content