نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۲۷۱-۲۶۰

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 260-271

تاثیر فسفر و باکتری‌های محرک رشد (PGPR) سودوموناس فلورسنس بر عملکرد و کیفیت گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگریا

محمد بهبود[1*]- احمد گلچین[2]- حسین بشارتی[3]

تاریخ دریافت:۸۹/۷/۳
تاریخ پذیرش:۹۰/۷/۱۰

چکیده

بمنظور بررسی تاثیر سطوح مختلف فسفر و باکتری‌های محرک رشد گیاه از گونه (سودوموناس فلورسنس) بر عملکرد، کیفیت و جذب عناصر غذایی توسط گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگریا، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان انجام شد. در این آزمایش غده‌های بذری گیاه سیب‌زمینی در خاکی با بافت لوم و با چهار سطح فسفر (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و دو سطح باکتری محرک رشد سودوموناس فلورسنس (با و بدون باکتری محرک رشد) درجعبه‌های مخصوص کشت شدند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد غده و غلظت عناصر غذایی پرمصرف برگ (به جز پتاسیم) با افزایش میزان فسفر خاک، افزایش ولی غلظت عناصر کم‌مصرف برگ کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد غده و غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف برگ در تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد به طور معنی‌داری بالاتر بود. اثرات متقابل سطوح فسفر و باکتری محرک رشد بر عملکرد و درصد ماده خشک غده معنی‌دار بود و با افزایش توام سطوح فسفر و باکتری‌های محرک رشد، عملکرد غده و میزان ماده خشک آن افزایش یافت. اثر متقابل سطوح فسفر و باکتری‌های محرک رشد بر غلظت عناصر پرمصرف برگ (به جز نیتروژن) معنی‌دار بود ولی بر غلظت عناصر کم‌مصرف برگ معنی‌دار نشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک تا سطح ۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، عملکرد سیب‌زمینی، تعداد، طول و قطر، میزان ماده خشک غده و همچنین غلظت عناصر پرمصرف برگ، غیر از پتاسیم افزایش ولی میزان عناصر کم‌مصرف برگ کاهش می‌یابد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز اثر مثبتی بر کمیت و کیفیت سیب‌زمینی داشت.

واژه های کلیدی: سیب زمینی، فسفر، باکتری‌های محرک رشد، عناصر پر مصرف و کم مصرف برگ

مقدمه

فسفر یکی از عناصرضروری است که نقش مهمی را در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و سیستم انتقال انرژی در گیاهان دارد. فسفر جزیی ازساختمان DNA، RNA، ATP و فسفولیپیدها می‌باشد و کمبود آن می‌تواند منجر به کاهش سطح بسیاری از فرایندهای متابولیک مانند تقسیم و توسعه سلولی، تنفس و فتوسنتز شود (۲۴). وجود فسفر برای حیات گیاهان ضروری می‌باشد و تامین مداوم آن برای جلوگیری از ایجاد اختلال در رشد گیاهان ضروری می‌باشد. غلظت فسفر در گیاهان حدود ۰/۱ تا ۰/۲۵ غلظت نیتروژن و پتاسیم است ولی غلظت آن در محلول خاک در حدود ۰/۰۵ یا کمتر از ۰/۰۵ غلظت نیتروژن و پتاسیم می‌باشد (۲۹). فسفر پس از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاهان و ریز جانداران می‌باشد و مهمترن نقش آن در فرایند تولید و انتقال انرژی است. شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوسیله ویژگی‌هایی از قبیل pH، مقدار ماده آلی خاک، نوع و سطح ذرات خاک کنترل می‌شود. فسفر مورد نیاز گیاه عموما از طریق استفاده از کودهای شیمیایی تامین می‌شود. با این وجود مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک نامحلول شده و در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم‌دار و منیزیم‌دار تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (۲۷). میزان مصرف کودهای فسفره برای رسیدن گیاهان به حداکثر رشد متفاوت است و این خود به طور قابل ملاحظه‌ای به چندین عامل بستگی دارد. بعضی از این عوامل مهم عبارتند از سطح فسفر خاک، خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، محتوای آب خاک و واریته گیاه (۱۳). کمبود فسفر

۱و۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: mohammad.behbod@gmail.com)
۳- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور

سرعت رشد و نمو را کند کرده و از عملکرد می‌کاهد، علاوه بر آن، بر کیفیت میوه و دانه اثر سوء بر جای می‌گذارد. خاصیت انباری و مقاومت به سرما در محصولات مبتلا به کمبود فسفر کاهش می‌یابد (۷). آزمایشی در مورد تعیین حد مطلوب مصرف فسفر برای گیاه سیب‌زمینی در یک خاک لومی با سه سطح فسفر (صفر، ۴۵، ۹۰ کیلوگرم در هکتار) نشان داد که با افزایش مصرف فسفر از ۴۵ به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد از ۲۹ تن به ۳۰ تن در هکتار افزایش یافت، با وجود این چنین نتیجه گرفته شد که حد مطلوب مصرف فسفر بیش از ۹۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (۱۴). رئیسی (۴) گزارش نمود که تاثیر کود فسفره در افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، و در ازای مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر عملکرد غده به طور متوسط ۱/۶ تن در هکتار اضافه شد.

علاوه بر مصرف کودهای شیمیایی یکی دیگر از روش‌های تامین فسفر مورد نیاز گیاهان استفاده از منابع زیستی مثل باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌باشد. بعضی از باکتری‌های ریزوسفری که به آنها باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه اطلاق می‌گردد از جمله منابع زیستی می‌باشند که به صورت مستقیم و غیر مستقیم باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند (۱۷). بعضی از ریز جانداران موجود در ریزوسفر با مکانیزم‌های مختلفی باعث تغییرات فیزیولوژیک و مرفولوژیک در گیاه شده که مجموعه این تغییرات روی رشد گیاه، تغذیه و سلامت آن تاثیر دارد. اصطلاح PGPR[1] ابتدا توسط کلوپر و شروت (۵) مطرح گردید. این اصطلاح ابتدا برای باکتری‌های ریزوسفری متعلق به گروه سودوموناس‌های فلورسنس (گونه‌های فلورسنس و پوتیدا) به کار رفت. ولی محققین بعدی از جمله کاپولنیک (۵) با در نظر گرفتن اثرات مفیدی که باکتری‌های ریزوسفری به طور مستقیم بر رشد گیاه می‌گذارند گستره PGPR را وسعت بخشیدند. امروزه اصطلاح PGPR در معنای وسیع‌تری به کار رفته و برای برخی دیگر از باکتری‌های فعّال ریزوسفری که تأثیر مشخصی در افزایش رشد گیاه نشان داده‌اند مانند آزوسپیریلوم، ازتوباکترها، باکتری‌های پتاسیمی، فسفوباکتری‌ها، کلبسیلا، باسیلوس، سودوموناس، ریزوبیوم، آگروباکتریوم و سراتیا نیز به کار می‌رود (۶). باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند به دو روش مستقیم و غیر-مستقیم بر رشد و نمو گیاه اثرات مفید داشته باشند. در روش مستقیم باکتری‌ها با تولید یک ترکیب خاص و مؤثر و یا با تسهیل در جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، رشد آن را بهبود می‌بخشند. در روش غیر مستقیم، این باکتری‌ها برخی از اثرات مضر میکروارگانیسم‌های پاتوژنی را با استفاده از یک یا چند مکانیسم، حذف و یا تعدیل می‌نمایند و به این صورت به سلامت گیاه کمک کرده و در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شوند. این باکتری‌ها از طرق مختلف روی رشد گیاه اثر می‌گذارند (۳). با توجه به گستردگی سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران و نیاز بالای این گیاه به فسفر و تاثیر این عنصر در افزایش عملکرد و کیفیت غده سیب‌زمینی، یافتن سطح بهینه فسفر قابل جذب خاک برای دستیابی به حداکثر عملکرد امری لازم و ضروری به حساب می‌آید. علاوه بر این حضور باکتری‌های محرک رشد به دلیل کمک به انحلال ترکیبات فسفره در خاک و تسهیل جذب آن توسط گیاه و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش عملکرد سیب‌زمینی گردد. به همین دلیل هدف این پژوهش بررسی تاثیر سطوح مختلف فسفر قابل جذب خاک و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و کیفیت غده سیب‌زمینی می‌باشد.

مواد و روش ها

خاک مورد استفاده در این آزمایش از لایه سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری) یک خاک واقع در منطقه زنجان به صورت نمونه مرکب تهیه و پس از عبور از الک ۲ میلیمتری مقداری از آن جهت تجزیه به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج سطح عناصر غذایی خاک بر اساس توصیه‌های موسسه تحقیقات خاک و آب برای سیب‌زمینی با افزودن کودهای لازم به حد بهینه رسانیده شد. تیمارهای مختلف فسفر با افزودن مقادیر متفاوت کود سوپر فسفات تریپل به خاک تهیه گردیدند. با توجه به اینکه میزان فسفر اولیه خاک ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود این میزان فسفر به عنوان سطح اول فسفر یا تیمار شاهد در نظر گرفته شد و با افزودن کود فسفره سوپر فسفات تریپل به این خاک مقدار فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای دوم، سوم و چهارم به ترتیب به ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک افزایش داده شد. مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد (سودوموناس فلورسنت) از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه و اینکلوم حاوی این باکتری‌ها در ظرفی حاوی ۴۰ لیتر آب ریخته شد. بذور سیب‌زمینی به مدت ۲۴ ساعت درون این ظرف قرارداده شدند و هنگام کاشت نیز ۲ سی‌سی از این سوسپانسیون بر روی هر ریخته شد. غده‌های بذری سیب‌زمینی درون جعبه‌های مخصوص (طول=۱/۵، عرض=۱ و ارتفاع=۰/۵ متر) و در هر جعبه پنج غده بذری کاشته شد.

گیاهان به مدت ۱۲۵ روز در گلخانه نگهداری و آبیاری آنها با آب معمولی (pH=۷ و EC= ۱ دسی زیمنس بر متر) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار در گلخانه گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان انجام پذیرفت.

1 - Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش

عمق خاک	EC	pH	OC	TNV	SP	بافت خاک	P	K	Zn	Fe	Mn	Cu
(cm)	(dS/m)		(%)				(mg/kg)					
۰-۲۰	۲	۷/۵	۰/۴	۱۵	۳۵	لوم	۷	۱۷۰	۱/۵	۵/۱	۳	۰/۷

در نیمه مرداد ماه نمونه‌برداری برگ از تیمارهای مختلف انجام و پس از شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر، نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی مخصوص به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های برگ سپس آسیاب و توزین شده و برای تعیین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مراحل هضم و عصاره‌گیری را طی نمودند. میزان نیتروژن توسط دستگاه کجلدال، پتاسیم و فسفر به ترتیب با دستگاه فلیم فتومتر و اسپکتروفتومتر و عناصر کم‌مصرف با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۱). پس از اتمام دوره رشد، برداشت محصول انجام و تعداد و وزن غده‌های هر تیمار شمارش و اندازه‌گیری شدند. همچنین طول و قطر غده‌های هر تیمار بوسیله کولیس اندازه‌گیری و میانگین طول و قطر غده‌ها برای هر تیمار بدست آمد. از هر تیمار پنج غده انتخاب و بعد از گرفتن پوست آنها به صورت لایه‌های نازک برش داده شدند و از برش‌های تهیه شده برای اندازه‌گیری ماده خشک و اندازه‌گیری میزان عناصر غذایی استفاده گردید. داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار MSTAT-C آنالیز و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر ساده فسفر و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد غده، تعداد، طول و قطر غده و درصد ماده خشک غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. تاثیر سطوح فسفر قابل جذب خاک همچنین بر تعداد ساقه هوایی معنی‌دار بود. ولی اثرات متقابل فسفر و باکتری‌های محرک رشد فقط بر عملکرد غده در سطح احتمال پنج درصد و بر درصد ماده خشک غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بررسی تاثیر سطوح مختلف فسفر بر عملکرد غده نشان می‌دهد که با افزایش مقدار فسفر قابل جذب از ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک میزان عملکرد غده به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. تیمارهای ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک بالاترین عملکرد را به خود اختصاص دادند و از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفتند و نسبت به تیمار شاهد به ترتیب۵۵/۳ و ۵۶/۷ درصد افزایش عملکرد داشتند و تیمار شاهد (۷میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) با عملکردی معادل ۴/۲۹ کیلوگرم در مترمربع کمترین عملکرد را به خود اختصاص داد. بالاترین میانگین تعداد غده از سطح ۴۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۱۲ درصد افزایش داشت و کمترین میانگین تعداد غده از تیمار شاهد بدست آمد. سطوح دوم و سوم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۷/۸ و ۸۲/۲ درصد افزایش داشتند. این امر نشان می‌دهد که با افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک تعداد غده‌ها به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. میزان فسفر قابل جذب خاک همچنین بر اندازه غده-ها نیز تاثیر معنی‌داری داشت. بالاترین میانگین طول غده از سطح سوم و چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶/۱ و ۸/۱ درصد افزایش داشتند ولی اختلاف معنی‌داری بین این دو سطح فسفر از لحاظ میانگین غده وجود نداشت. کمترین میانگین طول و قطر غده مربوط به تیمار شاهد بود و بالاترین قطر غده هم به سطح سوم فسفر تعلق داشت که ۷/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت (جدول ۳). هاپکینز و السورس[1] (۱۶)، در مطالعه‌ای بر روی ارقام تجاری سیب‌زمینی مشاهده کردند که کاربرد فسفر سبب افزایش عملکرد غده می‌شود. آنها بیشترین عملکرد را با کاربرد ۲۲۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار بدست آوردند. میانگین اندازه غده ها و تفاوت آنها خصوصیاتی هستند که می‌توانند به عنوان یک فاکتور کیفی مهم در نظر گرفته شوند. چون فسفر اغلب بر تشکیل غده تاثیر می‌گذارد و به عنوان عنصری است که از این لحاظ به کیفیت غده‌ها کمک می‌کند (۱۲).

بررسی نتایج نشان می‌دهد که بالاترین درصد ماده خشک غده از سطح سوم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۵/۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. کمترین درصد ماده خشک مربوط به تیمار شاهد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطح فسفر خاک تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم میزان ماده خشک غده سیب زمینی افزایش می‌یابد و این نشان دهنده نقش فسفر در افزایش ماده خشک غده سیب‌زمینی می‌باشد. کمبود فسفر در سیب‌زمینی سبب کاهش عملکرد و کیفیت غده از جمله کاهش میزان ماده خشک غده می‌گردد (۱۵). بالاترین میانگین تعداد ساقه هوایی نیز از سطح چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۷۵/۴ درصد افزایش نشان می‌دهد. تعداد ساقه هوایی بدست آمده از سطح سوم و دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۹/۹ و ۳۲/۵ درصد افزایش داشتند. کمترین تعداد ساقه هوایی نیز از تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۳).

1 -Hopkins and Ellsworth

جدول۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر عملکرد، تعداد، اندازه و درصد ماده خشک غده و تعدادساقه هوایی سیب زمینی

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد غده (کیلوگرم بر مترمربع)	تعداد غده	طول غده (سانتی‌متر)	قطر غده (سانتی‌متر)	ماده خشک غده(درصد)	تعداد ساقه هوایی
فسفر	۳	۰/۶۵۵**	۷۱۴/۱۶**	۰/۴۲۳**	۰/۲۱۲**	۲۹/۵۳۶**	۴۲۹/۳۷۵**
باکتری	۱	۰/۰۴۴**	۱۸**	۰/۱۸۵**	۰/۱۵۲**	۱/۷۱۴**	۲/۳۴۰ns
فسفر× باکتری	۳	۰/۰۰۴*	۰/۹۲۶ns	۰/۰۵۰ns	۰/۰۰۷ns	۰/۲۹۷**	۳۶/۸۹ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۱	۲/۱۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۱۵/۷۵۷
C.V(درصد)	–	۰/۵۸	۷/۱۹	۲/۹۴	۳/۱۷	۰/۵۸	۶/۸۷

ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

جدول ۳- اثر سطوح مختلف فسفر بر عملکرد، اندازه، تعداد، درصد ماده خشک غده و تعداد ساقه های هوایی سیب زمینی

سطوح مختلف فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	عملکرد (کیلوگرم بر مترمربع)	تعداد غده	طول غده (سانتی‌متر)	قطر غده (سانتی‌متر)	ماده خشک غده (درصد)	تعداد ساقه هوایی
شاهد: ۷	۴/۲۹c	۱۲/۷۸d	۳/۷۸۳b	۳/۳۹۰c	۱۸/۲۸d	۸/۵۵d
P_2: ۱۵	۵/۶۸b	۱۷/۶۱c	۳/۷۹۸b	۳/۵۰۹b	۱۹/۵۹c	۱۱/۳۳c
P_3: ۳۰	۶/۶۰a	۲۳/۲۸b	۴/۰۱۳a	۳/۶۴۹a	۲۱/۰۶a	۱۳/۶۷b
P_4: ۴۵	۶/۶۶a	۲۷/۱۱a	۴/۰۸۸a	۳/۵۶۵b	۲۰/۸۲b	۱۵a

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد تفاوت معنی‌داری بر عملکرد، تعداد، اندازه و درصد ماده خشک غده و تعداد ساقه هوایی داشتند (جدول ۲). کمترین میانگین عملکرد غده از تیمار شاهد بدست آمد و بالاترین عملکرد غده از سطح تیمار تلقیح شده با باکتری محرک رشد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۴/۹ درصد افزایش عملکرد را نشان می‌دهد. کمترین میانگین تعداد غده از تیمار شاهد بدست آمد و بالاترین میانگین تعداد غده از تیمار تلقیح شده با باکتری محرک رشد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۵/۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. همچنین کمترین اندازه طول و قطر غده‌ها از تیمار شاهد بدست آمد و بزرگترین اندازه آنها از تیمار تلقیح شده با باکتری های محرک رشد بدست آمدند که نسبت به تیمار شاهد ۲/۶ درصد افزایش اندازه را نشان می‌دهند (جدول ۴). تلقیح بعضی باکتری‌های محرک رشد، عملکرد، رشد و جذب عناصر غذایی را در گیاه ذرت افزایش داد (۸). کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش رشد و عملکرد سیب-زمینی در شرایط مزرعه‌ای شد (۱۸). دلیل این افزایش به علت افزایش اولیه در رشد ریشه بوسیله کاربرد باکتری‌های محرک رشد که می‌تواند جذب عناصر غذایی ضروری را تقویت کند. باکتری‌های محرک رشد گیاهی می‌سازند که رشد گیاهان را در مراحل مختلف بهبود می‌بخشد (۱۹). آنها ذکر کردند که دلیل افزایش قابلیت فتوسنتز گیاهان به خاطر افزایش کلروفیل به دلیل وجود باکتری‌های محرک رشد می‌باشد. محققینی مانند کلوپر[1] (۱۸) عقیده دارند تلقیح گیاهان با باکتری‌های سودوموناس در اکثر اوقات سبب افزایش عملکرد شده است. بیشترین درصد ماده خشک گیاه از سطح اول باکتری (تلقیح با باکتری‌های محرک رشد) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱/۶ درصد افزایش داشت. کمترین مقدار ماده خشک از تیمار شاهد بدست آمد ولی تعداد ساقه هوایی معنی‌دار نشد (جدول ۴). وودارد و بلی (۳۰) گزارش کردند که ذرت تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد افزایش وزن خشک ساقه و عملکرد دانه را به همراه داشت. تلقیح با بکتری سودوموناس به طور معنی‌داری وزن خشک ریشه را در گندم بهاره افزایش داد (۲۸). محققین بیان کردند تلقیح نخود با سودوموناس‌های فلوروسنت سبب افزایش وزن خشک قسمت هوایی به مقدار ۱۰۰ درصد شده است (۲۵).

در مورد اثر متقابل فسفر و باکتری‌های محرک رشد، بیشترین عملکرد مربوط به سطح سوم فسفر و سطح اول باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری) می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد ۶۱/۲ درصد افزایش عملکرد دارد و با تیمار P_4B_1 که نسبت به تیمار شاهد ۶۰ درصد افزایش داشت، تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

1- Klopper

جدول ٤- اثر دو سطح باکتری محرک رشد بر عملکرد، اندازه غده ها، تعداد غده و درصد ماده خشک غده و تعداد بوته هوایی

سطوح باکتری‌های محرک رشد	عملکرد (کیلوگرم بر متر-مربع)	تعداد غده	طول غده (سانتی‌متر)	قطر غده (سانتی‌متر)	ماده خشک غده (درصد)	تعداد ساقه هوایی
شاهد: عدم تلقیح باکتری	۵/۶۸b	۱۹/۶۹۴b	۳/۸۷۰b	۳/۴۸۲b	۱۹/۷۸۲b	۱۱/۹۱۶a
B_1: تلقیح با باکتری	۵/۹۶a	۲۰/۶۹۴a	۳/۹۷۱a	۳/۵۷۴a	۲۰/۰۹۰a	۱۲/۳۶۱a

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

کمترین عملکرد از تیمار شاهد بدست آمد که با تیمار P_1B_1 از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری ندارد. نتایج حاصل از اثرات متقابل فسفر و باکتری‌های محرک رشد نشان می‌دهد که بیشترین درصد ماده خشک از سطح سوم فسفر و سطح اول باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری محرک رشد) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۷/۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد و ماده خشک بدست آمده از سطح چهارم فسفر و سطح اول باکتری‌های محرک رشد نسبت به تیمار شاهد ۱۴/۸ درصد افزایش دارد. همچنین ماده خشک بدست آمده از سطح سوم فسفر و سطح صفر باکتری‌های محرک رشد، نسبت به تیمار شاهد ۱۳/۷ درصد افزایش نشان می‌دهد و با تیمار P_4B_0 اختلاف معنی‌داری ندارد. کمترین مقدار از تیمار شاهد بدست آمد که تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری با تیمار P_1B_1 نداشتند. طبق نتایج بدست آمده مشاهده می‌کنیم که به غیر از سطح اول فسفر که که تلقیح یا عدم تلقیح باکتری‌های محرک رشد تفاوت معنی‌داری بر درصد ماده خشک غده ایجاد نکرد در سطوح دوم، سوم و چهارم، تلقیح باکتری‌های محرک رشد افزایش معنی‌دار ماده خشک را به دنبال داشت (جدول ۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات مستقیم فسفر بر غلظت عناصر پرمصرف برگ و غده سیب‌زمینی به غیر از پتاسیم برگ که غیر معنی‌دار شد و غلظت نیتروژن غده که در سطح پنج درصد معنی‌دار شد بقیه عناصر پرمصرف در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر مستقیم باکتری‌های محرک رشد بر غلظت عناصر پر مصرف برگ و غده سیب‌زمینی در سطح یک درصد معنی-دار است. اثرات متقابل فسفر و باکتری‌های محرک رشد بر روی فسفر غده در سطح پنج درصد و پتاسیم غده در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

مقایسه میانگین ها نشان می‌دهد (جدول ۷) که بیشترین مقدار غلظت نیتروژن برگ از سطح سوم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۶ درصد افزایش داشت و غلظت نیتروژن در سطح دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۸/۳ درصد افزایش داشت و با سطح چهارم فسفر اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین غلظت نیتروژن از تیمار شاهد به میزان ۳/۱۳ درصد بدست آمد. اما بالاترین غلظت فسفر از سطح چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۰۴/۳ درصد افزایش داشت. کمترین غلظت فسفر مربوط به تیمار شاهد به میزان ۰/۰۷ درصد می‌باشد.

طبق جدول ۶ سطوح مختلف فسفر بر روی جذب پتاسیم تاثیری نداشت و اختلاف آنها غیر معنی‌دار بود. نتایج حاصل از کارهای توکاکی و ماهلر (۲۴) نشان داد که غلظت فسفر گیاهان به طور خطی با افزایش فسفر محلول در خاک افزایش می‌یابد.

جدول۵- اثرات متقابل فسفر و باکتری های محرک رشد بر عملکرد، اندازه غده ها و تعداد غده

اثرات متقابل فسفر و باکتری های محرک رشد	عملکرد (کیلوگرم بر مترمربع)	ماده خشک غده (درصد)
شاهد	۴/۲۵f	۱۸/۲۲f
P_1B_1	۴/۴۰f	۱۸/۳۳f
P_2B_0	۵/۵۸e	۱۹/۴۶e
P_2B_1	۵/۷۸d	۱۹/۷۱d
P_3B_0	۶/۳۴c	۲۰/۷۲c
P_3B_1	۶/۸۵a	۲۱/۴۰a
P_4B_0	۶/۵۲b	۲۰/۷۲c
P_4B_1	۶/۸۰a	۲۰/۹۲b

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

جدول ٦ - نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف فسفر و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل بر غلظت N، P و K برگ و غده سیب زمینی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		برگ			غده		
		N	P	K	N	P	K
		(درصد)			(درصد)		
فسفر	۳	۰/۸۰**	۷۰۷/۲۷۳**	۰/۰۰۶ns	۰/۱۰۱*	۴۰۶/۵۶**	۰/۳۳۰**
باکتری محرک رشد	۱	۱/۲۶**	۴۴/۸۰۹**	۰/۵۲۷**	۰/۲۴**	۳۴/۴۴۵**	۰/۰۹۹**
فسفر× باکتری	۳	۰/۱۲۸ns	۰/۶۳۵ns	۰/۰۵۱ns	۰/۰۰۳ns	۱/۰۸۲*	۰/۰۰۴**
خطا	۱۶	۰/۰۹۹	۰/۴۵۰	۰/۰۳۹	۰/۲۵	۰/۳۳۴	۰/۰۰۱
C.V درصد	–	۹/۲۲	۴/۱۹	۷/۵۳	۶/۶۱	۴/۱۰	۱/۱۶

ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

نتایج تحقیقات بورکرت و باربر (۹) نشان داد اثر جایگذاری فسفر در مقدار جذب فسفر بستگی به ویژگی‌های خاک و رقم گیاه دارد بر اساس نتایج بدست آمده، هنگامی که مقدار کود اضافه شده به خاک ۳۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم آن باشد فسفر با ۸ درصد از حجم خاک مخلوط شده و مقدار جذب نیز حداکثر خواهد بود. ولی در این تحقیق بیشترین جذب فسفر از سطح ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بدست آمد. نتایج حاصل نشان می‌دهد (جدول ۷) بالاترین غلظت نیتروژن در غده سیب‌زمینی از سطح چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۷/۳ درصد افزایش نشان می‌دهد و میزان نیتروژن بدست آمده از سطح سوم تیمار فسفر نسبت به تیمار شاهد ۵/۷ درصد افزایش نشان داد. کمترین غلظت نیتروژن از تیمار شاهد بدست آمد و همچنین غلظت نیتروژن در سطح تیمار دوم فسفر با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند. بالاترین غلظت فسفر از سطح تیمار چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۲۲/۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. غلظت فسفر بدست آمده از سطح سوم فسفر نسبت به شاهد ۱۰۴/۸ درصد افزایش نشان داد. همچنین غلظت فسفر بدست آمده از سطح دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۴۱/۷ درصد افزایش داشت و کمترین غلظت فسفر از تیمار شاهد به میزان ۰/۰۸۴ درصد بدست آمد. بالاترین غلظت پتاسیم در غده سیب‌زمینی مربوط به سطح چهارم تیمار فسفر می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد ۱۴/۱ درصد افزایش داشت. غلظت پتاسیم بدست آمده از سطح سوم تیمار فسفر نسبت به تیمار شاهد ۹/۸ درصد افزایش نشان داد و کمترین غلظت پتاسیم از تیمار شاهد به میزان ۲/۱۸۲ درصد بدست آمد. نتایج بدست آمده حاکی از آن می‌باشد که افزایش میزان فسفر باعث افزایش غلظت عناصر پرمصرف در برگ و غده سیب زمینی شده است و جذب پتاسیم در کاربرد توام فسفر و پتاسیم نسبت به کاربرد تنهای پتاسیم بیشتر بود (۲۲). دونگال و کادرکارو (۱۱) گزارش نمودند که غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم با افزایش کاربرد فسفر به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و کاربرد فسفر اضافی غلظت پتاسیم را در دانه سویا افزایش می‌دهد (۱۴).

مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد تاثیر معنی‌داری بر روی غلظت عناصر پرمصرف دارد (جدول ۶). گیاهانی که با باکتری‌های محرک رشد تلقیح شدند غلظت نیتروژن بالایی نسبت به گیاهانی که با این باکتری‌ها تلقیح نشده بودند (شاهد)، داشتند.

غلظت نیتروژن برگ در تیمار تلقیح شده نسبت به تیمار شاهد ۸/۱ درصد افزایش نشان داد. غلظت فسفر برگ در تیمار تلقیح شده با باکتری محرک رشد ۱۶۷ نسبت به تیمار شاهد ۹/۹ درصد افزایش داشت.

جدول ۷- اثر سطوح مختلف فسفر بر غلظت N، P و K برگ و غده سیب زمینی

سطوح مختلف فسفر	برگ			غده		
	N	P	K	N	P	K
(میلی‌گرم در کیلوگرم)	(درصد)			(درصد)		
شاهد: ۷	۳/۱۳c	۰/۰۷d	۴/۲۲a	۲/۲۸۸b	۰/۰۸۴d	۲/۱۸۲d
۱۵ :P_2	۳/۳۹b	۰/۱۵۱c	۴/۲۲a	۲/۳۴۷ab	۰/۱۱۹c	۲/۲۷۲c
۳۰ :P_3	a۳/۶۳	۰/۲۰۱b	۴/۲۳a	۲/۴۱۹a	۰/۱۷۲b	۲/۳۹۶b
۴۵ :P_4	۳/۴۷ab	۰/۲۱۳a	۴/۲۲a	۲/۴۵۶a	۰/۱۸۷a	۲/۴۹۰a

میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی دار ندارند

همچنین غلظت پتاسیم برگ در تیمار تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد نسبت به تیمار شاهد ۶/۷ درصد افزایش داشت. همانطور که مشاهده می‌کنیم بیشترین تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر غلظت عنصر فسفر می‌باشد که ۹/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. طبق نتایج اثرات سطوح باکتری‌های محرک رشد بر درصد N، P و K غده سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری باهم دارند. بالاترین غلظت نیتروژن غده از سطح اول باکتری‌های محرک رشد بدست آمد که ۴/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. بالاترین غلظت فسفر غده از سطح اول باکتری‌های محرک رشد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۴ درصد افزایش نشان می‌دهد. همچنین بالاترین غلظت پتاسیم از سطح اول باکتری‌های محرک رشد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳/۲ درصد افزایش نشان داد. همانطور که مشاهده می‌کنیم بیشترین تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر غلظت فسفر غده می‌باشد که با ۱۰/۴ درصد افزایش بیشتر از سایر عناصر افزایش نشان داد (جدول ۸). کارلوت و همکاران (۱۰) اعلام کردند که درصد Fe, Mg, Ca, K, P Cu, Zn ,Mn به طور معنی‌داری در گیاهان تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت. اصلاح خاک با باکتری‌های سودمند، می‌تواند کمبود عناصر غذایی را جبران کند و به طور نسبی توسعه‌ی نرمال گیاه را حفظ کند.

با توجه به نتایج (جدول ۹) حاصل از اثرات متقابل فسفر و باکتری‌های محرک رشد بر غلظت عناصر غذایی در غده سیب‌زمینی، بالاترین غلظت فسفر از سطح چهارم فسفر و سطح اول باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۴۳/۷ درصد افزایش نشان می‌دهد و غلظت فسفر بدست آمده از سطح سوم فشردگی خاک و سطح اول باکتری‌های محرک رشد نسبت به تیمار شاهد ۱۲۷/۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. غلظت فسفر بدست آمده از سطح چهارم فسفر و سطح صفر باکتری‌های محرک رشد نسبت به تیمار شاهد ۱۲۵ درصد افزایش نشان داد و تیمارهای P_3B_1 و P_4B_0 از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند و همچنین کمترین غلظت فسفر در غده از تیمار شاهد بدست آمد. بیشترین غلظت پتاسیم در غده از سطح چهارم فسفر و سطح اول باکتری های محرک رشد (تلقیح با باکتری) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۸/۴ درصد افزایش داشت و غلظت پتاسیم بدست آمده از سطح چهارم فسفر و سطح صفر باکتری محرک رشد نسبت به تیمار شاهد ۱۶/۱ درصد افزایش نشان داد. تیمارهای P_1B_1 و P_2B_0 به ترتیب نسبت به تیمار شاهد، ۵/۵ و ۵/۱ درصد افزایش نشان می‌دهند اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند. کمترین غلظت پتاسیم از تیمار شاهد به میزان ۲/۱۲۴ درصد بدست آمد.

جدول ۸- اثر دو سطح باکتری محرک رشد بر درصد N، P و K برگ سیب زمینی و غده سیب زمینی

سطوح باکتری‌های محرک رشد	برگ			غده		
	N	P	K	N	P	K
	درصد			درصد		
شاهد: عدم تلقیح باکتری	۳/۲۷۸b	۰/۱۵۲b	۲/۵۳۲b	۲/۳۲۰b	۰/۱۳۴b	۲/۲۹۸b
B_1: تلقیح باکتری	۳/۵۴۳a	۰/۱۶۷a	۲/۷۰۳a	۲/۴۳۵a	۰/۱۴۸a	۲/۳۷۲a

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند

جدول۹- اثرات متقابل فسفر و باکتری محرک رشد بر غلظت N، P و K غده سیب زمینی

سطوح مختلف فسفر و باکتری محرک رشد	N	P	K
	(درصد)		
شاهد	۲/۴۲۶a	۰/۰۸۰g	۲/۱۲۴g
P_1B_1	۲/۴۲۸a	۰/۰۸۹f	۲/۲۴۰f
P_2B_0	۲/۴۳۰a	۰/۱۱۴e	۲/۲۳۳f
P_2B_1	۲/۴۳۲a	۰/۱۲۴d	۲/۳۱۱e
P_3B_0	۲/۴۲۲a	۰/۱۶۲c	۲/۳۶۹d
P_3B_1	۲/۴۲۴a	۰/۱۸۲b	۲/۴۲۳c
P_4B_0	۲/۴۳۲a	۰/۱۸۰b	۲/۴۶۶b
P_4B_1	۲/۴۲۷a	۰/۱۹۵a	۲/۵۱۴a
LSD	۰/۱۰۶	۰/۵۴۷	۰/۰۲۹

میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی دار ندارند

جدول۱۰- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف ، فسفر و باکتری های محرک رشد و اثرات متقابل آنها بر غلظت Zn،Fe، Mn و Cu برگ

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		برگ			
		Zn	Fe	Mn	Cu
		میلی‌گرم در کیلوگرم			
فسفر	۳	۲۰۹۹/۷۸۳**	۱۸۴/۳۷۳**	۴۴۲/۹۴۳**	۷۳/۳۴۷**
باکتری‌های محرک رشد	۱	۶/۰۰۹*	۱۹/۶۷۷**	۳۶/۸۰۸**	۵/۰۵۶**
فسفر× باکتری‌های محرک رشد	۳	۱/۰۴۳ns	۰/۴۶۲ns	۵/۲۷۵ns	۰/۳۲۵ns
خطا	۱۶	۰/۹۴۸	۰/۸۲۳	۲/۰۱۹	۰/۳۶۸
C.V(درصد)	–	۳/۱۹	۰/۶۴	۱/۰۳	۱/۶۷

ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

جدول۱۱- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف ، فسفر و باکتری های محرک رشد و اثرات متقابل آنها بر غلظت Zn، Fe، Mn و Cu غده

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		برگ			
		Zn	Fe	Mn	Cu
		میلی‌گرم در کیلوگرم			
فسفر	۳	۲۳۲/۰۷۷**	۴۳۳/۲۴۵**	۱۳۲/۰۳۲**	۸۰/۶۳۵**
باکتری‌های محرک رشد	۱	۴/۳۶۱*	۲۷/۸۲۶**	۳/۵۱۱**	۱/۸۵۶*
فسفر× باکتری‌های محرک رشد	۳	۰/۲۷۶ns	۰/۶۸۹ns	۰/۶۴۲ns	۰/۱۴۱ns
خطا	۱۶	۰/۶۶۲	۱/۲۰۶	۰/۳۹۲	۰/۳۶۶
C.V(درصد)	–	۴/۴۵	۱/۴۶	۱/۸۷	۶/۳۲

ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات مستقیم فسفر بر عناصر کم‌مصرف برگ و غده در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثرات مستقیم باکتری‌های محرک رشد نیز در سطح یک درصد بر عناصر کم‌مصرف برگ معنی‌دار شدند، غیر از روی که در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات مستقیم باکتری‌های محرک رشد بر غلظت عناصر آهن و منگنز در سطح یک درصد و بر غلظت روی و مس در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثرات متقابل فسفر و باکتری-های محرک رشد بر غلظت هیچ یک از عناصر کم‌مصرف برگ معنی‌دار نشد (جداول ۱۰ و ۱۱).

بر طبق جدول ۱۲، اثر سطوح مختلف فسفر بر غلظت Zn، Fe، Mn و Cu برگ نشان می‌دهد بالاترین غلظت عنصر روی از تیمار شاهد بدست آمد غلظت روی بدست آمده از سطح دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۱۷/۶ درصد کاهش نشان داد. غلظت روی بدست آمده از سطح سوم و چهارم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴۴/۱ و ۴۹/۴ درصد کاهش نشان می‌دهند. بالاترین غلظت آهن در برگ از تیمار شاهد بدست آمد. غلظت آهن بدست آمده از سطح دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۱/۹ درصد کاهش نشان داد و غلظت آهن بدست آمده از سطح سوم و چهارم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴ و ۸/۶ درصد کاهش نشان می‌دهند. بالاترین غلظت منگنز در برگ از تیمار شاهد بدست آمد. غلظت منگنز بدست آمده از سطح دوم فسفر ۸ نسبت به تیمار شاهد ۱/۹ درصد کاهش نشان داد اما غلظت منگنز به دست آمده از سطح سوم و چهارم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵/۲ و ۷/۷ درصد کاهش نشان می‌دهند. بالاترین غلظت مس در برگ از تیمار شاهد بدست آمد. غلظت مس بدست آمده از سطح دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۴/۴ درصد کاهش نشان داد. غلظت مس بدست آمده از سطح سوم و چهارم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۰/۴ و ۱۰/۹ درصد کاهش نشان می‌دهند و این دو تیمار از لحاظ آماری با هم اختلاف معنی-داری ندارند (جدول۱۰). نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان فسفر خاک جذب عناصر کم‌مصرف به خصوص روی با افزودن ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم فسفر به خاک ۴۹/۴ درصد کاهش نشان داد که نسبت به سایر عناصر کم‌مصرف به دلیل رقابت بیشتر کاهش یافته است. اکثر پژوهشگران بر این باورند که جذب روی بوسیله گیاه، با افزایش مقدار فسفر در خاک کاهش می‌یابد (۱۶). سالانه مقادیر قابل توجهی از کودهای فسفره به خاک‌های زراعی اضافه می‌شود این امر می‌تواند باعث کاهش جذب برخی عناصر کم‌مصرف شود (۲). افزایش غلظت فسفر در خاک باعث کاهش حلالیت منگنز، مس و حجم مایکو ریز ریشه شده که این امر باعث کاهش جذب عناصر کم‌مصرف

می‌گردد (۲۱). جدول ۱۲ اثر سطوح مختلف فسفر بر غلظت عناصر کم مصرف غده سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنیم، بالاترین غلظت روی در غده از تیمار شاهد بدست آمد ولی غلظت روی بدست آمده از سطح دوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۱۳/۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. غلظت روی بدست آمده از سطح سوم فسفر نسبت به تیمار شاهد ۲۷/۳ درصد کاهش نشان داد. کمترین غلظت روی از سطح چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳۶/۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. بالاترین غلظت آهن در غده از تیمار شاهد بدست آمد و غلظت آهن به دست آمده از سطح دوم و سوم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵/۸ و ۹/۹ درصد کاهش داشتند. کمترین غلظت آهن در غده از سطح چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۴/۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. بالاترین غلظت منگنز در غده از تیمار شاهد بدست آمد و غلظت منگنز بدست آمده از سطح دوم و سوم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۷/۳ و ۱۲/۹ درصد کاهش داشتند. کمترین غلظت منگنز از سطح چهارم فسفر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۶/۹ درصد کاهش نشان می‌دهد. اثر رقابتی فسفر و عناصر غذایی کم مصرف اگر چه در برگ مشهود بود در غده سیب زمینی نیز این اثر قابل مشاهده است.

مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن می‌باشد که سطح دوم باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری‌های محرک رشد) تاثیر معنی‌داری بر روی میزان عناصر کم‌مصرف برگ داشت و با کاربرد باکتری‌های محرک رشد جذب عناصر غذایی کم‌مصرف بهبود یافت. بالاترین غلظت روی در برگ از سطح اول تیمار باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری‌های محرک رشد) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲/۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. بالاترین غلظت آهن در برگ از سطح اول تیمار باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری‌های محرک رشد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۰/۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. همچنین بالاترین غلظت منگنز در برگ از سطح اول تیمار باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری‌های محرک رشد) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱/۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. بالاترین غلظت مس نیز از سطح اول تیمار باکتری‌های محرک رشد (تلقیح با باکتری‌های محرک رشد) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱/۵ درصد افزایش داشت. نتایج نشان می‌دهند که تلقیح باکتری‌های محرک رشد باعث تفاوت معنی‌داری بر غلظت Zn, Mn, Fe, K در دانه ذرت شده است. به طور معمول باکتری‌های محرک رشد بر تشکیل و توسعه افقی ریشه‌ها تاثیر می‌گذارند (۲۳). همچنین بر افزایش وزن ریشه‌ها و جذب عناصر غذایی نیز تاثیر می‌گذارند (۱۷). کودهای زیستی این پتانسیل را دارند که هزینه نهاده تولیدات کشاورزی را کاهش دهند. بعضی از سویه‌های سودوموناس می‌توانند ترکیبات نامحلول حاوی عنصر روی را حل کنند این باکتری‌ها به ZSB [1] (باکتری های حل کننده روی) معروف هستند (۲۱). باکتری‌های محرک رشد و مخصوصا سودوموناس‌های فلورسنت اغلب سبب افزایش تحرک عناصر معدنی نامحلول در خاک می‌گردند و در نتیجه جذب این عناصر توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (۲۰).

بالاترین غلظت روی، آهن، منگنز و مس در غده از سطح اول باکتری محرک رشد (تلقیح با باکتری) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد بترتیب ۲/۷، ۱/۷، ۱/۴ و ۳/۳درصد کاهش داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که باکتری‌های محرک رشد در میزان غلظت عناصر کم‌مصرف غده سیب‌زمینی نیز تاثیر دارند (جدول۱۳).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که با افزایش میزان فسفر از ۷ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک تا ۴۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک میزان عملکرد، تعداد، اندازه و ماده خشک غده سیب‌زمینی افزایش می‌یابد.

جدول۱۲ - اثر سطوح مختلف فسفر بر غلظت Zn،Fe، Mn و Cu برگ و غده

سطوح فسفر	برگ				غده			
	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu
(میلی‌گرم در کیلوگرم)	(میلی‌گرم در کیلوگرم)				(میلی‌گرم در کیلوگرم)			
شاهد: ۷	۴۳/۰۶a	۱۴۴/۹a	۱۴۳/۵a	۳۸/۹۱a	۲۲/۶۳a	۸۱/۲۶a	۳۶/۹۷a	۱۲/۳۶a
P_2: ۱۵	۳۵/۴۷b	۱۴۲/۲b	۱۴۰/۸b	۳۷/۲۱b	۱۹/۶۵b	۷۶/۵۲b	۳۴/۲۸b	۹/۹۶b
P_3: ۳۰	۲۴/۰۹c	۱۳۹/۱c	۱۳۶/۰c	۳۴/۸۸c	۱۶/۴۶c	۷۳/۱۹c	۳۲/۱۹c	۸/۴۶c
P_4: ۴۵	۲۱/۷۹d	۱۳۷/۸d	۱۳۲/۴d	۳۴/۶۸c	۱۴/۴۶d	۶۹/۷۵d	۳۰/۷۳d	۷/۴۹d

میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی دار ندارند

1- Zinc solubilizing bacteria

جدول۱۳- اثر سطح مختلف باکتری‌های محرک رشد بر غلظت Fe، Zn، Mn و Cu برگ و غده

سطح باکتری‌های محرک رشد	برگ				غده			
	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu
	(میلی‌گرم در کیلوگرم)				(میلی‌گرم در کیلوگرم)			
شاهد: عدم تلقیح باکتری	۳۰/۷۱۱b	۱۴۰/۴۸b	۱۳۷/۴۵b	۳۶/۱۵b	۱۸/۰۵b	۷۴/۵۶b	۳۳/۳۲۱b	۹/۴۱b
B_1: تلقیح باکتری	۳۱/۴۹۳a	۱۴۱/۵۲a	۱۳۸/۸۸a	۳۶/۶۸a	۱۸/۵۴a	۷۵/۸۰a	۳۳/۷۶۰a	۹/۷۳a

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

افزایش میزان فسفر خاک باعث افزایش غلظت عناصر پرمصرف در برگ و غده سیب‌زمینی ولی کاهش غلظت عناصر کم‌مصرف را در برگ و غده سیب‌زمینی به همراه داشت. کاربرد باکتری‌های محرک رشد (سودوموناس فلورسنس) باعث افزایش عملکرد، تعداد، اندازه، ماده خشک غده سیب‌زمینی گردید و افزایش غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف را در برگ و غده به همراه داشت که بهبود کیفیت را باعث می‌شود.

منابع

۱- امامی ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه شماره ۹۸۲. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.

۲- چاکرالحسینی م.ر. و رونقی ع.م. ۱۳۷۹. تاثیر فسفر و آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت و سویا در یک خاک آهکی، مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک.

۳- خاوازی ک. و ملکوتی م.ج. ۱۳۸۰. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران. ۶۰۴ صفحه.

۴- رئیسی ف. ۱۳۷۴. تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر میزان جذب عناصر و تاثیر آن بر کیفیت و عملکرد غده سیب زمینی رقم کوزیما. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه صنعتی اصفهان.

5- Abbass Z., and Okon Y. 1993. Plant growth promoting by *Azotobacter paspali* in the rizosphere. Soil Biology and Biochemistry, 8(25): 1075-1083.

6- Bakker P.A., Van Peer H.M., and Shipers B. 1991. Suppression of soil-borne plant pathogens by fluorescent Pseudomonas: mechanism and prospect, In: beemstar A. B. R., Bollen M., Gerirch M., Russen M. A., Schipers B., Temple A. (eds), Biotic Interactions and Soil-borne Diseases. Elsevier, Amsterdam, pp. 221-230.

7- Barber S.A. 1980. Soil- plant interaction in the phosphorus nutrition of plants, pp. 591-616. In, Khasawneh F. E. (eds). The Role of Phosphorus in Agriculture, Soil Science Society of America, Madison, WI.

8- Biari A., Gholami A., and Rahmani H.A. 2008. Growth promoting and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. Journal of Biological Science, 8 (6): 1015-1020.

9- Borkert C.M., and Barber S.A. 1985. Predicting the most efficient phosphorus placement for soybean. Journal of Soil Science Society of America, 49: 901-904.

10- Carlot M., Giacomini A., and Casella S. 2002. Aspect of plant-microbe interactions in heavy metal polluted soil. Acta Biotechnologica, 22: 13-20.

11- Dongale J.H., and Kadrekar S.B. 1992. Yield responses of sorghum - rice rotation to phosphorus and available soil moisture in an Alfisol. Japon Science and Technology Agency, 70(3): 220-225.

12- Ekelof J. 2007. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Master Project in the Horticultural Science Programme, (30 ECTS), pp. 20

13- Jenkins P.D., and Ali H. 2000. Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. Annals of Applied Biology, 136:41-46.

14- Hallmark W.B., and Barber S.A. 1981. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybeans as affected by soil K and bulk density. Agronomy Journal, 73: 779-782.

15- Honsson I., and Reeder R.C. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response. Soil Tillage Research. 29 (2–3), 277–304.

16- Hopkins B., and Ellsworth J. 2003. Phosphorus Nutrition in Potato Production. Idaho Potato Conference, Idaho

University.
17- Khalid A., Arshad M., and Zahir Z.A. 2006. Phytohormones: Microbial production and applications, pp. 207-220. In Uphoff N. (eds), Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Boca Raton, Florida, USA.
18- Kloepper J.W., Schrogh N.M., and Miller T.D. 1980. Effect of rhizospher colonization by plant growth promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. Journal of Phytopathology, 70: 1078-1082.
19- Kloeper J.W., Scher F.M., Laliberte M., and Tipping B. 1986. Emergence Promoting Rhizobacteria:In Swinburne T. R. (eds). Description and Plant Diseases, Pelnum Publishing Company, New York, pp: 155-164.
20- Lifshitz R., Klopper J.W., Kozlowsky M., Simonson C., Carlson J., Tipping E., and Zaleska M. 1989. Growth promotion of Canola (rape seed) seedlings by a strain of Pseudomonas putida under gnotobiotic conditions. Canadian Journal of Microbiology, 33: 390-395.
21- Lonergan J.F., and Webb M.J. 1993. Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In, Robson, A. D. (ed) Zinc in Soils and Plants, kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 119-134.
22- Raza W., Yousaf S., Niaz A., Rasheed M.K., and Hussain I. 2005. Subsoil compaction effects on soil properties, nutrient uptake and yield of maize fodder (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Botany, 37(4): 933-940.
23- Rolf B.G., Djordjevic M.A., Weinman J.J., Mathesius U., Pittock C., Gartner E., Ride K.M., Dong Z., Mocully M., and Molver J. 1997. Root morphogenesis in legumes and cereals and the effect of bacterial inoculation on root development. Plant and Soil, 194: 131-144.
24- Sims J.T., and Sharpley A.N. 2005. Phosphorus: Agriculture and the environment American Society of Agronomy, Inc, Wisconsin USA. 1121pp.
25- Sindhu S.S., Sunjea S., Goel A.K., Permar N., and Dadarwal K.R. 2002. Plant growth promoting effect of Pseudomonas sp. On co inoculation with Mesorhizobium sp. Cicer strain under sterile and wilt sick soil conditions. Applied Soil Ecology, 19: 57-64.
26- Tukaki J.L., and Mahler R.L. 1990. Evaluation of nutrient solution phosphorus concentration in plantlet tuber production under greenhouse condition. Journal of plant Nutrition, 13(1): 149-168.
27- Wagar A., Shahroona B., Zahir Z.A., and Arshad M. 2004. Inoculation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agriculture Science, 41: 119-124.
28- Walley F.L., and Germida J.J. 1997. Response of spring wheat (*Triticum aestivum*) to interactions between Pseudomonas species and Glomus clarum. Biology and Fertility of Soils, 24: 365-371.
29- Westermann D.T., Bosma S., and Kay M.A. 1994. Nutrient concentration relationships between the fourth petiole and upper-stem of potato plants. American Potato Journal, 71:817-829.
30- Woodard H.J., and Bly A. 2000. Maize growth and yield responses to seed-inoculated N_2-fixing bacteria under dryland production. Journal of Plant Nutrition, 23: 55-65

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 260-271

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۲۷۱-۲۶۰

The Effects of Phosphorus and Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacter (PGPR), Pseudomonas Fluorescent, on Yield and Quality of Potato Tuber (Agria Cultivar).

M. Behbood [1]*- A. Golchin[2]- H. Besharati[3]

Received:25-9-2010
Accepted:2-10-2011

Abstract

To study the effects of different levels of phosphorus and inoculation with plant growth promoting rhizobacter (PGPR), *Pseudomonas fluorescent,* on tuber yield and quality of potato a factorial experiment with completely randomized design and three replications was performed in greenhouse of Soil Science Department, Zanjan University, Zanjan, Iran. In this experiment, potato tubers were sown in planting boxes using a loamy soil and factorial combinations of four levels of phosphorus and two levels of PGPR. The phosphorus levels were 0, 15, 30, and 45 mg/kg soil and treatments with and without PGPR were also included in the experiment. The results showed that potato yield and leaf concentrations of macro-elements, except potassium, increased as the levels of soil phosphorus increased. But the leaf concentrations of micro-elements decreased as the soil phosphorus levels increased. The potato yield and leaf concentrations of macro- and micro-elements increased in PGPR inoculated treatments. The interactive effects of phosphorus and PGPR levels were significant on potato yield and dry matter content of tuber and these traits increased as the phosphorus and PGPR levels increased. The interactive effects of phosphorus and PGPR levels were also significant on leaf concentrations of macro-element, except nitrogen, but not on leaf concentrations of micro-elements. The results of this study indicate that potato yield, size, number and dry matter content of tuber and leaf concentrations of macro-elements, except potassium, increase with increasing soil phosphorus levels up to 45 mg/kg soil. But the leaf concentrations of micro-elements decrease as the soil phosphorus levels increase. Inoculation with PGPR improved potato yield and quality of tubers.

Keywords: Potato, Phosphorus, Plant Growth Promoting Rhizobacter, *Pseudomonas Fluorescent*, Leaf Concentrations of Macro- and micro- elements

1,2- MSc Student and Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Zanjan University
(*-Corresponding Author Email: mohammad.behbod@gmail.com)
3- Assistant Professor of Soil Science Department, Soil and Water Research Institute, Karaj