

تأثیر کودهای زیستی فسفر بر عملکرد و جذب فسفر در سیب زمینی

مصطفی قبادی^{1*}، شاهرخ جهانبین²، حمیدرضا اولیایی³، رحیم مطلبی فرد⁴ و خسرو پرویزی⁴

تاریخ دریافت: 89/12/24 تاریخ پذیرش 91/08/24

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه یاسوج

² استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج

³ استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج

⁴ اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

* مسئول مکاتبه: Email: gobady1364@yahoo.com

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی فسفر بر فراهمی فسفر خاک، عملکرد و میزان فسفر جذب شده در سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم ساوالان، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال 1388 در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان اجرا گردید. تیمارها شامل 1) بدون استفاده از کود شیمیایی و زیستی (شاهد)، 2) 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (TSP)، 3) 200 کیلوگرم (TSP) در هکتار، 4) 300 کیلوگرم کود بیوفسفات طلایی با 3600 گرم پودر باکتری تیوباسیلوس در هکتار، 5) 100 کیلوگرم (TSP) + تیمار چهارم، 6) 300 کیلوگرم کود بیوفسفات طلایی به همراه 7200 گرم پودر باکتری تیوباسیلوس در هکتار، 7) 100 کیلوگرم (TSP) + تیمار ششم، 8) 5 لیتر در هکتار مایه تلقیح بیوفسفر، 9) 100 کیلوگرم (TSP) + تیمار هشتم، 10) 10 لیتر در هکتار مایه تلقیح بیوفسفر و 11) 100 کیلوگرم (TSP) + تیمار دهم بودند. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت فسفر غده (0/284%)، میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک (26/6 mg/kg)، حداکثر عملکرد (67083 kg ha^{-1}) و کمترین pH خاک (7/8) در تیمار 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار و بیشترین غلظت فسفر برگ (0/3%)، ماده خشک غده (24/8%) و بلندترین ارتفاع ساقه (82 cm) نیز متعلق به تیمار 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار بود. کمترین میزان عملکرد، فسفر غده و برگ، ارتفاع ساقه، فسفر قابل جذب گیاه در خاک و هم‌چنین بالاترین میزان pH (8/26) در تیمار شاهد ثبت گردید. بطور کلی برای رشد سیب زمینی در خاکهای مشابه، مصرف 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار می‌تواند توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: خاک، سیب زمینی، عملکرد، فسفر، کود زیستی

The Effect of Phosphorus Biofertilizers on Yield and Phosphorus Uptake in Potato

M Ghobady^{*1}, S Jahanbin², HR Owliae³, R Motalebifard⁴ and K Parvizi⁴

Received: 15 March 2011 Accepted: 14 November 2012

¹M.Sc. Student of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj Univ. Iran.

²Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj Univ. Iran.

³Assoc. Prof., Dept of Soil Sci., Yasouj Univ. Iran.

⁴Faculty Members of Agricultural and Natural Resource Research Center of Hamedan. Iran.

*Corresponding Author E-mail: gobady1364@yahoo.com

Abstract

To evaluate the effect of phosphorus biofertilizers on soil phosphorus availability, yield and phosphorus absorption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Savalan, a field experiment was conducted based on randomized complete blocks design with three replications in Agricultural Research Center of Hamedan during 2009. Treatments were included: (1) control; (2) 100 kg ha⁻¹ triple super phosphate (TSP), (3) 200 kg ha⁻¹ TSP; (4) 300 kg ha⁻¹ Golden Biophosphate + 3600 g ha⁻¹ of *Thiobacillus*; (5) 100 kg ha⁻¹ + treatment four; (6) 300 kg ha⁻¹ Golden Biophosphate and 7200 g ha⁻¹ *Thiobacillus*; (7) 100 kg ha⁻¹ TSP + treatment six; (8) 5 Lha⁻¹ Biophosphor inoculation (BIS) (*Pseudomonas* and *Thiobacillus*); (9) 5 Lha⁻¹ of BIS and 100 kg ha⁻¹ TSP; (10) 10 Lha⁻¹ of BIS and (11) 10 Lha⁻¹ of BIS and 100 kg ha⁻¹ TSP. The results showed that maximum P concentration in tuber (0.284%), available phosphorus of soil (26.6 mg/kg) and yield (67083 kg ha⁻¹) and minimum of soil pH (7.8) were obtained with 100kg ha⁻¹ TSP and 300 kg ha⁻¹ golden biophosphat and 7200 g ha⁻¹ in *Thiobacillus* treatment. Also 100 kg ha⁻¹ TSP and 300 kg ha⁻¹ golden biophosphat plus 3600 g ha⁻¹ *Thiobacillus* treatment had highest P concentration of leaves (0.3 %), dry matter of tuber (24 %) and stem height (82 cm). Lowest amount of yield, tuber, leaves and soil phosphorus and stem height and highest rate of soil pH (8.26) was resulted in control treatment. In general, to achieve the optimum growth of potato in similar soils, application of 100 kg ha⁻¹ TSP and 300 kg ha⁻¹ golden biophosphat plus 3600 g ha⁻¹ *Thiobacillus* could be recommended.

Keywords: Biofertilizer, Phosphorus, Potato, Soil, Yield



مقدمه

ترکیبات انرژی‌زا، ساخت و انتقال انرژی، نقش مهمی دارد. کمبود این عنصر، فعل و انفعالات سوخت و ساز نظیر تبدیل قند به نشاسته را در گیاه متوقف ساخته و

فسفر از جمله عناصر غذایی اصلی مورد نیاز گیاه است که در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی،

ریزجانداران در محلول سازی فسفر از کمپلکس‌های فسفات کلسیم نقش دارند و تنها بخش کوچکی از فسفر را از ترکیبات فسفات آهن و فسفات آلومینیوم آزاد می‌سازند. از این رو ریزجانداران نقش مؤثرتری در خاک‌های آهکی دارند که این‌گونه خاک‌ها حاوی مقادیر فراوانی فسفات کلسیم می‌باشند (حامیدا و همکاران 2006). دویی و بیلور (1992) نشان دادند که اضافه کردن سنگ فسفات (آپاتیت) به همراه حل‌کننده‌های فسفات باعث افزایش عملکرد ذرت، بقولات، سیبزمینی و دیگر محصولات می‌شود. همچنین آنها نشان دادند سنگ فسفات (آپاتیت) را می‌توان به همراه حل‌کننده‌های فسفات در خاک‌های خنثی و آهکی استفاده نمود. در دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی در رابطه با استفاده از این باکتری‌ها متمرکز بوده است. نتایج این تحقیقات نشان داده است که سازوکارهای زیادی مسئول افزایش رشد و عملکرد در گیاهان می‌باشند. علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی، پیش ماده هورمون‌های گیاهی به وسیله ریزجانداران در ریزوسفر گیاه، توان تولید ACCA² دامیناز، کنترل پاتوژن‌های گیاهی، قدرت حل‌کنندگی فسفات و تولید سیدروفور از جمله مکانیسم‌های افزایش رشد و عملکرد در گیاهان می‌باشد (بانریچ و همکاران 2006). گلیک و همکاران (1995) اعلام نمودند که شواهدی دال بر افزایش فراهمی عناصر غذایی گیاه در ریزوسفر به دلیل فعالیت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد وجود دارد. سازوکار عمل در این مورد شامل افزایش انحلال عناصر غذایی و یا تولید مواد کلات‌کننده مانند سیدروفورها و اسیدهای آلی می‌باشد. تولید اسیدهای آلی مثل گلوکونیک باعث اسیدی شدن محیط اطراف ریشه آزادسازی فسفر می‌شود، سازوکارهای دیگری برای انحلال فسفر پیشنهاد شده‌اند که عبارت از تولید مواد کلات‌کننده، تولید اسیدهای معدنی از قبیل اسیدسولفوریک، اسیدنیتریک و اسیدکربنیک به وسیله ریزجانداران خاک می‌باشد

بر اثر عدم تبدیل قند به نشاسته، آنتوسیانین (رنگ ارغوانی) در برگ تشکیل می‌شود (ملکوتی و نفیسی 1373). در صورت کمبود فسفر در سیبزمینی، قسمت بالایی برگ‌ها به رنگ سبز تیره متمایل می‌شود و برگ‌های پایین ساقه به رنگ ارغوانی درمی‌آید.

فسفر در بیشتر خاک‌ها با کلسیم و به ندرت با آهن و آلومینیوم تشکیل کمپلکس می‌دهد. به دلیل ظرفیت بالای برخی خاک‌ها برای تثبیت فسفر، تحرک آن در خاک در مقایسه با سایر عناصر بسیار کم است. در خاک‌های آهکی رسوب فسفر به صورت فسفات کلسیم، عامل اصلی کاهش قابلیت جذب فسفر در خاک به شمار می‌رود (کوار و باربر 1998). جلالی و کلاهچی (1380) نشان دادند زمانی که کود فسفر به خاک افزوده می‌شود، بخشی از آن باعث افزایش فسفر محلول و مابقی رسوب می‌نماید و با قدرت زیاد در خاک تثبیت می‌شود که به آسانی با فسفر محلول به تعادل نمی‌رسد. جاوید و روویل (2002) در مطالعه اثر خوابانیدن¹ بر قابلیت عصاره‌گیری فسفر گزارش کردند که بعد از گذشت 45 تا 90 روز تا 80 درصد از فسفر مصرفی به صورت غیر قابل جذب درآمده و قابل عصاره‌گیری به روش اولسن نیست. جلالی و کلاهچی (1384) اعلام کردند که برای افزایش فسفر قابل جذب به میزان 10 میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک باید 40-55 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک استفاده کرد. نتایج به دست آمده توسط این محققان نشان می‌دهد که به طور متوسط 78 درصد کود فسفر مصرفی طی مدت سه هفته به شکل غیر قابل جذب تبدیل می‌شود.

دخالست ریزجانداران در افزایش حل‌پذیری فسفات‌های معدنی، در دهه اول قرن بیستم شناخته شد و از آن زمان تاکنون مطالعات زیادی در این باره انجام شده است. باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جنس‌های *Bacillus*، *Pseudomonas* به ویژه *Thiobacillus* و همچنین چند نوع قارچ در انحلال فسفات نقش دارند. اکثر این

²Amino Cyclopropane Carboxylic Acid

¹ Incubation

سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران 176 هزار هکتار می‌باشد. سیب‌زمینی به علت دارا بودن ریشه سطحی از نظر جذب فسفر ناکارا می‌باشد. استان همدان با سطح زیر کشت 25616 هکتار و متوسط عملکرد 38834 کیلوگرم در هکتار، با تولید 900000 تن غده سیب‌زمینی در سال (بی‌نام 1387) یکی از مهم‌ترین استان‌های تولیدکننده سیب‌زمینی در کشور است. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در حدود یک تن در هکتار در زمین‌های زیر کشت سیب‌زمینی باعث ایجاد آلودگی‌های زیستی شده است. استفاده ترکیبی از کودهای شیمیایی، آلی و زیستی به عنوان مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی، ضرورت پژوهش در این زمینه برای کاهش این معضلات را لازم می‌سازد. بنابراین این مطالعه با اهداف کلی زیر صورت گرفت:

- 1- ارزیابی اثر کودهای زیستی فسفر به عنوان کود مکمل برای سیب‌زمینی
- 2- بررسی امکان افزایش عملکرد سیب‌زمینی با استفاده از کودهای زیستی فسفر
- 3- بررسی امکان جایگزینی کامل کودهای شیمیایی فسفر با کودهای زیستی فسفر و کودهای آلی

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین تأثیر سطوح مختلف دو نوع کود زیستی فسفر تولید داخل کشور، کودهای بیوفسفر و بیوفسففات طلایی به صورت مجزا و در ترکیب با کود شیمیایی سوپرفسففات تریپل بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی رقم ساوالان، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان در سال 1388 اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل: تیمار اول: شاهد (بدون استفاده از کود زیستی و کود شیمیایی سوپر- فسفات تریپل (TSP0)، تیمار دوم: 100 کیلوگرم در هکتار سوپرفسففات تریپل (TSP100)، تیمار سوم: 200 کیلوگرم در هکتار سوپرفسففات تریپل (TSP200)، تیمار

(گیانشوار و همکاران 2002). در پژوهشی که فرزانا و رادیزه (2005) در مورد تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر عملکرد سیب‌زمینی انجام دادند، افزایش معنی‌داری در وزن خشک ساقه و ریشه را در گیاهان تلقیح شده با باکتری گزارش کردند. جذب عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. این محققان اظهار داشتند که افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و آب، باعث افزایش رشد می‌شود. ریشه رشد یافته در مجاور باکتری‌های حل‌کننده فسفات با افزایش تولید سیدر فور و آنتی بیوتیک و تقویت قدرت رقابت گیاه در مصرف مواد غذایی با پاتوژن‌های بیماری‌زا در ریزوسفر، مانع رشد پاتوژن‌های بیماری‌زای گیاهی می‌شود که در نهایت این عوامل باعث افزایش رشد گیاه تلقیح شده با باکتری‌ها نسبت به گیاه کنترل (شاهد) می‌شود. اکسین تولید شده توسط این باکتری‌ها با تحریک توسعه سلولی باعث افزایش رشد گیاه، ریشه‌زایی و افزایش شاخه‌زایی می‌شود (فرانکنبرگر و ارشد 1995).

مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی یکی از چالش‌های مهم کشاورزی است. پیامد مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی فسفات‌ها علاوه بر تجمع بیش از نیاز فسفر، باعث ایجاد رقابت در جذب عناصر ریز مغذی به ویژه روی (Zn)، اتلاف سرمایه، کاهش جمعیت قارچ میکوریزا و از همه مهم‌تر تجمع بیش از حد کادمیم در محصولات کشاورزی می‌شود. بنابراین با مصرف بیش از حد کودهای فسفات‌ها عناصر سمی، مانند کادمیم توسط گیاهان جذب و وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌گردد (بایبوردی و ملکوتی 1380). مصرف کودهای زیستی با کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در پی آن کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی یکی از راهبردهای مهم برای نیل به کشاورزی پایدار است.

باکتری تیوباسیلوس با میزان مشخص شده در تیمارها، با کود بیوفسفات طلایی ترکیب و قبل از کاشت به صورت نواری استفاده شد. کود بیوفسفر به صورت سوسپانسیون حاوی باکتری تیوباسیلوس (*T. thioparus*) و سودوموناس (*P. fluorescence*) به همراه مواد نگهدارنده می‌باشد که قبل از کشت با نسبت‌های مشخص رقیق شده (با استفاده از آب مقطر) و محلول بدست آمده به میزان مشخص در تیمارها با بذور غده-ای تلقیح (محلول پاشی) شد. کودهای نیتروژن (اوره) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) با توجه به نتیجه آزمون خاک به ترتیب 250 و 150 کیلوگرم در هکتار مصرف شد. کود نیتروژنه مورد استفاده در سه نوبت (یک نوبت قبل از کشت، نوبت دوم در مرحله چهار برگی بوته و نوبت سوم یک هفته قبل از گل‌دهی) در کرت‌ها به صورت دستی، پاشیده شد. فسفر قابل جذب گیاه در خاک مزرعه مورد نظر 7/6 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که این میزان کمتر از حد مطلوب مورد نیاز برای کشت سیب-زمینی می‌باشد. خاک مزرعه مورد نظر دارای pH بالا (8/2) بود که باعث افزایش تثبیت فسفر در خاک می‌شد. لازم به ذکر است، سال قبل از آزمایش زمین مورد نظر به صورت آیش بوده است. تمامی کودهای مورد استفاده به صورت نواری با دست در عمق 5 سانتیمتر در زیر بذر ریخته شد. تمام عملیات کاشت، داشت و برداشت به صورت دستی انجام گرفت. ارتفاع ساقه در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری خاک جهت تعیین میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک و pH خاک، بعد از برداشت محصول انجام گرفت و نمونه خاکی به وزن 2 کیلوگرم برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد. جهت تعیین غلظت فسفر برگ، در مرحله گلدهی از پهن-ترین برگ جوان بوته نمونه‌گیری صورت گرفت. تعیین میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک با روش اولسن و اندازه‌گیری میزان فسفر گیاه، هضم با خشک سوزانی و ترکیب با اسیدکلریدریک و رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج 470 نانومتر (امامی 1375)، تعیین میزان نیتروژن غده با روش کج‌دال

چهارم: 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی با 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار (GBP300+Thio3.6)، تیمار پنجم: 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به همراه 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی و 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار (TSP100+GBP300+Thio3.6)، تیمار ششم: 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی با 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار (GBP300+Thio7.2)، تیمار هفتم: 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به همراه 300 کیلوگرم کود بیوفسفات طلایی با 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار (TSP100+ GBP300+Thio7.2)، تیمار هشتم: مایع تلقیح بیوفسفر به صورت بذرمال به میزان 5 لیتر در هکتار (BP5)، تیمار نهم: 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به همراه مایع تلقیح بیوفسفر به صورت بذرمال به میزان 5 لیتر در هکتار (TSP100+BP5)، تیمار دهم: مایع تلقیح بیوفسفر به صورت بذرمال به میزان 10 لیتر در هکتار (BP10) و تیمار یازدهم: 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به همراه مایع تلقیح بیوفسفر به صورت بذرمال به میزان 10 لیتر در هکتار (TSP100+BP10) بود

ابعاد هر کرت مزرعه‌ای 3 متر در 10 متر، فاصله ردیف-های کشت 75 سانتی‌متر و فاصله بوته بر روی ردیف-ها 25 سانتی‌متر بود. کشت با استفاده از بذور غده‌ای به وزن 45 تا 85 گرم و بدون برش انجام شد. بیوفسفات طلایی حاوی ترکیبی از ماده‌آلی (25%)، گوگرد (20%)، سولفات روی (15%)، سنگ فسفات (40% حاوی 17% فسفر (P₂O₅)) و پودر حاوی باکتری اکسیدکننده گوگرد (ترکیبی از گونه‌های تیوباسیلوس شامل *T. ferrooxidans* و *T. thiooxidans*، *T. thioparus*) این باکتری‌ها به منظور کسب انرژی لازم برای رشد و نمو و سایر فعالیت‌های خود ترکیباتی چون گوگرد عنصری (S)، سولفیت‌ها، تتراتیونات و تیوسولفات را اکسید می‌کنند. این باکتری‌ها از انواع باکتری‌های اتوتروف خاک بوده که انرژی خود را از اکسایش گوگرد تأمین می‌کنند (خاوازی و همکاران 1384). پودر

(امامی 1375) و تجزیه آماری داده ها با نرم افزار SAS صورت گرفت

جدول 1- نتایج تجزیه فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش (عمق 0-30 سانتی متر)

هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	pH گل اشباع	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب گیاه (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک
0/45	8/2	7/14	0/62	7/6	248	13	31	56	Sandy Loam

نتایج و بحث

میزان فسفر در برگ و غده

اثر تیمارها بر این شاخصها در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول 2). بیشترین میزان فسفر غده (0/284%) و همچنین بالاترین غلظت فسفر برگ (0/3%) مربوط به تیمار ترکیبی 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار و کمترین آنها مربوط به تیمار شاهد بود (جدول 4). جذب عناصر غذایی توسط گیاه تابع دو عامل، رشد سیستم ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک به خصوص در ریزوسفر می باشد. کودهای زیستی از طریق ترشح اسیدهای آلی و معدنی باعث افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در ریزوسفر می شود. همچنین ریزجانداران موجود در کودهای زیستی با ترشح پیش ماده هورمون های تنظیم کننده رشد گیاه و کنترل پاتوژن های گیاهی باعث افزایش رشد ریشه گیاهان می شود (خالد و همکاران 2004).

نتایج گزارش شده توسط میتال و همکاران (2008) مبنی بر تأثیر مثبت کاربرد توأم کودهای زیستی و آلی فسفر بر غلظت فسفر اندام های گیاه نخود با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت. نتایج آزمایشات انجام گرفته توسط توکاک و ماهر (1990) نیز نشان داد که افزایش کودهای فسفر باعث افزایش خطی غلظت فسفر گیاه شد. در یک پژوهش در همین راستا با تجزیه کل قسمت های هوایی، غلظت فسفر با

سطوح مختلف کود فسفر همبستگی مثبت و بالایی داشت (اکیوف 2007). در آزمایش مشابه دیگری نیز غلظت فسفر در برگ در مرحله غده زایی در تمامی سطوح فسفر نسبت به تیمار بدون استفاده از فسفر اختلاف معنی داری داشت (روزن و همکاران 2010). در این تحقیق غلظت فسفر برگ و غده همبستگی مثبت و معنی دار با میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک و ماده خشک داشت که احتمالاً این همبستگی به دلیل نقش مهم فسفر در سنتز کربوهیدرات به خصوص نشاسته می باشد. همچنین pH خاک با غلظت فسفر غده، برگ و فسفر قابل جذب گیاه در خاک همبستگی منفی و معنی داری داشت (جدول 6). این نتیجه توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (اکیوف 2007، توکاک و ماهر 1990، میتال و همکاران 2008).

نیترोजن غده

اثر تیمارها بر نیترोजن غده در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول 2). بیشترین درصد نیترोजن غده در تیمار 10 لیتر مایع تلقیح بیوفسفر در هکتار (1/85%) و کمترین میزان آن نیز در تیمار ترکیب 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار (0/92%) ثبت گردید (جدول 3). میزان نیترोजن غده با میزان فسفر غده رابطه معکوسی داشت که این مسئله احتمالاً به دلیل اثر رقت در غده بود، زیرا میزان کود نیترोजن به کار برده شده، ثابت، ولی میزان فسفر متفاوت بود. مصرف کود

توسط باکتری‌های تیوباسیلوس اکسید شده و اسید سولفوریک حاصل از اکسیداسیون گوگرد با فسفر موجود در خاک واکنش داده و تولید مواد محلول‌تری مانند دی و مونوکلسیم فسفات می‌کند. ملکوتی و همکاران (2001) گزارش کردند استفاده از سنگ فسفات به همراه گوگرد و تیوباسیلوس اگر با مواد آلی همراه گردد، حتی می‌تواند مؤثرتر از سوپر فسفات تریپل باشد. در تحقیق حاضر نیز چند نوع کود زیستی با کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف ترکیب شد تا باعث تسهیل در قابلیت دسترسی فسفر گردد. بررسی تجزیه ضرایب همبستگی نشان دهنده همبستگی منفی و معنی- دار فسفر قابل جذب گیاه در خاک با pH خاک بود که مؤید ارتباط معکوس pH با قابلیت جذب فسفر در خاک است (جدول 6).

فسفر باعث افزایش عملکرد و کاهش درصد نیتروژن در غده شد. در تجزیه ضرایب همبستگی، بین صفات عملکرد و درصد نیتروژن غده همبستگی منفی و معنی- دار مشاهده شد (جدول 6).

فسفر قابل جذب گیاه در خاک

یکی از راهکارهای تشخیص نیاز گیاه به فسفر اندازه‌گیری فسفر قابل جذب گیاه در خاک است. اثر کاربرد سطوح مختلف کود فسفات در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 2). بیشترین (26/6 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کمترین (6/9 میلی- گرم در کیلوگرم خاک) میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک به ترتیب مربوط به تیمار ترکیب 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار و تیمار شاهد بود (جدول 4). استوانسون و کول (1999) گزارش کردند که گوگرد

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت فسفر برگ، غده و نیتروژن غده، pH خاک و فسفر قابل جذب در گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر غده	فسفر برگ	فسفر قابل جذب گیاه در خاک	pH خاک	نیتروژن
تکرار	2	0/00001 ^{ns}	0/00003 ^{ns}	2/5 ^{ns}	0/03 ^{ns}	0/33 ^{ns}
تیمار	10	0/005 ^{**}	0/006 ^{**}	151 ^{**}	0/05 ^{**}	0/39 ^{**}
خطا	20	0/00005	0/00007	0/88	0/01	0/43
ضریب تغییرات (%)		3/5	3/6	6	1/5	13/9

ns, **, * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

جدول 3- تجزیه واریانس عملکرد سیب زمینی، درصد ماده خشک غده، متوسط وزن تک غده در بوته و ارتفاع ساقه

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک غده	متوسط وزن تک غده در بوته	ارتفاع ساقه	عملکرد
تکرار	2	4/2 ^{ns}	15/34 ^{ns}	1/3 ^{ns}	41738189 ^{ns}
تیمار	10	11 ^{**}	132/47 ^{**}	125/5 ^{**}	452655949 ^{**}
خطا	20	2	38/3	3/5	29357964
ضریب تغییرات (%)		6/6	5/6	2/55	12/3

ns, **, * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

جدول 4- مقایسه میانگین‌های فسفر قابل جذب گیاه در خاک، فسفر برگ، غده و نیتروژن غده و pH خاک تحت تأثیر مقادیر

مختلف کود شیمیایی و زیستی فسفر

تیمارهای آزمایش	فسفر غده (%)	فسفر برگ (%)	فسفر قابل جذب گیاه در خاک (mg/kg)	pH خاک	نیتروژن غده (%)
TSP ₀	0/15 ^f	0/156 ^e	6/9 ^f	8/26 ^a	1/8 ^a
TSP ₁₀₀	0/16 ^e	0/216 ^c	9/6 ^e	8/2 ^{ab}	1/75 ^a
TSP ₂₀₀	0/26 ^b	0/293 ^a	24/7 ^a	8/14 ^{ab}	1/03 ^b
GBP ₃₀₀ + Thi _{03,6}	0/21 ^d	0/25 ^b	14/2 ^d	8 ^{bcd}	1/47 ^a
GBP ₃₀₀ + Thi _{03,6} + TSP ₁₀₀	0/27 ^b	0/3 ^a	25 ^a	7/9 ^{cd}	0/926 ^b
GBP ₃₀₀ + Thi _{07,2}	0/216 ^d	0/243 ^b	14/6 ^{cd}	7/93 ^{cd}	1/6 ^a
GBP ₃₀₀ + Thi _{07,2} + TSP ₁₀₀	0/284 ^a	0/296 ^a	26/6 ^a	7/8 ^d	0/92 ^b
BP ₅	0/18 ^e	0/19 ^d	8/7 ^e	7/93 ^{cd}	1/84 ^a
BP ₅ + TSP ₁₀₀	0/21 ^d	0/253 ^b	16/4 ^b	8 ^{bcd}	1/65 ^a
BP ₁₀	0/17 ^e	0/193 ^d	8/1 ^{ef}	7/96 ^{cd}	1/85 ^a
BP ₁₀ + TSP ₁₀₀	0/236 ^c	0/253 ^b	15/8 ^{cb}	7/96 ^{cd}	1/58 ^a

اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن ($p \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند

* TSP₀: بدون کود شیمیایی فسفر؛ TSP₁₀₀: 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار؛ TSP₂₀₀: 200 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل؛ GBP₃₀₀: 300 کیلوگرم کود بیوفسفات طلایی در هکتار؛ Thi_{03,6}: 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار؛ Thi_{07,2}: 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار؛ BP₅: کود بیوفسفر 5 لیتر در هکتار؛ BP₁₀: کود بیوفسفر 10 لیتر در هکتار

pH خاک

سوکسینات، سیترات، گلوتامات و کتوگلوکونات اشاره کرد (گیانیشوار و همکاران 2002). همچنین باکتری‌های جنس تیوباسیلوس از مهم‌ترین انواع باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک می‌باشد که قادرند ترکیبات مختلف گوگرد را اکسید کنند (خاوازی و همکاران 1384). اسیدسولفوریک تولید شده توسط باکتری‌های تیوباسیلوس و اسیدهای آلی (گلوکونیک) و معدنی (اسید سولفوریک اسید نیتریک و اسید کربنیک) تولید شده توسط باکتری‌های سودمونس باعث اسیدی شدن ریزوسفر می‌شود. در پژوهشی که توسط محمدی‌آریا و همکاران (2010) در ارتباط با pH خاک و حل‌پذیری فسفر در شرایط آزمایشگاهی انجام شد، گزارش کردند که تغییرات pH خاک همبستگی منفی و معنی‌داری با فسفر محلول داشت. بدین صورت که با کاهش pH خاک میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک افزایش پیدا کرد. بعضی از این ریزجانداران قادرند از طریق کاهش pH محیط سبب حل‌پذیری بیشتر فسفر خاک شوند. با این

اثر تیمارها بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 2). کمترین pH خاک مربوط به تیمار ترکیب 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار به میزان 7/8 و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد معادل 8/26 مشاهده شد (جدول 4). حل‌پذیری فسفر به صورت پیچیده‌ای به ارتباط بین یون‌ها و تأثیر pH بر این ارتباطات و مقدار فسفری که جذب ذرات رس شده‌اند وابسته است. مناسب‌ترین pH برای قابل استفاده بودن فسفر در خاک حدود 6/5 است. در pH پایین‌تر از 6/5 فسفر با آهن و آلومینیوم و در pH بالاتر با کلسیم ترکیب و غیرفعال می‌شود (کوایروبیس و همکاران 2005). ریزجانداران حل‌کننده فسفات قادر به تولید اسیدهای آلی مختلفی هستند که از آن جمله می‌توان به استات، لاکتات، اکسالات، تارتارات، گلیکولات،

نشان داده است که عملکرد غده و رشد سیبزمینی به کاربرد کود فسفر و اکنش فوق العاده‌ای نشان داده است. استفاده از ترکیب کودهای زیستی، شیمیایی و آلی به عنوان جایگزین کودهای شیمیایی می‌تواند با ایجاد تعادل بین عناصر خاک و بهبود شرایط ریزوسفر مانند کاهش pH خاک (محمدی‌آریا و همکاران 2010) و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی به خصوص فسفر باعث افزایش عملکرد غده سیبزمینی گردد. آلوارز و همکاران (1999) نیز 13 سطح فسفر را در یک خاک دارای فسفر اولیه $7/8 \text{ mg/kg}$ خاک بر روی سیبزمینی آزمایش کردند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد غده سیبزمینی در سطوح مختلف فسفر در گروه آماری متفاوت نسبت به شاهد قرار گرفتند که نشان دهنده اهمیت فسفر در رشد و نمو گیاه سیبزمینی است. مولوبرهان (2004) گزارش کرد که کاربرد کودهای فسفر باعث تسریع در غده‌زایی سیبزمینی می‌شود. آزمایشی که توسط روزن و همکاران (2010) انجام شد نشان دهنده کاهش معنی- دار عملکرد کل غده سیبزمینی در نمونه شاهد نسبت به تیمارهای کودی فسفر بود. در این آزمایش بیشترین میزان عملکرد غده در pH برابر با 5 و مقدار فسفر قابل جذب گیاه در حدود 18 mg/kg در خاک حاصل شد. در حالت بدون استفاده از کود فسفر تعداد غده کاهش معنی‌داری نسبت به کاربرد کود فسفر داشت. یافته‌های تحقیق مولوبرهان (2004) مبنی بر تأثیر مثبت کاهش pH خاک و افزایش فسفر قابل جذب گیاه در خاک پس از کاربرد کودهای بیولوژیک بر عملکرد سیبزمینی با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همبستگی بین صفات مطالعه شده در تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد غده با فسفر قابل جذب گیاه در خاک، درصد فسفر غده، فسفر برگ و تعداد غده همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد ولی با pH خاک و نیتروژن غده همبستگی منفی داشت (جدول 6). این نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی در زراعت سیبزمینی است.

وجود به نظر نمی‌رسد که همیشه اسیدی کردن محیط موجب افزایش حلالیت فسفر گردد زیرا در برخی از تحقیقات مشاهده شده است که میان توانایی کاهش pH محیط و میزان محلول شدن فسفر هیچ گونه همبستگی مثبتی وجود ندارد، چون کاهش pH به صورت موقت است و در اثر خاصیت تامپونی خاک به حالت اولیه برمی‌گردد ولی تغییر موضعی آن سبب افزایش حلالیت فسفر می‌شود (گیانشوار و همکاران 2002). pH خاک با میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول 6). رابطه معکوس pH خاک با فسفر قابل جذب گیاه در خاک باعث کاهش جذب این عنصر و در نتیجه کاهش غلظت فسفر در برگ و غده در زمین‌های دارای pH بالا می‌شود.

عملکرد غده

اثر تیمارها بر این شاخص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). بیشترین و کمترین عملکرد غده معادل $67/08$ و $19/16$ تن در هکتار به ترتیب مربوط به تیمار ترکیب 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلیوس در هکتار و شاهد بود (جدول 5). با توجه به میزان pH بالای خاک ($8/2$) و فسفر قابل جذب کم ($7/6 \text{ mg/kg}$) زمین زراعی مورد استفاده در این پژوهش، کاربرد ترکیبی کودهای شیمیایی و بیوفسفات طلایی (حاوی ترکیبی از ماده آلی 25٪، گوگرد 20٪، سولفات روی 15٪)، سنگ فسفات (40٪ که حاوی 17٪ فسفر (P_2O_5)) و پودر باکتری تیوباسیلیوس) باعث کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی به خصوص فسفر گردید. در تیمارهای دیگر آزمایش بین سطوح مختلف کود بیولوژیک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. آزمایشات متعددی برای تعیین مقدار فسفر لازم برای رسیدن به رشد مطلوب سیبزمینی انجام شده است (اکیلوف 2007، اسماعیلی و همکاران 2009، آلوارز و همکاران 1999، روزن و همکاران 2010). نتایج این آزمایش‌ها

متوسط وزن غده سیبزمینی

اثر تیمارها بر این شاخص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). کمترین متوسط وزن غده (79/19 گرم) در تیمار 200 کیلوگرم کود شیمیایی فسفر در هکتار بود (جدول 5). کاربرد کودهای فسفر باعث افزایش تعداد غده در بوته شد (اکیلوف 2007). در اثر

افزایش تعداد غده، وزن غده کاهش می‌یابد به همین دلیل در تیمار کاربرد 200 کیلوگرم کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل باعث افزایش تعداد غده و کاهش متوسط وزن غده در بین تیمارها شد

جدول 5- مقایسه میانگین‌های درصد ماده خشک غده، متوسط وزن تک غده و ارتفاع ساقه تحت تأثیر مقادیر مختلف کود شیمیایی و زیستی فسفر

تیمارهای آزمایش *	متوسط وزن تک غده در هر بوته (g)	ماده خشک غده (%)	ارتفاع ساقه (cm)	عملکرد (kg/ha)
TSP ₀	105/38 ^c	19 ^c	63 ^f	19167 ^f
TSP ₁₀₀	95 ^b	20/33 ^{bc}	70/06 ^{de}	41625 ^{de}
TSP ₂₀₀	79/18 ^c	23/03 ^{ab}	78/6 ^{abc}	55875 ^b
GBP ₃₀₀ + Thi _{0.3.6}	94/63 ^b	21/66 ^{bc}	94/63 ^{abc}	45333 ^{cde}
GBP ₃₀₀ + Thi _{0.3.6} + TSP ₁₀₀	90/77 ^b	24/8 ^a	82 ^a	59042 ^{ab}
GBP ₃₀₀ + Thi _{0.7.2}	94/82 ^{ab}	21 ^{bc}	5/33 ^{abc}	49208 ^{bcd}
GBP ₃₀₀ + Thi _{0.7.2} + TSP ₁₀₀	90/66 ^b	24/63 ^a	79 ^{abc}	67083 ^a
BP ₅	100/48 ^{ab}	19/96 ^c	68 ^{de}	38583 ^e
BP ₅ + TSP ₁₀₀	94/89 ^{ab}	21 ^{bc}	78 ^{bc}	45583 ^{cde}
BP ₁₀	99/39 ^{ab}	19/66 ^c	67 ^e	42042 ^{cde}
BP ₁₀ + TSP ₁₀₀	93/96 ^b	21/4 ^{bc}	78/3 ^{abc}	52000 ^{bc}

اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن ($p \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند

* TSP₀: بدون کود شیمیایی فسفر؛ TSP₁₀₀: 100 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار؛ TSP₂₀₀: 200 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل؛ GBP₃₀₀: 300 کیلوگرم کود بیوفسفات طلائی در هکتار؛ Thi_{0.3.6}: 3600 گرم باکتری تیوباسیلیوس در هکتار؛ Thi_{0.7.2}: 7200 گرم باکتری تیوباسیلیوس در هکتار؛ BP₅: کود بیوفسفر 5 لیتر در هکتار؛ BP₁₀: کود بیوفسفر 10 لیتر در هکتار

در کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی با کاهش pH خاک (محمدی‌آریا و همکاران 2010) علاوه بر افزایش قابلیت جذب فسفر، قابلیت جذب سایر عناصر غذایی نیز افزایش یافت (فرزانا و رادیزه 2005). کاهش pH خاک به وسیله باکتری‌های تیوباسیلیوس باعث افزایش قابلیت جذب آهن، گوگرد و بهبود تغذیه گیاه شد (بختیاری و همکاران 1380). به نظر می‌رسد تأمین نشدن نیاز فسفر گیاه در تیمار شاهد باعث کاهش تعداد غده و در نتیجه افزایش

وزن تک غده شده باشد به طوری که بیشترین وزن غده در تیمار شاهد (105/38 گرم) مشاهده شد (جدول 5).

ارتفاع ساقه

اثر تیمارها بر ارتفاع ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). بلندترین ارتفاع ساقه مربوط به تیمار ترکیب 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلائی به همراه کاربرد 3600 گرم باکتری تیوباسیلیوس در هکتار با 82 سانتی‌متر و کوتاه‌ترین ارتفاع ساقه نیز

عنصری ضروری برای متابولیسم گیاهی به خصوص متابولیسم کربوهیدرات است، تأمین فسفر مورد نیاز گیاه باعث افزایش ذخیره کربوهیدرات‌های غده می‌شود. چون در غده سیب‌زمینی کربوهیدرات عمدتاً به صورت نشاسته است. این امر باعث افزایش ماده خشک غده سیب‌زمینی می‌شود. در تحقیق صورت گرفته توسط اکیلوف (2007) نیز کاربرد کود فسفر همبستگی مثبتی با ماده خشک غده سیب‌زمینی داشت و وی رابطه خطی بین غلظت فسفر و ماده خشک غده را در تمامی تیمارها گزارش کرد و نتایج به دست آمده از این تحقیق‌ها با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی با pH خاک همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول 6). استفاده از ترکیب کود شیمیایی و زیستی فسفر فقط به تأمین فسفر محدود نمی‌شود، تمام مراحل چرخه گوگرد در خاک، شامل اکسید شدن، احیا، معدنی شدن یا آلی شدن ترکیب‌های گوگردی در خاک، توسط ریزجانداران خاک هدایت و تنظیم می‌شود. یون سولفات که مهمترین منبع تأمین نیاز گیاه به گوگرد است، توسط باکتری‌های اکسید کننده گوگرد (عمدتاً تیوباسیلوس) در خاک تولید می‌شود. در ضمن اکسایش گوگرد توسط این باکتری‌ها که همراه با تولید یک اسید معدنی قوی (اسیدسولفوریک) است، در انحلال کانی‌های مختلف و افزایش شکل قابل جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم، منیزیم و کبالت نیز بسیار مؤثر است. همچنین سولفید بعضی از عناصر کم مصرف مانند آهن، مس، روی، کبالت و مولیبدن، پس از اکسایش و تبدیل شدن به سولفات توسط این ریزجانداران به حالت محلول و قابل استفاده برای گیاهان درمی‌آید (صالح راستین 1380). عوامل ذکر شده از اثرات کودهای بیولوژیک باعث افزایش رشد گیاه و سنتز مواد ذخیره‌ای (درمورد سیب‌زمینی کربوهیدرات به ویژه نشاسته می‌باشد) در غده سیب‌زمینی، در نتیجه افزایش ماده خشک غده سیب‌زمینی (اکیلوف 2007) می‌شود.

مربوط به تیمار شاهد (بدون استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی فسفر) با 63 سانتی‌متر بود (جدول 5). در یک تحقیق کاربرد کود فسفر در خاک‌هایی که دارای کمبود فسفر بودند، باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ شد (گریول و تریهان 1993). همچنین جینکینس و علی (1999) گزارش کردند که کاربرد فسفر باعث افزایش عملکرد در اثر افزایش دریافت نور توسط کانوپی و تا حدودی افزایش کارایی تبدیل نور می‌شود. بررسی‌های پژوهشگران نشان داده است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق تولید هورمون‌های تحریک کننده رشد گیاه به ویژه انواع اکسین، سیتوکینین و جیبرلین رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث افزایش شاخص‌های رشدی و عملکرد در گیاهان مختلف می‌شود (زهیر و همکاران 2004، فرانکبرگر و ارشد 1991، میتال و همکاران 2008). کاربرد فسفر در خاک‌های دارای کمبود فسفر باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ شد (گریول و تریهان 1993).

درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی

اثر تیمارها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). بیشترین ماده خشک غده (24/8 درصد) مربوط به تیمار 100 کیلوگرم کودشیمیایی فسفر با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار بود که با تیمار 100 کیلوگرم کود شیمیایی با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار و تیمار 200 کیلوگرم کود شیمیایی فسفر اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی (19 درصد) در کرت‌های مربوط به تیمار اول (بدون مصرف کودهای شیمیایی و زیستی فسفر) مشاهده گردید (جدول 5). ماده خشک غده سیب‌زمینی با غلظت فسفر برگ، غده و میزان فسفر قابل جذب گیاه در خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول 6). با توجه به اینکه فسفر

جدول 6- همبستگی بین صفات مطالعه شده

ماده خشک غده	فسفر غده	فسفر برگ	فسفر قابل جذب گیاه در خاک	pH خاک	عملکرد غده	نیترژن غده
ماده خشک غده						
فسفر غده	۰/۷۵**					
فسفر برگ	۰/۷۴**	۰/۹۳**				
فسفر قابل جذب گیاه در خاک	۰/۸۷**	۰/۹۵**	۰/۹۴**			
pH خاک	-۰/۳۵*	-۰/۴۲*	-۰/۳۹*	-۰/۳۴*		
عملکرد غده	۰/۷۹**	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۸**	-۰/۴۶**	
نیترژن غده	-۰/۶۹**	-۰/۸۲**	-۰/۸۱**	-۰/۸۶**	۰/32 ^{NS}	-۰/۶۷**

NS، **، * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند

نتیجه‌گیری کلی

کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 7200 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار مشاهده شد. این دو تیمار در صفات مذکور اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند ولی اختلاف این دو تیمار با سایر تیمارها معنی‌دار بود. در نهایت می‌توان مصرف 100 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار را برای خاک‌ها و شرایط آب و هوایی مشابه توصیه نمود.

مصرف کودهای زیستی در این تحقیق باعث بهبود ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و خصوصیات کیفی سیب-زمینی گردید و بیشترین مقدار صفات مورد بررسی مانند عملکرد، ارتفاع ساقه، متوسط وزن غده در بوته، ماده خشک غده، فسفر جذب شده در غده و برگ و فسفر قابل جذب گیاه در خاک در تیمار ترکیب 100 کیلوگرم کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل با 300 کیلوگرم بیوفسفات طلایی به همراه کاربرد 3600 گرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار و تیمار ترکیب 100

منابع مورد استفاده

امامی، ع، 1375. روشهای تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه شماره 982، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.
 بایوردی ا و ملکوئی ج، م، 1380. تاثیر کاربرد سطوح مختلف عناصر فسفر و روی بر غلظت کادمیم در دو رقم سیب‌زمینی در سراب آذربایجان شرقی. مجله علوم آب و خاک، جلد 15، شماره 1. صفحه‌های 25 تا 38.

بختیاری م و ملکوتی م ج خاوازی ک و بای‌بوردی ا، 1380. جایگزینی بیوفسفات طلایی (خاک فسفات همراه با گوگرد، کود حیوانی و تیوباسیلوس) با سوپرفسفات تریپل در باغ‌های سیب کشور. مجله خاک و آب (ویژه نامه مصرف بهینه کود)، جلد 12، شماره 14. صفحه‌های 22 تا 36.

بی‌نام، 1387. آمار پایه‌ای جهاد کشاورزی استان همدان، سازمان جهاد کشاورزی استان همدان.
جلالی م و کلاه‌چی ز، 1384. فراهمی فسفر در خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفر در خاک‌های استان همدان. مجله علوم آب و خاک، جلد 19، شماره 1. صفحه‌های 53 تا 60.

خاوازی ک، رحمانی ه ا و ملکوتی م ج، 1384. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. انتشارات سنا.
صالح راستین ن، 1380. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. انتشارات سنا.

ملکوتی م ج و نفیسی م، 1373. مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم (ترجمه). چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

Alvarez-Sanches E, Etchevers JD, Ortiz J, Nunez R, Volke V and Martinez L, 1999. Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition* 22: 205-217.

Banerjee M, Yesmin RL and Vessey JK, 2006. Plant-growth promoting rhizobacteria as biofertilizer and biopesticides. Pp.137-181. In: Rai MK. (ed) *Handbook of Microbial Biofertilizers*. Food Production Press, USA.

Covarrubias-Ramírez JM, Castillo-Aguilar S and Vera-Nunez JA, 2005. Phosphorus uptake and use efficiency by potato cultivar Alpha using P. *Agrociencia* 39: 127-136.

Dubey SK and Billore SD, 1992. Phosphate solubilizing microorganism as inoculant and their role in augmenting crop productivity in India: A review. *Crop Research Hisar* 5: 1-11.

Ekelof J, 2007. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Saint Louis University Master project in the Horticultural Science Program Vol.2007: 2. 38 Pags. Downloaded from: <http://ex-epsilon.slv.se>.

Esmaili MA, Ahmadiania H, Ranjbar GA and Yasari E, 2009. A Consideration of optimum method for application of Phosphorous Bacterial in potato (*Solanum Tuberosum* L.) culture in Isfahan region of Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3: 2914-2918.

Frankenberger JW and Arshad M, 1995. *Phytohormones in Soils microbial Production and Function*. Marcel Dekker Inc. New York.

Farzana Y and Radizah O, 2005. Influence of Rhizobacterial inoculation on growth of the sweetpotato cultivar. *Online Journal of Biological Sciences* 1: 176-179.

Glick BR, Karaturovic DM and Newell PC, 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting pseudomonas. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 533-536.

Grewal JS and Trehan SP, 1993. Phosphorus and potassium nutrition of potato. *Advances in Horticulture* 7: 261-298.

Gyaneshwar P, Naresh Kumar G, Parekh LJ and Poole PS, 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil* 245: 83-93.

Hameeda B, Rupela OP, Reddy G and Satyavani K, 2006. Application of plant growth-promoting bacteria associated with composts and macro fauna for growth promotion of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Biological Fertilizer Soils* 44: 260-266.

Javid S and Rowell DL, 2002. A laboratory study of effect of time and temperature on the decline in Olsen P following phosphate addition to calcareous soils. *Soil Use Management* 18: 127-134.

- Jenkins PD and Ali H, 1999. Growth of potato cultivars applications of phosphate fertilizer. Annual Applied Biology 135: 431-438.
- Khalid A, Muhammad AM and Zahir ZA, 2004. Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Journal of Applied Microbiology 96: 473-480.
- Kovar JL and Barber V, 1998. Phosphorus supply characteristics of 33 soils as influenced by seven rates of phosphorus addition. Soil Science Society of American Journal 52: 160-165.
- Malekouti MJ, Khavazi K, Besharati H and Nourgholipour F, 2001. Review on the direct application of rock phosphate on the calcareous soils of Iran (country report). International meeting on direct application of rock phosphate and related appropriate thechnology-laster development and practical experiences, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Mittal V, Sigh O, Nayyar H, Kaur G and Tewari R, 2008. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awarvori* and *Pencillum citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2.). Soil Biology and Biochemistry 40: 718-727.
- Mohammady-Aria M, Lakzzian A, Haghnia GH and Berengi AR, 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresource Technology 101: 551-554.
- Mulubrhan H, 2004. The effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium fertilization on the yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown on vertisols of Mekele area. M.Sc. Thesis. Haramaya University, Ethiopia.
- Rosen C, Mcnearney M and Bierman P, 2010. Evaluation of specialty phosphorus fertilizer sources for potato. Northern Plains Potato Growers Association Research Reporting Meeting, Minnesota, USA.
- Stevenson, FJ and Cole MA, 1999. Cycle of Soil. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Tukaki JL and Mahler RL, 1990. Evaluation of nutrient solution phosphor concentration in plantlet tuber production under greenhouse condition. Journal of Plant Nutrition 13: 149-168.
- Zahir AZ, Arashad M and Frankenberger WF, 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: application and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81: 97-168.