نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره دوم، ۱۳۹۸
۸۴-۶۵
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2019.15359.1827

بررسی تأثیر کودهای زیستی بر کیفیت، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)

محمد کافی[۱]، *جعفر نباتی[۲]، آرمین اسکوئیان[۳]، احسان اسکوئیان[۴] و جواد شباهنگ[۵]

[۱]استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]استادیار گروه بقولات، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۳]دانشجوی دکتری گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۴]استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، مشهد، [۵]مربی گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۶

چکیده

سابقه و هدف: سیب‌زمینی یک محصول زراعی پرنهاده است که در ایران برای تولید آن کودهای حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار بسیار زیاد مصرف می‌گردد. با این وجود عملکرد آن کم‌تر از پتانسیل آن در شرایط مطلوب است. در این سیستم کشاورزی پرهزینه و کم‌بازده، ریزجانداران مفید خاک می‌توانند نقش مهمی در بهبود عملکرد و کاهش هزینه ایفا کنند. کیفیت خاک علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ارتباط بسیار نزدیکی با ویژگی‌های زیستی آن دارد. هدف از این پژوهش، بررسی اثرات باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن بر رشد سیب‌زمینی و افزایش تولید غده و ماده خشک و همچنین صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و تولید محصول سالم‌تر می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سال ۱۳۹۵ به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. عوامل آزمایش شامل نه برنامه غذایی؛ باکتری‌های حل‌کننده فسفات (فسفوپاورباکتر دایان)، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (پتاپاورباکتر دایان)، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (نیتروباکتر دایان)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌همراه کود فسفاته (سوپرفسفات تریپل)، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به‌همراه کود پتاسه (سولفات پتاسیم)، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به‌همراه کود نیتروژنه (اوره با ٤٦ درصد نیتروژن)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌همراه کودهای فسفاته، پتاسه و نیتروژنه و شاهد (بدون کود شیمیایی و بیولوژیک) به‌عنوان کرت اصلی و دو رقم سیب‌زمینی (فونتانه، سانته) به‌عنوان کرت‌های فرعی بود.

یافته‌ها: کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن موجب تولید بیش‌ترین شاخص سطح برگ در رقم فونتانه شد. در رقم سانته دو تیمار استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن بیش‌ترین شاخص سطح برگ را تولید کردند.

* مسئول مکاتبه: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

بیش‌ترین میزان وزن خشک اندام هوایی در رقم فونتانه در تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌دست آمد. در رقم سانته تیمار کاربرد باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن همراه با کود شیمیایی نیتروژنه بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی را تولید کرد. استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌طور هم‌زمان باعث افزایش قابل‌توجه تعداد غده در بوته در هر دو رقم گردید. رقم فونتانه در تیمار مصرف باکتری حل‌کننده پتاسیم به‌همراه کود سولفات پتاسیم بیش‌ترین عملکرد غده قابل فروش را تولید کرد که نسبت به شاهد ۳۷ درصد افزایش عملکرد داشت. بیش‌ترین عملکرد غده قابل فروش در رقم سانته در تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌همراه کودهای شیمیایی فسفات، پتاس و نیتروژن به‌دست آمد که ۳۶ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود. بیش‌ترین درصد ماده خشک، وزن مخصوص غده و درصد نشاسته در هر دو رقم در تیمار کاربرد تمام باکتری‌ها به‌همراه کودهای شیمیایی و کم‌ترین مقدار این ویژگی‌ها در تیمار شاهد حاصل شد. در رقم فونتانه تیمار استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌همراه کود شیمیایی فسفاته کم‌ترین مقدار قندهای احیاءکننده را تولید کردند. کم‌ترین مقدار قندهای احیاءکننده در رقم سانته در تیمار استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات حاصل شد. در رقم فونتانه تیمارهای کاربرد تمام باکتری‌ها و در رقم سانته تیمار کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بیش‌ترین میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH را دارا بودند. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فنول کل به‌ترتیب در تیمار شاهد و کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به‌همراه کود سولفات پتاسیم با ۷۵ درصد اختلاف مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر کاربرد کودهای زیستی در سیب‌زمینی نشان داد که این کودها قابلیت بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و کیفیت را داشته و با مصرف کم‌تر کودهای شیمیایی عملکرد قابل‌قبولی تولید کنند. به‌طورکلی مصرف هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کودهای شیمیایی فسفات، پتاس و نیتروژن موجب تولید بیش‌ترین عملکرد سیب‌زمینی شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده، باکتری‌های تثبیت‌کننده، درصد ماده خشک، وزن مخصوص غده

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) به‌عنوان یک محصول زراعی، خوراکی در بسیاری از مناطق ایران کشت می‌گردد، از سوی دیگر این گیاه به‌عنوان یک محصول مهم نقدی نیز محسوب می‌گردد. عمده کشاورزان سیب‌زمینی کار در ایران از سیستم پرنهاده با کاربرد کودهای حاوی نیتروژن، فسفر و پتاس تا بیش‌تر از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد متوالی آفت‌کش‌ها استفاده می‌کنند. با این وجود متوسط عملکرد سیب‌زمینی در ایران حدود ۲۷/۷ تن در هکتار است (۱۰) که این مقدار تقریباً نصف عملکرد در شرایط مطلوب این محصول است. در این سیستم کشاورزی پر هزینه و کم‌بازده، میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌توانند نقش مهمی در بهبود عملکرد و کاهش هزینه تولید داشته باشند. یک سیستم ریشه‌ای فعال، ترکیبات آلی را به‌طور منظم در محیط ریشه گیاه آزاد کرده و این ترکیب‌ها سبب رشد و افزایش جامعه میکروبی خاک می‌شود. باکتری‌های غیربیماریزای خاکزی استخراج شده، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق فرایندهای مختلف، تأثیرات مثبتی روی رشد و

نمو گیاه به‌عنوان باکتری‌های خاکزی تسریع‌کننده رشد گیاه[1] دارند (۲۷). در این میان می‌توان از فرآیندهای تثبیت نیتروژن اتمسفری، افزایش قابلیت دسترسی به فسفر، پتاسیم و آهن خاک، ساخت هورمون‌های گیاهی و آنتی‌بیوتیک‌ها برای بهبود رشد گیاه و کنترل خسارت قارچ‌های بیماری زا یا تعدیل اثر منفی تنش‌ها نام برد (۳۸).

ریزموجودات خاک در برهمکنش کانی‌ها و آب مشارکت دارند و اغلب برای انجام چرخه‌های شیمیایی خاک در عناصر غذایی ضروری هستند. مقدار پتاسیم مورد نیاز گیاهان بسیار بیش‌تر از هر عنصر دیگر به‌جز نیتروژن و فسفر است که توسط خاک تأمین می‌شود. به‌هرحال، گیاهان به‌طور مستقیم قادر به استفاده از پتاسیم معدنی تا زمان هوازدگی یا محلول شدن در آب خاک نیستند. مطالعات متعددی اثبات کرده‌اند که پتاسیم در طی تجزیه کانی‌های سیلیکاته توسط باکتری‌ها حل می‌شود (۱۲ و ٤۰).

فسفر بعد از نیتروژن دومین عنصر غذایی مهم مورد نیاز برای رشد گیاهان می‌باشد. حتی در خاک‌هایی که غنی از فسفر هستند، این عنصر بیش‌تر به شکل غیرقابل‌حل بوده و تنها مقدار کمی (حدود ۰/۱ درصد) از آن برای گیاه قابل‌دسترس است (۳٦). علاوه بر این، درصد زیادی از کودهای فسفاته مصرف شده در خاک‌ها مجدداً به شکل غیرقابل‌حل، رسوب می‌کنند (۲۹). حل شدن فسفات غیرقابل‌حل در محیط ریشه از طریق باکتری‌های تسریع‌کننده رشد گیاهان، قابلیت دسترسی به این عنصر غذایی را افزایش می‌دهند (۳۰). باکتری‌های حل‌کننده فسفات، اسیدهای آلی و فسفاتازهایی ترشح می‌کنند که فسفات غیرقابل‌حل را به یون‌های محلول تک‌بنیان ($H_2PO_4^-$) و دو بنیان (HPO_4^{-2}) بسته به نوع کانی، تبدیل کرده و می‌توانند نقش مهمی در تغذیه گیاه از طریق افزایش فراهمی فسفر قابل‌جذب توسط گیاه، بازی کنند (۳۰). مطالعات متعددی روی تسریع رشد گیاهان توسط انواع میکروارگانیسم‌هایی که قابلیت محلول کردن کانی‌های حاوی فسفر را دارند، انجام شده است (۲٦ و ۳۰).

اثر تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک بر عملکرد غده و اجزای عملکرد سه رقم سیب‌زمینی نشان داد که در صورت تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک ازتوباکتر، سوپر نیتروپلاس و سوپر نیترو، عملکرد بیولوژیک از ۲۲/۵ تن در هکتار در شاهد با افزایشی معادل ۱۸، ۱٤ و ۱۲ درصد به‌ترتیب در سطوح تلقیح بذر با ازتوباکتر، سوپر نیتروپلاس و سوپر نیترو تغییر یافت (۲۵).

با توجه به اهمیت محصول سیب‌زمینی و ملاحظات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کود شیمیایی فراوان و کمبود مطالعات در مورد کودهای زیستی روی گیاه سیب‌زمینی در ایران، هدف از این مطالعه بررسی تأثیرات مثبت باکتری‌های حل‌کننده پتاس، فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن بر ویژگی‌های خاک و تأثیر متقابل آن بر رشد گیاهان و افزایش تولید غده و ماده خشک و همچنین صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و تولید محصول سالم‌تر سیب‌زمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در بهار سال ۱۳۹۵ به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. عوامل آزمایش شامل نه برنامه غذایی شامل؛ باکتری‌های حل‌کننده فسفات (فسفوپاورباکتر دایان)، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (پتاپاورباکتر دایان)، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (نیتروباکتر دایان)، باکتری‌های

1- Plant growth promoting rhizobacteria

حل‌کننده فسفات به همراه کود فسفاته (سوپر فسفات تریپل)، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود پتاسه (سولفات پتاسیم)، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کود نیتروژنه (اوره با ٤٦ درصد نیتروژن)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کودهای فسفاته، پتاسه و نیتروژنه و شاهد (بدون کود شیمیایی و بیولوژیک) به‌عنوان کرت اصلی و دو رقم سیب‌زمینی فونتانه (صنعتی) و سانته (غیرصنعتی) به‌عنوان کرت‌های فرعی بود. میزان کودهای شیمیایی بر اساس نیاز گیاه سیب‌زمینی و نتایج آزمایش تجزیه خاک (جدول ۱) در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره استفاده شد. کودهای فسفاته و پتاسه در زمان کاشت و کود نیتروژنه، ۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و بقیه در چهار نوبت تا قبل از گلدهی مصرف گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Main Physicochemical properties of the soil at the study site.

بافت خاک Soil texture	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	pH
	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	(%)	
سیلتی لوم Silty Loam	180	15.8	0.07	7.8

غده‌های بذری حدود ۲۰ روز قبل از کاشت از سردخانه (چهار درجه سانتی‌گراد) خارج و ابتدا در جعبه در تاریکی در دمای ۱۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا جوانه‌ها فعال شوند. سپس غده‌ها به‌مدت یک هفته در معرض نور کافی و همان دما قرار داده شدند به‌طوری‌که در زمان کاشت یعنی ٢٦ اردیبهشت، غده‌ها از نظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی جوانه‌زنی معمولی و دارای ۵-۳ جوانه سبز ۱/۵-۱ سانتی‌متری بودند. هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۵ مترمربع شامل چهار خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاربرد باکتری‌ها (کودهای بیولوژیک) در سه مرحله تلقیح غده (غده مال)، آبیاری دوم و ابتدای گلدهی به مقدار پنج لیتر در هکتار انجام شد. تراکم جمعیت باکتری‌ها 10^{7} سلول در میلی‌لیتر مایه تلقیح بود. باکتری‌های تجزیه‌کننده فسفات مجموعه‌ای از سویه‌های *Bacillus sp* و *Pseudomonas sp.*، باکتری‌های تجزیه‌کننده پتاسیم مجموعه‌ای از سویه‌های *Thiobacillus sp* و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مجموعه‌ای از سویه‌های *Azotobacter sp.*، *Azospirillum sp* و *Bacillus sp.* بودند که تمامی سویه‌ها بومی ایران بوده و از نقاط مختلف جمع‌آوری و توسط شرکت دانش‌بنیان خوشه‌پروران زیست فناور تکثیر شدند. کنترل علف‌های هرز به روش وجین دستی در دو مرحله گیاهچه‌ای و قبل از گلدهی انجام شد.

در پایان فصل رشد و مصادف با دهه اول مهرماه، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد و در نهایت دو مترمربع از هر کرت آزمایشی به‌منظور تعیین صفات تعداد غده در بوته، عملکرد غده و درصد ماده خشک غده، وزن مخصوص غده، برداشت شد. غده‌های با اندازه بزرگ‌تر از ۳۰ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های قابل ارائه به بازار در نظر گرفته شدند. به‌منظور تعیین درصد ماده خشک غده نمونه‌هایی از هر کرت آزمایشی انتخاب و پس از توزین وزن تر، برش‌دهی‌شده و در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک هفته قرار گرفت و در انتها وزن خشک آن تعیین شد.

برخی از ویژگی‌های کیفی غده شامل درصد قندهای احیاءکننده، مهار فعالیت رادیکال DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)، غلظت فنول کل و میزان نشاسته بلافاصله پس از برداشت و قبل از ذخیره‌سازی در سردخانه اندازه‌گیری شد. درصد قندهای احیاءکننده بر اساس روش رُز (۱۹۵۹) اندازه‌گیری شد (۳۱). نمونه بافت غده (یک گرم) در یک میلی‌لیتر آب مقطر هموژنایز گردید. مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفیوژ ۳۰۰۰ دور در دقیقه پنج دقیقه جدا شد. مقدار متناسبی از محلول بالایی به نسبت حجمی یک به چهار به‌ترتیب محلول استخراج شده و محلول دی نیترو فنول (مولار ۰/۰۳۸) مخلوط شد. مخلوط حاصل به‌مدت شش دقیقه در دمای ۶۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بلافاصله زیر آب جاری سرد و در نهایت میزان جذب در ۶۰۰ نانومتر و استاندارد گلوکز قرائت شد.

برای اندازه‌گیری مهار فعالیت رادیکال DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) غده، میزان جذب در ۵۱۷ نانومتر پس از ۳۰ دقیقه تاریکی، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۱). جهت تعیین غلظت مهار فعالیت رادیکال DPPH، از منحنی استاندارد اسید آسکوربیک استفاده شد.

غلظت فنول کل در نمونه غده سیب‌زمینی بر اساس روش فولین شیکالتو (۳۲) تعیین شد. میزان فنول کل بر اساس جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر و استاندارد گالیک اسید بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک تعیین شد.

به‌منظور تعیین وزن مخصوص غده‌ها (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، وزن غده‌ها از طریق غوطه‌ور شدن آن‌ها در آب تعیین و سپس با استفاده از رابطه ۱، وزن مخصوص غده‌ها تعیین شد (۳۳).

(۱) (وزن غده در هوا – وزن غده در آب) ÷ (وزن غده در هوا) = وزن مخصوص غده

درصد نشاسته غده‌ها با استفاده رابطه ۲ محاسبه شد (۶).

(۲) (وزن مخصوص غده – ۱/۰۹۸۸) ۱۹۹/۰۷ + ۱۷/۵۴۶ = درصد نشاسته

در نهایت غده‌ها به سردخانه منتقل و برای ترمیم صدمات مکانیکی زمان برداشت، در ابتدای انبارداری دمای سردخانه در طول مدت سه هفته به‌تدریج کاهش یافت تا در نهایت دما به شش درجه سانتی‌گراد رسید. رطوبت نسبی بین ۸۵ تا ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. میزان دی‌اکسیدکربن در طول دوره انبارداری بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام با استفاده از سیستم تهویه تحت کنترل حس‌گر تعیین‌کننده دی‌اکسیدکربن تنظیم گردید و طول دوره انبارداری هشت ماه بود. در نهایت میزان افت وزن غده‌ها، درصد پوسیدگی و درصد جوانه‌زنی غده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار آماری Minitab 18 انجام شد. مقایسه میانگین صفات با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

بررسی اثر برنامه‌های مختلف تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته در دو رقم سیب‌زمینی در انتهای فصل رشد نشان داد که هیچ‌یک از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی ندارند (جدول ۲).

تعداد ساقه در بوته به‌عنوان یکی از اجزای مؤثر در عملکرد سیب‌زمینی تحت‌تأثیر برنامه‌های مختلف تغذیه‌ای و همچنین برهمکنش رقم و برنامه غذایی قرار نگرفت (جدول ۲) ولی بین ارقام از نظر تعداد ساقه در بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. رقم فونتانه ۱۲ درصد تعداد ساقه در بوته بیش‌تری نسبت به رقم سانته تولید کرد (جدول ۲). به‌منظور افزایش عملکرد در سیب‌زمینی، ممانعت از رشد بوته‌های تک‌ساقه در مزرعه حیاتی است. در سیب‌زمینی هر ساقه بسته به رقم ضریب تولید غده مشخصی دارد، در صورتی که تعداد بیش‌تری از چشم‌های موجود در غده سیب‌زمینی فعال گردند تعداد ساقه در بوته افزایش پیدا کرده و در نهایت عملکرد نیز افزایش خواهد یافت. به همین منظور حذف غالبیت انتهایی قبل از کاشت غده موجب فعال شدن جوانه‌های جانبی غده شده و تعداد ساقه بیش‌تری تولید می‌گردد. با توجه به این‌که در این مطالعه اندازه غده‌ها یکسان در نظر گرفته شد و شرایط جوانه‌دار کردن غده‌ها قبل از کاشت نیز فراهم گردید، غالبیت انتهایی غده‌ها شکسته و هر رقم با توجه به پتانسیل خود ساقه تولید کرده و نتایج این مطالعه بیانگر توانایی بیش‌تر رقم فونتانه نسبت به رقم سانته از نظر تولید ساقه در بوته بود.

جدول ۲- اثر برنامه‌های مختلف غذایی بر ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و شاخص سطح برگ دو رقم فونتانه و سانته سیب‌زمینی.

Table 2. Effect of different fertilizer programs on plant height, number of stems per plant, number of branches per plant and leaf area index of two potato cultivars.

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)		تعداد ساقه در بوته No. of stem.plant^{-1}		تعداد شاخه فرعی در بوته No. of branche.plant^{-1}		شاخص سطح برگ LAI	
	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante
C	54	71	3.44	3.56	7.44	11.78	1.39	1.23
KB	61	59	3.56	2.56	9.11	8.00	1.61	1.34
NB	61	63	3.11	2.89	8.22	10.89	1.70	1.66
PB	52	64	3.56	3.33	14.08	9.00	2.52	1.55
NBN	71	64	3.22	2.67	12.56	12.12	2.62	1.31
KBK	61	60	3.67	2.33	7.33	8.78	2.09	0.90
PBP	64	69	3.11	2.89	8.44	7.56	3.79	1.02
NBPBKB	65	65	3.33	3.56	11.44	8.48	4.49	1.60
KBPBNBKPN	63	63	2.89	2.56	8.33	8.33	2.30	0.91
$LSD_{0.05}$	10.20		0.82		2.86		0.84	
Treatment (T)	ns		ns		**		**	
Cultivar (C)	ns		**		ns		**	
T*C	ns		ns		**		**	
CV	10.99		15.29		17.44		25.86	

C: شاهد، KB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، N: کود نیتروژنه با منشأ اوره ٤٦ درصد، K: کود سولفات پتاسیم، P: کود سوپرفسفات تریپل، LSD: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، ns: غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

C: Control, KB: Potassium solubilizing bacteria, NB: Free-living nitrogen-fixing, PB: Phosphate solubilizing bacteria, N: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, K: Potassium sulfate fertilizer, P: Triple super phosphate fertilizer, LSD: Least significant difference at the probability level of 5%, CV: Coefficient of variation, ns: Non-significant at probability level 5%, *: Significant at probability level 5%, **: Significant at probability level 1%.

تعداد شاخه فرعی در بوته به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر برنامه غذایی و برهمکنش رقم و برنامه غذایی قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات در رقم فونتانه مشاهده شد که با تیمار باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کود شیمیایی نیتروژنه در هر دو رقم تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). کم‌ترین تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود سولفات پتاسیم و تیمار شاهد در رقم فونتانه مشاهده شد (جدول ۲). افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته به‌منظور افزایش جذب تشعشع و سطح فتوسنتزکننده در طول فصل رشد برای یک گیاه غده‌ای مانند سیب‌زمینی که بیش‌تر تولیدات فتوسنتزی خود را در غده‌ها ذخیره می‌کند می‌تواند مفید واقع گردد. با توجه به نیاز بسیار بالای گیاهان به کودهای نیتروژنه و از طرفی اثر این ترکیبات بر میزان رشد گیاه، کودهایی که حاوی ترکیبات نیتروژنه می‌باشند یا به‌نحوی موجب فراهمی نیتروژن برای گیاه می‌گردند افزایش رشد گیاه را در پی خواهند داشت. نکته قابل‌توجه در این مطالعه تأثیر مثبت کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر افزایش تعداد شاخه فرعی در رقم فونتانه بود (جدول ۲). مکانیسم‌های مختلفی در ارتباط با بهبود رشد گیاهان توسط باکتری‌های فعال در محیط ریشه شناسایی شده است. در اثر فعالیت این باکتری‌ها در محیط ریشه، تنظیم‌کننده‌های رشد تولید می‌شود که می‌توانند به‌عنوان پیام‌رسان‌ها عمل کرده و نقش مؤثری در رشد گیاه دارند (۲٤). پنج تا شش مسیر برای بیوسنتز اکسین در باکتری‌ها به‌عنوان پیش‌ماده اصلی IAA از تریپتوفان معرفی شده است (۳٤). از طرف دیگر باکتری‌های حل‌کننده فسفات قادرند فسفات‌های غیرقابل‌حل را از طریق فرآیندهای اسیدی کردن، کلاته کردن، واکنش‌های تبادلی و تولید اسید گلوکونیک به شکل‌های قابل‌دسترس برای گیاه تبدیل کنند (۱۵). با توجه به نتایج این مطالعه باکتری‌های حل‌کننده فسفات قادر به تولید تعداد شاخه فرعی بالایی شدند که احتمالاً به‌دلیل تولید ترکیبات هورمونی که موجب شاخه‌زایی می‌گردد باشد (۲).

مهم‌ترین اندام گیاهان در دریافت تشعشعات خورشیدی جهت انجام فتوسنتز سطح برگ می‌باشد که تأثیر مستقیمی بر میزان تولید زیست‌توده و عملکرد محصولات زراعی دارد. در این مطالعه شاخص سطح برگ سیب‌زمینی به‌طور معنی‌دار تحت‌تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای، رقم و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن موجب تولید بیش‌ترین شاخص سطح برگ در رقم فونتانه شد که با تیمار استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات همراه با کود شیمیایی فسفاته در همین رقم تفاوت معنی‌داری نداشت. تمامی تیمارهای کودی در رقم فونتانه شاخص سطح برگ بیش‌تری نسبت به رقم سانته تولید کردند. در رقم سانته تیمار استفاده از باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن و تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن بیش‌ترین شاخص سطح برگ را تولید کردند. کم‌ترین شاخص سطح برگ در رقم فونتانه در تیمار شاهد و در رقم سانته در تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود شیمیایی سولفات پتاسیم به‌دست آمد که البته در این رقم بین هیچ‌یک از تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده نشد (جدول ۲). در گیاهان زراعی به‌ویژه محصولات

غده‌ای به‌شرط محدود نبودن مخزن (غده) افزایش میزان تولیدات فتوسنتزی منجر به افزایش عملکرد خواهد شد (۱۹). از طرف دیگر افزایش میزان تولیدات فتوسنتزی وابسته به مبدأ (سطح فتوسنتزکننده) یا شاخص سطح برگ است (۱۹)؛ بنابراین استفاده از عناصر غذایی یا روش‌هایی که عناصر غیرقابل‌دسترس را برای گیاه قابل استفاده کند می‌تواند در افزایش عملکرد مؤثر باشد. در این مطالعه کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن احتمالاً به‌دلیل فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی و همچنین اثرات ثانویه باکتری‌ها در فراهم کردن تنظیم‌کننده‌های رشد مانند هورمون ایندول استیک اسید (IAA) می‌تواند در افزایش شاخص سطح برگ مؤثر باشند (۲۱).

وزن خشک اندام هوایی تحت‌تأثیر معنی‌دار تیمارهای تغذیه‌ای، رقم و برهمکنش تغذیه و رقم قرار گرفت (جدول ۳). رقم فونتانه نسبت به رقم سانته ۸۵ درصد وزن خشک اندام هوایی بیش‌تری تولید کرد (جدول ۳). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان وزن خشک در رقم فونتانه با ۱/۰۷ برابر به‌ترتیب در تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن و تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۳). در رقم سانته تیمار کاربرد باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن همراه با کود شیمیایی نیتروژنه با ۱/۵۷ برابر تفاوت با تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی را تولید کردند. وزن خشک اندام هوایی سیب‌زمینی متأثر از اجزای گیاه شامل تعداد ساقه در بوته، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ می‌باشد. واکنش بین گیاهان و باکتری‌ها توسط فرآیندهای همزیستی، اندوفیت و آزادزی در اطراف ریشه و خاک رخ می‌دهد. امکان همزیستی بین باکتری‌ها و بسیاری از گیاهان زراعی وجود ندارد، بنابراین استفاده از باکتری‌های آزادزی که امکان فعالیت در اطراف ریشه گیاهان را دارند گزینه مناسبی برای ایجاد یک محیط مناسب برای توسعه ریشه و اندام هوایی و در نهایت تولید عملکرد مناسب می‌باشند. روابط غیرهمزیستی در اطراف ریشه گیاهی که در آن‌جا سطوح بالایی از کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و مواد مغذی معدنی وجود دارد فضا را برای افزایش کارایی باکتری‌ها جهت آزادسازی عناصر غذایی تقویت می‌کند (۳). استفاده از باکتری‌های محرک رشد تأثیر زیادی بر رشد گیاه سیب‌زمینی دارد (۸). کاربرد سویه‌هایی از باکتری‌های *Azospirillum* sp.، *Erwinia* sp. و *Bacillus* sp. در شرایط مزرعه‌ای موجب افزایش میزان رشد سیب‌زمینی شیرین (*Ipomoea batatas*) شد (۹). در مطالعه حاضر نیز کاربرد مجموعه‌ای از باکتری‌هایی با توانایی انحلال فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن، موجب افزایش تولید وزن خشک اندام هوایی در سیب‌زمینی گردید با این‌حال واکنش ارقام به باکتری‌ها متفاوت بود.

جدول ۳- اثر برنامه‌های مختلف غذایی بر وزن خشک اندام هوایی، تعداد غده در بوته، درصد غده‌های قابل‌فروش و عملکرد غده قابل‌فروش دو رقم فونتانه و سانته سیب‌زمینی.

Table 3. Effect of different fertilizer programs on shoot dry weight, number of tubers per plant, percentage of marketable tuber per plant and marketable tuber yield of two potato cultivars.

تیمار Treatment	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight ($g.plant^{-1}$)		تعداد غده در بوته No. of tuber.$plant^{-1}$		درصد غده قابل‌فروش در بوته Marketable tuber.$plant^{-1}$ (%)		عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield ($ton.ha^{-1}$)	
	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante
C	148	81	19	24	49	25	27.13	24.73
KB	100	53	21	14	47	47	34.17	23.38
NB	108	93	12	25	62	51	40.14	37.86
PB	183	86	25	22	46	35	40.57	24.16
NBN	157	136	18	27	58	38	36.24	32.45
KBK	110	57	15	13	64	56	43.24	34.98
PBP	152	56	20	19	42	56	26.98	34.30
NBPBKB	207	88	30	32	43	29	36.82	31.93
KBPBNBKPNN	134	54	18	24	56	45	37.88	38.87
$LSD_{0.05}$	56.21		5.78		16.27		6.18	
Treatment(T)	**		**		**		**	
Cultivar(C)	**		*		**		**	
T*C	*		**		*		**	
CV	29.43		16.03		20.14		10.71	

C: شاهد، KB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، N: کود نیتروژنه با منشأ اوره ٤٦ درصد، K: کود سولفات پتاسیم، P: کود سوپرفسفات تریپل، LSD: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، ns: غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

C: Control, KB: Potassium solubilizing bacteria, NB: Free-living nitrogen-fixing, PB: Phosphate solubilizing bacteria, N: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, K: Potassium sulfate fertilizer, P: Triple super phosphate fertilizer, LSD: Least significant difference at the probability level of 5%, CV: Coefficient of variation, ns: Non-significant at probability level 5%, *: Significant at probability level 5%, **: Significant at probability level 1%.

تعداد غده در بوته به‌عنوان یکی از اجزای مؤثر در عملکرد سیب‌زمینی تحت‌تأثیر برنامه‌های غذایی و رقم و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌طور هم‌زمان باعث افزایش قابل‌توجه تعداد غده در بوته در هر دو رقم گردید، به‌طوری‌که در رقم فونتانه نسبت به تیمار شاهد ۱۱ و در رقم سانته هشت غده در بوته بیش‌تری تولید کرد. کم‌ترین تعداد غده در بوته در رقم فونتانه مربوط به استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به تنهایی و در رقم سانته مربوط به کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود سولفات پتاسیم بود (جدول ۳). توانایی تولید غده در بوته سیب‌زمینی به تعداد ساقه در بوته، طول روز و همچنین خصوصیات وراثتی ارقام بستگی دارد. در این مطالعه کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن در هر دو رقم موجب افزایش تعداد ساقه در بوته گردید (جدول ۲) که در نهایت به افزایش تعداد غده در بوته منجر شد. به‌نظر می‌رسد استفاده از کودهای زیستی به‌دلیل این‌که قادرند در طول دوره رشد و به‌تدریج عناصر غذایی را برای گیاه فراهم کنند قادر خواهند بود که کارایی گیاه زراعی را نسبت به کودهای شیمیایی بهبود بخشند. گونه‌های مختلف باکتری توانایی تولید فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین، جیبرلین و آبسزیک اسید را دارند (۱۵ و ۳٤). همچنین اسیدهای آلی در طی فرآیند تجزیه باکتری‌ها در محیط ریشه تولید می‌گردند (۱۵). پژوهشگران غده‌زایی در سیب‌زمینی را متأثر از شرایط محیطی مانند دما،

فتوپریود و شدت نور دانسته و معتقدند تغییر در این عوامل می‌تواند بر میزان تنظیم‌کننده‌های رشد داخلی گیاه مؤثر باشد (۲). بر اساس بررسی‌های انجام‌شده اثر کاربرد خارجی تنظیم کننده‌های رشد بر غده‌زایی سیب‌زمینی به‌نحوی است که جیبرلین‌ها ممانعت‌کننده و اسید آبسزیک تحریک‌کننده غده‌زایی می‌شود. اکسین‌ها و سایتوکینین‌ها روی اندازه غده مؤثر هستند در حالی‌که اتیلن از غده‌زایی جلوگیری می‌کند (۲). سایتوکینین‌ها برای تقسیم سلولی ضروری بوده و در توسعه جوانه‌های غده مؤثر است که کاربرد خارجی آن موجب کاهش دوره خواب غده می‌گردد که البته بستگی به سن فیزیولوژیک غده نیز دارد (۲). به‌نظر می‌رسد در این مطالعه استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌طور هم‌زمان علاوه بر اثرات تغذیه‌ای با تولید هورمون‌ها و ترکیبات آلی و جذب آن‌ها توسط ریشه موجب تحریک غده‌زایی در سیب‌زمینی شده است.

هدف نهایی در تولید سیب‌زمینی ارائه غده‌های با اندازه مناسب برای مصرف‌کننده می‌باشد. در این مطالعه غده‌های بزرگ‌تر از ۳۰ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های قابل‌فروش در نظر گرفته شد. درصد غده‌های قابل‌فروش در بوته تحت‌تأثیر معنی‌دار برنامه‌های غذایی، رقم و برهمکنش برنامه غذایی و رقم قرار گرفت (جدول ۳). در رقم فونتانه در تیمارهای استفاده از باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود شیمیایی سولفات پتاسیم و تیمار کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با بیش از ٦٠ درصد (٦٢ و ٦٤ درصد) غده قابل‌فروش بود (جدول ۳). در رقم سانته بیش‌ترین درصد غده‌های قابل‌فروش در تیمارهای استفاده از باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود شیمیایی سولفات پتاسیم و تیمار باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه کاربرد کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل ملاحظه شد. به‌طور متوسط رقم فونتانه نه درصد غده قابل‌فروش بیش‌تری نسبت به رقم سانته تولید کرد (جدول ۳). کم‌ترین تعداد غده قابل‌فروش در رقم فونتانه در تیمار کاربرد باکتری‌های حل کنند فسفات به همراه کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل و در رقم سانته در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳)

بررسی عملکرد غده قابل‌فروش در این مطالعه بیانگر تأثیر معنی‌دار برنامه‌های مختلف غذایی، رقم و برهمکنش آن‌ها بر این ویژگی می‌باشد (جدول ۳). رقم فونتانه در تیمار مصرف باکتری حل‌کننده پتاسیم به همراه کود سولفات پتاسیم بیش‌ترین عملکرد غده قابل‌فروش را تولید کرد که نسبت به شاهد ۵۹ درصد افزایش عملکرد داشت. بیش‌ترین عملکرد غده قابل‌فروش در رقم سانته در تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کودهای شیمیایی فسفات، پتاسیم و نیتروژن به‌دست آمد که ۵۷ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۳). در هر دو رقم فونتانه و سانته با وجود این‌که بیش‌ترین تعداد غده در بوته در تیمار کاربرد هم‌زمان سه نوع باکتری مشاهده شد، اما در رقم فونتانه بیش‌ترین درصد غده قابل‌فروش و عملکرد غده قابل‌فروش در تیمار مصرف باکتری حل‌کننده پتاسیم به همراه کود سولفات پتاسیم ملاحظه شد در حالی‌که در رقم سانته بیش‌ترین درصد غده قابل‌فروش در تیمار باکتری حل‌کننده پتاسیم به همراه کود سولفات پتاسیم و بیش‌ترین عملکرد غده قابل‌فروش در تیمار مصرف هم‌زمان تمام کودهای زیستی و شیمیایی دیده شد. به‌نظر می‌رسد مصرف این کودهای زیستی موجب تحریک غده‌دهی‌شده ولی بوته‌ها توانایی لازم برای درشت کردن تمامی غده‌ها را نداشته‌اند (جدول ۳).

سیب‌زمینی یک محصول زراعی حساس به تنش عناصر غذایی است زیرا سیستم ریشه‌ای آن گسترده نمی‌باشد؛ بنابراین نیاز به مقادیر بالایی از عناصر غذایی برای تولید کامل عملکرد بالقوه دارد (۱۶). پتاسیم نقش مهمی در انتقال مواد پرورده و معدنی در گیاهان دارد. مواد حاصل از فرآیند فتوسنتز باید از برگ‌ها (منبع) به محل مصرف یا ذخیره (مخزن) منتقل شوند. پتاسیم انتقال مواد فتوسنتزی (عمدتاً ساکارز و آمینواسیدها) در آوندهای آبکش را به‌سمت مخزن‌های فیزیولوژیک غده افزایش می‌دهد. پتاسیم نقش مثبتی در بارگیری آوند آبکش با ساکارز در افزایش میزان انتقال شیره پرورده و تخلیه آوند آبکش دارد. این نقش پتاسیم وابسته به تأثیر آن در پتانسیل اسمزی در آوندهای غربالی و عملکرد آن در تولید ATP که انرژی لازم برای بارگیری ترکیبات فتوسنتزی را فراهم می‌کند دارد؛ بنابراین پتاسیم به بزرگ شدن و افزایش وزن غده‌های سیب‌زمینی کمک می‌کند (۱۶). فراهمی عناصر غذایی در طول دوره رشد و همچنین افزایش پتاسیم قابل‌دسترس با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم همراه با مصرف کود سولفات پتاسیم موجب گردید که درصد غده‌های قابل‌فروش و همچنین عملکرد غده قابل‌فروش در این تیمار افزایش یابد.

درصد غده‌های پوسیده در زمان برداشت به‌طور معنی‌دار تحت‌تأثیر برنامه‌های غذایی و رقم قرار نگرفت (جدول ٤). متوسط درصد غده‌های پوسیده در زمان برداشت در رقم فونتانه ۱/۱۸ درصد و در رقم سانته ۰/٦۳ درصد بود (جدول ٤).

جدول ٤- اثر برنامه‌های مختلف غذایی بر درصد پوسیدگی غده در زمان برداشت، درصد ماده خشک غده و وزن مخصوص غده در دو رقم فونتانه و سانته سیب‌زمینی.

Table 4. Effect of different fertilizer programs on percentage of rot tuber, tuber dry matter and tuber specific gravity of two potato cultivars.

تیمار Treatment	درصد غده‌های پوسیده Rot tuber %		درصد ماده خشک Dry matter %		وزن مخصوص Specific gravity($g.cm^{-3}$)	
	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante
C	1.39	0.00	18.8	17.7	1.206	1.190
KB	1.84	0.14	20.9	19.3	1.215	1.245
NB	1.31	0.88	19.2	20.7	1.208	1.226
PB	2.65	0.23	20.2	21.2	1.230	1.217
NBN	0.81	1.46	20.8	19.0	1.228	1.234
KBK	0.71	0.36	20.5	19.6	1.203	1.218
PBP	1.17	0.94	20.0	20.1	1.237	1.251
NBPBKB	0.73	0.00	19.7	19.7	1.228	1.231
KBPBNBKPN	0.00	1.66	21.5	21.4	1.255	1.261
$LSD_{0.05}$	2.88		1.91		0.017	
Treatment (T)	ns	ns	**		**	
Cultivar (C)	ns	ns	Ns		ns	
T*C	ns	ns	*		ns	
CV	15.65		5.60		1.70	

C: شاهد، KB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، N: کود نیتروژنه با منشأ اوره ٤٦ درصد، K: کود سولفات پتاسیم، P: کود سوپرفسفات تریپل، LSD: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، ns: غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

C: Control, KB: Potassium solubilizing bacteria, NB: Free-living nitrogen-fixing, PB: Phosphate solubilizing bacteria, N: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, K: Potassium sulfate fertilizer, P: Triple super phosphate fertilizer, LSD: Least significant difference at the probability level of 5%, CV: Coefficient of variation, ns: Non-significant at probability level 5%, *: Significant at probability level 5%, **: Significant at probability level 1%.

درصد ماده خشک غده از مهم‌ترین معیارهای کیفی سیب‌زمینی برای فرآوری و همچنین تازه‌خوری محسوب می‌شود (۳۷). درصد ماده خشک غده تحت‌تأثیر معنی‌دار برنامه‌های غذایی و برهمکنش برنامه‌های غذایی و رقم قرار گرفت (جدول ٤). بیش‌ترین درصد ماده خشک در هر دو رقم در تیمار کاربرد تمام باکتری‌ها به همراه کودهای شیمیایی و کم‌ترین مقدار این ویژگی در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ٤). تفاوت بین بالاترین و کم‌ترین درصد ماده خشک در رقم فونتانه ۲/۷ درصد و در رقم سانته ۳/۷ درصد بود (جدول ٤).

وزن مخصوص غده تحت‌تأثیر معنی‌دار تیمار برنامه‌های مختلف غذایی قرار گرفت اما بین ارقام و برهمکنش برنامه‌های غذایی و ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). همانند درصد ماده خشک، وزن مخصوص غده در تیمار کاربرد هم‌زمان تمام باکتری‌ها به همراه کودهای شیمیایی بیش‌ترین و در تیمار شاهد کم‌ترین مقدار مشاهده شد که تفاوت آن‌ها ۰/۰٦ وزن مخصوص غده بود و سایر برنامه‌های غذایی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ٤). میزان تغییرات وزن مخصوص غده در سیب‌زمینی در ارقام مختلف از محدوده کوچکی برخوردار است اما این نوسانات کم تأثیر بسیار زیادی در کیفیت سیب‌زمینی از نظر مصرف آن دارد (۳۹). به‌طوری‌که گزارش شده است که هر ۰/۰۰۵ افزایش وزن مخصوص تقریباً یک درصد عملکرد چیپس را افزایش می‌دهد (١٤).

بررسی درصد نشاسته غده در زمان برداشت بیانگر تأثیر معنی‌دار برنامه‌غذایی بر آن بود (جدول ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین درصد نشاسته به‌ترتیب در تیمار کاربرد تمام باکتری‌ها همراه با کودهای شیمیایی و تیمار شاهد بود که اختلافی معادل ۹/٤ درصد نشاسته داشتند (جدول ۵).

در منابع مختلف درصد ماده خشک، محتوای نشاسته، محتوای جامد غده و وزن مخصوص غده به مفهوم مشابهی به‌کار گرفته شده‌اند (۳۵). مطالعات نشان داده است که عامل کلیدی در تعیین ماده خشک در سیب‌زمینی رقم (ژنوتیپ) می‌باشد (۳۷)؛ اما این ویژگی ژنتیکی تحت‌تأثیر عوامل متعددی مانند عملیات زراعی، اقلیم و خاک قرار می‌گیرد (۳۷). غده‌هایی با درصد ماده خشک حدود ۲۰–۱۸ درصد معمولاً در طی فرآیند پخت تمایل زیادی به قهوه‌ای شدن و از هم پاشیده شدن دارند؛ بنابراین برای فرآوری سیب‌زمینی نیاز به درصد ماده خشک بالا بین ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌باشد که محصولات رنگ مناسبی داشته باشند. تغذیه گیاه با عناصری مانند پتاسیم، نیتروژن و فسفات بر درصد ماده خشک سیب‌زمینی مؤثر هستند. نیتروژن به‌عنوان یک عنصر برای رشد گیاه ضروری است اما با این وجود کاربرد کودهای نیتروژنه در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش نشاسته و درصد ماده خشک می‌شود (۵). عنصر پتاسیم به‌ویژه سولفات پتاسیم اثر مثبتی بر افزایش درصد ماده خشک سیب‌زمینی دارد (۲۲). همچنین کاربرد مقدار متناسبی از پتاسیم بر افزایش کارایی مصرف نیتروژن مؤثر است (۱۳). عنصر فسفر به مقدار کم‌تری بر درصد ماده خشک تأثیرگذار است هر چند در اغلب موارد تأثیر مثبت دارد، اما این عنصر در کاهش برهمکنش منفی نیتروژن و پتاسیم بر محتوای ماده خشک غده تأثیرگذار است (۱۸). استفاده از مناسب و متعادل عناصر غذایی موجب بهبود ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی می‌گردد. در این مطالعه کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه مقادیر متناسبی از کودهای شیمیایی موجب افزایش درصد ماده خشک و وزن مخصوص غده‌ها گردید. به‌نظر می‌رسد قابل دسترس کردن تدریجی عناصر در طول دوره رشد موجب بهبود کیفیت غده تولیدی شده است.

جدول ۵- اثر برنامه‌های غذایی بر خصوصیات کیفی غده دو رقم سیب‌زمینی.

Table 5. Effect of different fertilizer programs on tuber quality characteristics of two potato cultivars.

تیمار Treatment	نشاسته Starch (%)		قندهای احیاء Reduction sugars ($mg.gFW^{-1}$)		مهار فعالیت رادیکال DPPH DPPH ($mg.gFW^{-1}$)		فنول کل Total phenol ($mg.gFW^{-1}$)	
	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante
C	37.88	36.46	3.040	4.283	0.024	0.035	2.323	3.784
KB	40.70	46.61	2.679	6.192	0.024	0.035	0.597	1.118
NB	39.24	42.88	1.136	4.087	0.030	0.064	0.852	0.956
PB	43.69	41.02	2.883	0.661	0.019	0.022	1.107	1.191
NBN	43.24	44.40	3.342	2.460	0.032	0.045	1.069	1.710
KBK	38.24	41.29	2.962	1.666	0.006	0.041	0.466	1.074
PBP	43.72	47.91	0.856	1.542	0.026	0.045	0.818	0.963
NBPBKB	43.35	43.89	1.112	4.203	0.032	0.041	0.923	1.782
KBPBNBKPN	42.71	50.34	2.048	3.123	0.026	0.029	1.629	1.362
$LSD_{0.05}$	7.58		2.41		0.017		1.511	
Treatment (T)	*		ns		Ns		**	
Cultivar (C)	ns		*		**		ns	
T*C	ns		**		*		ns	
CV	10.36		25.43		30.01		26.86	

C: شاهد، KB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، N: کود نیتروژنه با منشأ اوره ٤٦ درصد، K: کود سولفات پتاسیم، P: کود سوپرفسفات تریپل، LSD: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، ns: غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

C: Control, KB: Potassium solubilizing bacteria, NB: Free-living nitrogen-fixing, PB: Phosphate solubilizing bacteria, N: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, K: Potassium sulfate fertilizer, P: Triple super phosphate fertilizer, LSD: Least significant difference at the probability level of 5%, CV: Coefficient of variation, ns: Non-significant at probability level 5%, *: Significant at probability level 5%, **: Significant at probability level 1%.

قندهای احیاءکننده به‌عنوان عوامل ضد کیفیت در فرآوری سیب‌زمینی تحت‌تأثیر ارقام و برهمکنش برنامه‌های غذایی و ارقام قرار گرفتند (جدول ۵). رقم سانته نسبت به رقم فونتانه ۰/۹۱ میلی‌گرم در گرم ماده تر قندهای احیاءکننده بالاتری تولید کرد (جدول ۵). در رقم فونتانه تیمار استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کود شیمیایی نیتروژنه بیش‌ترین مقدار قندهای احیاءکننده و تیمار استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه کود شیمیایی فسفاته کم‌ترین مقدار قندهای احیاءکننده را تولید کردند (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار قندهای احیاءکننده در رقم سانته در تیمار استفاده از باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و کم‌ترین مقدار در تیمار استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات حاصل شد (جدول ۵). افزایش قندهای محلول در غده موجب افزایش واکنش میلارد در هنگام فرآوری و کاهش کیفیت محصولات تولیدی می‌گردد (۱۱). به‌طور معمول کاهش مقدار قندهای احیاءکننده به کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم در گرم ماده تر برای فرآوری مناسب خواهد بود (۱۱). در این مطالعه حتی بیش‌ترین مقدار قندهای احیاءکننده تولیدی کم‌تر از این مقدار بود با این وجود هرچه مقدار قندهای احیاءکننده کاهش پیدا کند کیفیت محصول افزایش خواهد یافت.

میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH در رقم سانته ٦٣ درصد بیش‌تر از رقم فونتانه بود (جدول ۵). در رقم فونتانه تیمارهای کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن و همچنین کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه استفاده از کود شیمیایی نیتروژنه بیش‌ترین و تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود

سولفات پتاسیم کم‌ترین میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH را دارا بودند (جدول ۵). در رقم سانته تیمار باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH را تولید کردند (جدول ۵).

میزان فنول کل که در رنگ فرآورده‌های سیب‌زمینی تأثیرگذار می‌باشد و موجب تیرگی محصولات می‌شود، تحت‌تأثیر معنی‌دار برنامه‌های غذایی مختلف قرار گرفت (جدول ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فنول کل به‌ترتیب در تیمار شاهد و کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به همراه کود سولفات پتاسیم مشاهده شد که ۳/۹۶ برابر نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود (جدول ۵). فنول‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در ارتباط با اکسیداسیون چربی‌ها دارند (۲۰). در غده‌های سیب‌زمینی غلظت ترکیبات عمده فنولی شامل گالیک اسید، کلروژنیک اسید، کافئیک، پروتوکاتیک اسید، اسید وانیلیک و پیکوماریک اسید می‌باشند (۲۸). میزان فنول در پوست غده سیب‌زمینی نسبت به گوشت غده بالاتر است (٤). به‌طور معمول سیب‌زمینی به‌عنوان یک غذای غنی از آنتی‌اکسیدان در نظر گرفته نمی‌شود. با این‌حال، با در نظر گرفتن تنوع ژنتیکی در غلظت آنتوسیانین‌ها، فنولیک اسیدها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها می‌توان در این‌باره تجدیدنظر کرد (٤). مدیریت زراعی و تغذیه گیاه از عامل مهم مؤثر بر ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی هستند. بررسی میزان تغییرات فنول کل در شرایط مزرعه تحت‌تأثیر تیمارهای کودی در طی پنج سال نشان داد که افزایش میزان کود پتاسیم و منیزیم موجب کاهش میزان فنول کل گردید (۱۷). با توجه به اثرات مثبت فنول کل بر سلامت در تغذیه انسان به‌عنوان ترکیب آنتی‌اکسیدانت، در سیب‌زمینی به‌عنوان تأثیر نامطلوب کوددهی در نظر گرفته شود، اما ارقام سیب‌زمینی حساس به تغییرات رنگ گوشت (پلی‌فنول‌ها نقش مهمی در پیش‌ماده آنزیمی و غیرآنزیمی در قهوه‌ای شدن ایفا می‌کنند) ممکن است یک اثر ممانعت‌کننده در برابر تغییرات رنگ داشته باشد (۱۷). نتایج مشابهی نیز در رابطه با اثر پتاسیم بر کاهش میزان پلی‌فنول‌ها در سیب‌زمینی مشاهده شده که ممکن است در ارتباط با کاهش آنزیم‌های قهوه‌ای کردن باشد، اگرچه عامل اصلی مؤثر بر قهوه‌ای شدن فعالیت‌های فنیل آمونیوم لیاز است (۷). در پژوهش حاضر نیز کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم همراه مصرف کود سولفات پتاسیم به لحاظ فراهم کردن پتاسیم برای گیاه موجب کاهش میزان فنول کل گردید که با نتایج سایر مطالعات مطابقت دارد.

بررسی ویژگی‌های انبارداری غده‌های سیب‌زمینی هشت ماه پس از تولید نشان داد که درصد کاهش وزن غده به‌طور معنی‌دار تحت‌تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت (جدول ٦). با این وجود در رقم فونتانه بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش وزن به‌ترتیب در تیمار کاربرد تمامی باکتری‌ها و تیمار کاربرد تمامی باکتری‌ها همراه با کودهای شیمیایی بود که ۵/۹ درصد تفاوت مشاهده شد (جدول ٦). در رقم سانته تیمار شاهد بیش‌ترین و تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه کود فسفاته کم‌ترین مقدار کاهش وزن را دارا بودند که تفاوت آن‌ها ۵/۱ درصد کاهش وزن بود (جدول ٦).

درصد پوسیدگی غده پس از هشت ماه انبارداری نشان داد که در رقم فونتانه تنها تیمار کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفاته، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن دارای پوسیدگی بود (جدول ٦). در رقم سانته تیمار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات بیش‌ترین درصد پوسیدگی را دارا بودند (جدول ٦).

بررسی وضعیت جوانه‌زنی غده‌ها هشت ماه پس از انبارداری نشان داد که تمامی تیمارها دارای ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بودند (جدول ٦). با توجه به دوره خواب سیب‌زمینی که معمولاً بین دو تا سه ماه می‌باشد (۲۳) و همچنین دمای انبارداری که شش درجه سانتی‌گراد بود عدم اختلاف بین تیمارها از نظر درصد جوانه‌زنی طبیعی می‌باشد.

جدول ٦- تأثیر برنامه‌های مختلف غذایی بر میزان کاهش وزن، درصد پوسیدگی غده و درصد جوانه‌زنی غده‌ها هشت ماه پس از انبارداری در دو رقم سیب‌زمینی.

Table 6. Effect of different fertilizer programs on percentage of loss weight, tuber rot and tubers germination eight months after storage in two potato cultivars.

تیمار Treatment	درصد کاهش وزن Loss weight %		درصد غده پوسیده Rot tuber %		درصد جوانه زنی Germination %	
	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante	فونتانه Fontane	سانته Sante
C	9.0	11.4	0.00	1.11	100	100
KB	9.1	9.0	0.00	2.21	100	100
NB	7.9	9.2	0.00	2.78	100	100
PB	9.2	7.3	0.00	3.45	100	100
NBN	7.4	7.7	0.00	0.00	100	100
KBK	9.1	9.4	0.00	0.00	100	100
PBP	7.2	6.3	0.00	0.00	100	100
NBPBKB	12.4	8.6	7.83	0.98	100	100
KBPBNBKPN	6.5	9.0	0.00	1.28	100	100
$LSD_{0.05}$	4.24		3.46		0.01	
Treatment (T)	ns		*		ns	
Cultivar (C)	ns		Ns		ns	
T*C	ns		*		ns	
CV	28.56		15.17		0.01	

C: شاهد، KB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، N: کود نیتروژنه با منشأ اوره ٤٦ درصد، K: کود سولفات پتاسیم، P: کود سوپرفسفات تریپل، LSD: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات، ns: غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

C: Control, KB: Potassium solubilizing bacteria, NB: Free-living nitrogen-fixing, PB: Phosphate solubilizing bacteria, N: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, K: Potassium sulfate fertilizer, P: Triple super phosphate fertilizer, LSD: Least significant difference at the probability level of 5%, CV: Coefficient of variation, ns: Non-significant at probability level 5%, *: Significant at probability level 5%, **: Significant at probability level 1%.

نتیجه‌گیری

در طول دهه‌های گذشته استفاده از کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش عملکرد محصولات زراعی به اوج خود رسیده است. با وجود افزایش عملکرد قابل‌توجه در سال‌های ابتدایی، مصرف بیش از حد این کودها به‌دلیل تجمع آن‌ها در خاک عوارض ثانویه خود را بر سلامت زیستی خاک و همچنین فیزیک آن وارد کرده است. در حال حاضر اکثر خاک‌های زراعی از کاهش میکروارگانیسم‌های مفید و افزایش میکروارگانیسم‌های مضر به‌دلیل افزایش pH خاک رنج می‌برند. همچنین بسیاری از عناصر مصرف شده به‌دلیل غیرقابل‌دسترس بودن در خاک تجمع پیدا کرده است. استفاده از کودهای بیولوژیک مانند باکتری‌های حل‌کننده عناصر به‌ویژه عناصر پرمصرف شامل پتاسیم و فسفات و همچنین باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند در رهاسازی و قابل دسترس کردن این عناصر و بهبود شرایط خاک و در نهایت تولید محصول زراعی سالم‌تر مفید باشند. در مطالعه حاضر کاربرد کودهای زیستی در سیب‌زمینی نشان داد که این کودها قابلیت بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه

را داشته و در نهایت با مصرف کم‌تر کودهای شیمیایی عملکرد قابل‌قبولی تولید کنند. به‌طورکلی مصرف هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاسیم و تثبیت‌کننده نیتروژن به همراه کودهای شیمیایی فسفات، پتاس و نیتروژن موجب تولید بیش‌ترین عملکرد سیب‌زمینی شد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این مطالعه از محل طرح مصوب با کد ٤٠٢٨٦ در معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است، که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

1. Abe, N., Murata, T., and Hirota, A. 1998. Novel DPPH radical scavengers, bisorbicillinol and demethyltrichodimerol, from a fungus. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 62: 4. 661-666.
2. Alexopoulos, A.A., Akoumianakis, K.A., and Passam, H.C. 2006. Effect of plant growth regulators on the tuberisation and physiological age of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers grown from true potato seed. Can. J. Plant Sci. 86:4. 1217-1225.
3. Bacon, C.W., and Hinton, D.M. 2006. Bacterial endophytes: The endophytic niche, its occupants, and its utility. P 155-194. In: S.S. Gnanamanickam, (ed). Plant-Associated Bacteria. Springer; Netherlands.
4. Brown, C.R. 2005. Antioxidants in potato. Amer. J. Potato Res. 82: 2. 163-172.
5. Bucher, M., and Kossmann, J. 2007. Molecular physiology of the mineral nutrition of the potato. P 311-329. In: D. Vreugdenhil, (ed.): Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives. Elsevier, Oxford.
6. Burton, W.G. 1948. The potato. Chapman and Hall. London. 319p.
7. Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I., and Espin, J.C. 2002: Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. J. Agric. Food Chem. 50: 3015-3023.
8. Dawwam, G.E., Elbeltagy, A., Emara, H.M., Abbas, I.H., and Hassan, M.M. 2013. Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato plant. Annals of Agricultural Sciences. 58: 2. 195-201.
9. Farzana, Y., Radziah, O., Kamaruza-Man, S., and Saad, M.S. 2007. Effect of PGPR inoculation on growth and yield of sweet potato. J. Biol. Sci. 7: 421-424.
10. Fazeli Sabzevar, R., Mirabdulbaghi, M., Zarghami, R., and Pakdaman Sardrood, B. 2007. Mini-tuber production as affected by planting bed composition and node position in tissue cultured plantlet in two potato cultivars. Inter. J. Agric. Biol. 9: 3. 416-418.
11. Freitas, S.T., Pereira, E.I.P., Gomez, A.C.S., Brackmann, A., Nicoloco, F., and Bisognin, D.A. 2012. Processing quality of potato tubers produced during autumn and spring and stored at different temperatures. Horticultura Brasileira. 30: 91-98.
12. Friedrich, S., Platonova, N.P., and Karavaiko, G.I. 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. Acta Biotechnologica. 3: 187-196.
13. Gething, P.A. 1993. The potassium – nitrogen partnership. Improving Returns from nitrogen fertilizer. IPI Research Topics No. 13. 2nd Revised Edition. International Potash Institute, Basel, 51p.
14. Gould, W. 1995. Specific gravity its measurement and use. Chipping Potato Handbook, Pp: 18-21.
15. Gulati, A., Sharma, N., Vyas, P., Sood, S., Rahi, P., Pathania, V., and Prasad, R. 2010. Organic acid production and plant growth promotion as a function of phosphate solubilization by *Acinetobacter rhizosphaerae* strain BIHB 723 isolated from the cold deserts of the trans-Himalayas. Arch. Microbiol. 192: 975-983.

16. Haddad, M., Bani-Hani, N.M., Al-Tabbal, J.A., and Al-Fraihat, A. H. 2016. Effect of different potassium nitrate levels on yield and quality of potato tubers. J. Food Agric. Environ. 14: 1. 101-107.
17. Hamouz, K., Lachman, J., Hejtmankova, K., Pazderu, K., Cizek, M., and Dvorak, P. 2010. Effect of natural and growing conditions on the content of phenolics in potatoes with different flesh colour. Plant, Soil and Environment. 56: 8. 368-374.
18. Herlihy, M., and Carroll, P.J. 1969. Effects of N, P and K and their interactions on yield, tuber blight and quality of potatoes. J. Sci. Food Agriculture. 20: 9. 513-517.
19. Katoh, A., Ashida, H., Kasajima, I., Shigeoka, S., and Yokota, A. 2015. Potato yield enhancement through intensification of sink and source performances. Breeding science. 65: 1. 77-84.
20. Kaur, C., and Kapoor, H.C. 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. Inter. J. Food Sci. Technol. 37: 153-161.
21. Khan, Z., and Doty, S.L. 2009. Characterization of bacterial endophytes of sweet potato plants. Plant and Soil, 322: 1-2. 197-207.
22. Laboski, C.A.M., and Kelling, K.A. 2007. Influence of fertilizer management and soil fertility on tuber specific gravity: a review. Amer. J. Potato Res. 84: 83-290.
23. Mani, F., Bettaieb, T., Doudech, N., and Hannachi, C. 2014. Physiological mechanisms for potato dormancy release and sprouting: a review. Afric. Crop Sci. J. 22: 2. 155-174.
24. Martinez-Viveros, O., Jorquera, M.A., Crowley, D.E., Gajardo, G., and Mora, M.L. 2010. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. J. Soil Sci. Plant Nutr. 10: 3. 293-319.
25. Mirshekari, B. 2012. Effect of seed bio-fertilization on tuber yield and yield components of three potato cultivars. Agroecol. J. 8: 4. 77-91. (In Persian)
26. Nahas, E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil. World J. Microbiol. Biotechnol. 12: 567-572.
27. Nelson, L.M. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. Crop Management. 3: 1. 0-0.
28. Niggeweg, R., Michael, A.J., and Martin, C. 2004. Engineering plants with increased level of the antioxidant chlorogenic acid. Nature Biotechnology. 22: 746-754.
29. Podile, A.R., and Kishore, G.K. 2007. Plant growth-promoting rhizobacteria. Springer, Dordrecht, Pp: 195-230.
30. Rodriguez, H., Fraga, R., Gonzalez, T., and Bashan, Y. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potencial applications for improving plant growth-promoting bacteria. Plant Soil. 287: 15-21.
31. Ross, A. 1959. Dinitrophenol method for reducing sugars. Potato processing. 1: 492-493.
32. Singleton, V., and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Amer. J. Enol. Viticul. 16: 3. 144-158.
33. Smith, N.R. 1975. Specific Gravity Potato Processing. The AVI Publishing Comp. Inc. Pp: 43-66.
34. Spaepen, S., Vanderleyden, J., and Remans, R. 2007. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism–plant signaling. FEMS microbiology Reviews. 31: 425-448.
35. Stark, J.C., and Love, S.L. 2003. Tuber quality. P 329-343. In J.C. Stark and S.L. Love, (eds.): Potato Production Systems. University of Idaho Extension, Moscow.
36. Stevenson, F.J., and Cole, M.A. 1999. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients, 2nd edn. Wiley, New York. 67p.
37. Storey, R.M.J., and Davies, H.V. 1992. Tuber quality. P 507-569. In P.M. Harris (ed): The Potato Crop. The scientific basis for improvement.Second edition. Chapman & Hall, London.

38. Sziderics, A.H., Rasche, F., Trognitz, F., Sessitsch, A., and Wilhelm, E. 2007. Bacterial endophytes contribute to abiotic stress adaptation in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). Can. J. Microbiol. 53: 195-202.
39. Wang, Y., Snodgrass, L.B., Bethke, P.C., Bussan, A.J., Holm, D.G., Novy, R.G., and Sathuvalli, V. 2017. Reliability of Measurement and Genotype× Environment Interaction for Potato Specific Gravity. Crop Science. 57: 4. 1966-1972.
40. Welch, S.A., Barker, W.W., and Barfield, J.F. 1999. Microbial extracellular polysaccharides and plagioclase dissolution. Geochimica et Cosmochimica Acta. 63: 1405-1419.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(2), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2019.15359.1827

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Evaluation of biofertilizers on quality, yield and yield components of two potato (*Solanum tuberosum*) cultivars

M. Kafi[1], *J. Nabati[2], A. Oskoueian[3], E Oskoueian[4] and J. Shabahang[5]

[1]Professor, Dept. of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, [2]Assistant Prof., Dept. of Legume, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, [3]Ph.D. Student, Dept. of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, [4]Assistant Prof., Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad Iran, [5]Instructor, Dept. of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 07.09.2018; Accepted: 01.26.2019

Abstract

Background and Objectives: Potatoes producers in Iran are widely use nitrogen, phosphorus and potash fertilizers for tuber production, but the tuber yield is less than the potential in desirable conditions. In this high cost and low efficiency farming system, soil microorganisms can play an important role in improving fertilizer efficiency and reducing costs. In addition to physical and chemical properties, soil quality has a close relationship with biological aspects. The aim of the present work was to evaluate the positive effects of potassium, phosphate solubilizing bacteria and nitrogen-fixing bacteria on potato growth, tubers yield and its dry matter, as well as saving the chemical fertilizers for healthier crop production.

Materials and Methods: This study was conducted as a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications at Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad, Iran in the 2016 cropping season. Treatments included nine fertilizer programs including; phosphate solubilizing bacteria (Phospho-powerbacter dayan), potassium solubilizing bacteria (Peta-powerbacter dayan), free-living nitrogen-fixing bacteria (Nitro-bacter dayan), phosphate solubilizing bacteria + Triple super phosphate fertilizer, potassium solubilizing bacteria + potassium sulfate fertilizer, free-living nitrogen-fixing bacteria+ nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria, phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria + triple super phosphate + potassium sulfate + nitrogen and control (without biological and chemical fertilizer) as main plots and two potato cultivars (Fontane and Sante) as subplots.

Results: The highest leaf area index observed in Fontane cultivar and phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria. In Sante cultivar, tow treatments including free-living nitrogen-fixing bacteria alone and phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria showed the highest leaf area index. The highest Fontane shoot biomass was produced in phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria treatment and in Sante cultivar was observed in free-living nitrogen-fixing bacteria + Nitrogen fertilizer treatments. Application of phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria simultaneously caused an increase in the number of tubers per plant in both cultivars. Fontane in potassium solubilizing bacteria + potassium sulfate fertilizer produced the highest tuber yield, which it was 37% more than control treatment. The highest tuber yield in Sante cultivar was obtained by application of

* Corresponding Author; Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria + triple super phosphate + potassium sulfate + nitrogen, which was 36% more than control treatment. The highest of dry matter percentage, specific gravity and starch content in both cultivars were obtained in treatment of all bacteria with chemical fertilizers and the lowest of these characteristics was observed in control treatment. The lowest reducing sugars was obtained in the phosphate solubilizing bacteria + Triple super phosphate and phosphate solubilizing bacteria in Fontaneh and Sante cultivars, respectively. The best DPPH radical scavenging activity in Fontaneh was observed in treatment of all bacterias and in Sante cultivar in applying free-living nitrogen-fixing bacteria. The highest and lowest total phenol content was observed in control treatment and application of potassium solubilizing bacteria + potassium sulfate fertilizer with 75% difference, respectively.

Conclusion: In the present study, the application of bio fertilizers in potatoes showed that these fertilizers could improve physiological, yield and quality characteristics of potato cultivars by using less chemical fertilizers. Generally, application of phosphate solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria + free-living nitrogen-fixing bacteria + triple super phosphate + potassium sulfate + nitrogen produced the highest potato tuber yield.

Keywords: Dry matter percentage, Fixing bacteria, Solubilizing bacteria, Specific gravity