Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

47(4), Winter, 2025

10.22055/ppr.2025.48000.1762

Effect of sulfur and *Thiobacillus* application on potato yield and common scab disease suppression under the field condition

Sh. Azizi [1], R. Sharifi [*2], S. Abbasi [3], F. Ranjbar [4], A. A, Zamani [5]

1. M.Sc. Graduate of Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
2. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Plant Protection, Razi University, Kermanshah, Iran (r.sharifi@razi.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
4. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
5. Associate Professor of Department of Plant Protection, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 17 Septemer 2024 Revised: 15 December 2024 Accepted: 1 January 2025

Abstract

Background and Objectives

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a vital crop of great global importance. Common scab is one of the most destructive diseases affecting the quality and yield of potatoes. Effective disease management strategies for potatoes include crop management, crop rotation, seed certification, natural and chemical pesticides, disease prediction models, germplasm screening, and the development of resistant varieties. Sulfur fertilization improves potato resistance to common scab, possibly by decreasing the soil pH. Applying sulfur and *Thiobacillus* bacteria in alkaline and calcareous soils has improved nutrient solubility and reduced damage caused by common potato scab disease.

Materials and Methods

An experiment was conducted to investigate the effects of sulfur and *Thiobacillus* on tuber yield and the common scab disease index under field conditions. The farm had a history of natural and uniform infection with potato scab disease. The treatments included: 1- control (no use of *Thiobacillus* and sulfur), 2- application of *Thiobacillus*, 3- granular sulfur, 4- liquid sulfur, 5- *Thiobacillus*+granular sulfur, and 6- *Thiobacillus*+granular sulfur+liquid sulfur. The experiment was conducted using a randomized complete block design with four replications.

Results: Analysis of variance indicated that the application of sulfur and *Thiobacillus* significantly affected tuber yield and the common scab disease index. However, there was no significant difference in the mean number of plants among the experimental treatments. Regarding the mean number of tubers, the count increased from 104 in the control group to 135.75 in the treatment with granular sulfur+liquid sulfur+*Thiobacillus* treatment. This combination significantly increased tuber weight by approximately 4 kg compared to the control. Regarding the average number of tubers per plant, the treatments of granular sulfur+liquid sulfur+*Thiobacillus* and granular sulfur+*Thiobacillus* showed a significant difference compared to the control, increasing the number of tubers by 13.06% and 8.10%, respectively. Both treatments also significantly

increased the mean tuber weight per plant by 19.69% and 16.21%, respectively, compared to the control. The percentage and disease index varied under the influence of the experimental treatments. The lowest disease index on potato tubers was associated with the simultaneous application of granular sulfur+liquid sulfur+*Thiobacillus*, followed by liquid sulfur alone. The decrease in the disease index on potato tubers can be attributed to the reduction in pH resulting from sulfur application. This study demonstrated that the simultaneous application of sulfur and *Thiobacillus* can effectively lower soil pH.

Discussion

In conclusion, the application of sulfur and *Thiobacillus* bacteria enhances the yield and quality of potato tubers by improving soil conditions and plant nutrition. The forms of sulfur used played a crucial role in disease management; liquid sulfur, either alone or in combination with other treatments, significantly reduced disease severity. Liquid sulfur contains sulfate forms and has a pH of approximately one. Additionally, its liquid form allows for better penetration into soil pores and does not require soil microbial processes to alter pH. In contrast, powdered and granular forms of sulfur must be converted to sulfate forms by sulfur-oxidizing bacteria such as *Thiobacillus*. This conversion process is lengthy and gradually reduces soil pH over time. In the present study, various forms of sulfur, especially the liquid form, effectively reduced soil pH, although it did not lower it enough to classify the soil as acidic. It is important to note that the study's soil was calcareous, which has buffering properties that prevent drastic pH changes. Moreover, the effect of sulfur is not solely dependent on pH; even low amounts or specific forms of sulfur can significantly reduce common potato scabs without altering soil pH. This phenomenon may be due to the conversion of sulfur into toxic forms for microbes, such as hydrogen sulfide (H_2S).

Keywords: ***Scab, Soil Acidity, Biological Control, Liquid Sulfur, Granule Sulfur***

Associate editor: A. Omrani (Ph.D.)

Citation: Azizi, Sh., Sharifi, R., Abbasi, S., Ranjbar, F. & Zamani A. A. (2025). Effect of sulfur and *Thiobacillus* application on potato yield and common scab disease suppression under the field condition. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *47*(4), 77-91. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2025.48000.1762.

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٧، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣
10.22055/ppr.2025.48000.1762

تأثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس (*Thiobacillus*) بر عملکرد سیب‌زمینی و کنترل بیماری جرب معمولی در شرایط مزرعه

شهرام عزیزی [۱]، روح الله شریفی *[۲]، سعید عباسی [۳]، فرانک رنجبر [۴]، عباسعلی زمانی [۵]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد بیماری شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- * **نویسنده مسوول**: استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران (r.sharifi@razi.ac.ir)
۳- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۵- دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

چکیده

جرب معمولی سیب‌زمینی یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های سیب‌زمینی است که کمیت و کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خسارت بیمارگر بسیار وابسته به pH خاک است. به منظور بررسی اثر گوگرد و تیوباسلیوس بر عملکرد غده و شاخص آلودگی غده سیب‌زمینی به بیماری جرب معمولی، آزمایشی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شرایط مزرعه اجرا شد. مزرعه دارای سابقه آلودگی طبیعی و یکنواخت با بیماری جرب سیب‌زمینی بود. تیمارهای آزمایش شامل: ۱-شاهد (عدم کاربرد تیوباسیلوس و گوگرد)، ۲-کاربرد تیوباسیلوس، ۳-گوگرد گرانول، ٤-گوگرد مایع، ٥-تیوباسیلوس+گوگرد گرانول، ٦-تیوباسیلوس+گوگرد گرانول+گوگرد مایع بود. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب تیوباسیلوس و فرم‌های گوگرد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد تیوباسیلوس و گوگرد) باعث افزایش تعداد غده سیب‌زمینی در تیمار شد. بیشترین میانگین تعداد غده در تیمار (۱۳۵/۷۵) با کاربرد تیمار ترکیبی گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس به دست آمد. همین تیمار، میانگین وزن غده در تیمار را نیز چهار کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش داد. کمترین درصد و شاخص آلودگی غده‌ها به بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی مربوط به تیمار کاربرد همزمان گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس و گوگرد مایع بود که به ترتیب نسبت به شاهد ۷۲/۳۰ و ۵۸/۰۸ درصد کاهش نشان دادند. این مطالعه نشان داد که کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس به‌طور همزمان می‌تواند باعث کاهش pH خاک شده و با بهبود شرایط خاک و تغذیه گیاه، سبب افزایش عملکرد غده‌های سیب‌زمینی و کاهش آلودگی آنها به بیماری جرب معمولی شود.

کلیدواژه‌ها: اسکب، اسیدیته خاک، کنترل بیولوژیک، گوگرد مایع، گوگرد گرانول، سولفور

دبیر تخصصی: دکتر علی عمرانی

مقدمه

تولید پایدار سیب‌زمینی یک چالش بزرگ برای متخصصان کشاورزی در سراسر جهان است. بیماری‌های ناشی از قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها از جمله محدودیت‌های زیستی اصلی هستند که بر کیفیت و عملکرد غده‌های سیب‌زمینی تأثیر می‌گذارند. اقدامات موفق مدیریت بیماری‌های سیب‌زمینی شامل کاربرد روش‌های زراعی مانند تناوب، استفاده از بذور گواهی شده، استفاده از آفت‌کش‌های طبیعی و شیمیایی، کاربرد مدل‌های پیش آگاهی بیماری، غربالگری ژرم پلاسم و توسعه ارقام مقاوم است (Vahedi & Fadaei Tehrani, 2014; Tiwari et al., 2020).

جرب معمولی (Common scab) یک بیماری است که توسط *Streptomyces* spp. ایجاد می‌شود (Kumar et al., 2023). عامل بیماری‌زا در خاک و بقایای گیاهی یافت می‌شود و برای غده‌های سیب‌زمینی بسیار مخرب شناخته شده است. در میان گونه‌های مختلف، *S. scabies* به دلیل توانایی آن در تولید تاکستومین A، که یک فیتوتوکسین گیاهی است، خطرناک‌ترین گونه در نظر گرفته می‌شود (Sarwar et al., 2018). جرب معمولی می‌تواند به طور قابل توجهی عملکرد و کیفیت محصول سیب‌زمینی را کاهش دهد. برای کنترل بیماری اسکب معمولی روش‌های مختلفی مانند تیمار غده‌های سیب‌زمینی با مواد شیمیایی (Davis, 1976)، تغییر pH خاک (Pavlista, 2015)، اصلاح آبیاری (Adams & Lapwood, 1978) و تناوب (Lu et al., 2011) گزارش شده است.

کاربرد برخی از مواد شیمیایی مؤثر مثل کلروپیکرین به عنوان ضدعفونی‌کننده خاک و پنتاکلرونیتروبنزن به عنوان تیمار غده تا حدی در کنترل بیماری مؤثر گزارش شده است (Powelson & Rowe, 2008; Al-Mughrabi et al., 2015). همچنین، فلوآزینام ممکن است بازدارندگی محدودی روی جرب معمولی ایجاد کند (Santos-Cervantes et al., 2016). با این حال، کنترل شیمیایی قابل اتکایی برای مهار این بیماری وجود ندارد.

تناوب زراعی نیز می‌تواند شدت جرب معمولی را کاهش دهد (Larkin & Griffin, 2007; Powelson & Rowe, 2008; Larkin et al., 2011; Larkin & Halloran, 2014). گیاهان خانواده کلم از بهترین انتخاب‌ها برای تناوب‌های زراعی هستند که به‌عنوان تدخین‌کننده زیستی و کودهای سبز کاشته می‌شوند. این گیاهان آللوپاتیک هستند و به کنترل چندین بیماری خاکزاد سیب‌زمینی کمک می‌کنند. اصلاح‌کننده‌های خاک، مانند سبوس برنج، کلات آهن یا ذغال سنگ نارس احتمالاً می‌توانند با افزایش جمعیت استرپتومایسس‌های غیر بیماری‌زا، جرب معمولی را کاهش دهند. برخی از تیمارهای اصلاح خاک، مانند کود دامی که باعث افزایش pH خاک می‌شود، باعث افزایش شدت جرب معمولی می‌شوند (Tomihama et al., 2016; Sarikhani et al., 2017).

گوگرد یکی از عناصر پرمصرف گیاهان است و فراهمی آن نه تنها به صورت مستقیم رشد گیاه را آفزایش می دهد بلکه با کاهش pH خاک باعث فراهمی برخی عناصر دیگر برای گیاه می‌شود. اثر افزایش عملکرد ناشی از کاربرد گوگرد، به دلیل دخالت گوگرد در متابولیسم نیتروژن و سنتز پروتئین و کلروفیل است، در حالی که کمبود گوگرد منجر به کاهش محتوای کلروفیل برگ می‌شود (Bimbraw, 2008; Farzipour et al., 2024). افزایش مصرف گوگرد می‌تواند جذب پتاسیم و فسفر را بهبود بخشد (Klikocka et al., 2015)، که اثر غیرمستقیم در بهبود کیفیت غده دارد. در یک پژوهش، کاربرد ۲۱/۱۱ کیلوگرم منیزیم، ۴/۲۸ کیلوگرم گوگرد و ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای حداکثر رشد گیاه، عملکرد غده و به حداقل رساندن بروز بیماری‌های سیب زمینی بهینه بوده است (Islam et al., 2021). همچنین، کاربرد گوگرد به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد

غده و بهبود کیفیت و مقاومت غده در برابر جرب معمولی شده است (Klikocka et al., 2005).

کاربرد گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس در خاک‌های قلیایی و آهکی منجر به اصلاح خاک یا بهبود حلالیت مواد غذایی در خاک شده است (Besharaty et al., 2001). اثر گوگرد همراه با تیوباسیلوس بر عملکرد، میزان آهن و روی در گیاه ذرت معنی‌دار بوده است. همچنین، میزان ماده خشک، آهن و روی را در گیاه به ترتیب حدود ۱۲/۵، ۵۸ و ۳/۳ درصد افزایش داده است (Besharaty et al., 2001). کاربرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس اجزای عملکرد و جذب عناصر آهن، روی و فسفر را در برگ گندم نسبت به شاهد افزایش داده است. همچنین، مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد توأم با ۲۰ کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار، عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه گندم را نسبت به شاهد ۱۲۴، ۱۲۳ و ۳۱ درصد افزایش داده است (Kavazi et al., 2018).

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی، موقعیت و شرایط اقلیمی محل اجرای طرح

این آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در منطقه میاندربند کرمانشاه با مختصات جغرافیایی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و۲۷ دقیقه شمالی و طول ۴۷ درجه و ۲ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۰۶ متر از سطح دریا) بر روی گیاه سیب‌زمینی در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. مزرعه دارای سابقه آلودگی طبیعی و یکنواخت با بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی بود. تیمارها شامل (۱- شاهد (عدم کاربرد تیوباسیلوس و گوگرد) ۲-کاربرد تیوباسیلوس ۳- کاربردگوگرد گرانول ۴- کاربردگوگرد مایع ۵-کاربرد تیوباسیلوس+گوگرد گرانول ۶- کاربرد تیوباسیلوس+گوگرد گرانول+گوگرد مایع) بود. تیوباسیلوس تجاری به صورت پودر وتابل از مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک کشور تهیه شد. گونه موجود در فرمولاسیون *Halothiobacillus neapolitanus* با جمعیت 10^7 CFU/g بود.

بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک

نمونه خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، هواخشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۲ خاک به آب با استفاده از pH متر و هدایت سنج، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با دی کرومات، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی، فسفر قابل دسترس به روش اولسن و پتاسیم قابل دسترس به روش استات آمونیوم یک مولار خنثی اندازه‌گیری شدند (Rowell, 1994; Jones, 2001).

آماده سازی زمین و کاشت

آماده‌سازی اولیهٔ زمین محل اجرای آزمایش شامل شخم، دیسک و تسطیح بعد از برداشت گندم در خرداد ماه انجام شد. سپس در تاریخ ۱۴۰۲/۴/۲۵ اقدام به کشت گیاه سیب‌زمینی (رقم سانته[1]) شد. هر کرت آزمایشی شامل ۴ ردیف کاشت به طول ۲ متر بود و فاصله دو کرت از همدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین دو ردیف کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته بر روی خطوط کاشت ۲۴ سانتی‌متر بود. آبیاری در طول فصل رشد متناسب با شرایط محیط و مرحله رشدی گیاه به‌صورت بارانی انجام گرفت. وجین علف‌های هرز در طی فصل رشد با دست انجام شد. عناصر غذایی شامل نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، فسفر و پتاسیم (هر کدام ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در طول فصل رشد، متناسب با نیاز گیاه و بر اساس نتایج آزمایش خاک اضافه شد.

اعمال تیمارهای آزمایش

تیمارهای تیوباسیلوس (۵ کیلوگرم از فرمولاسیون باکتری در هکتار) و گوگرد گرانول (۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت با دست در سطح خاک پاشیده شده و از طریق شخم با

1- Sante

خاک مخلوط شدند. تیمار کاربرد گوگرد مایع (۲۰ لیتر در هکتار) حدود ۳ الی ۴ هفته بعد از سبز شدن اعمال شد، به این شکل که برای هر کرت مقدار مورد نیاز محاسبه شد و به وسیله آبپاش قبل از آبیاری پای بوته‌ها ریخته شد.

اندازه گیری صفات مورد بررسی

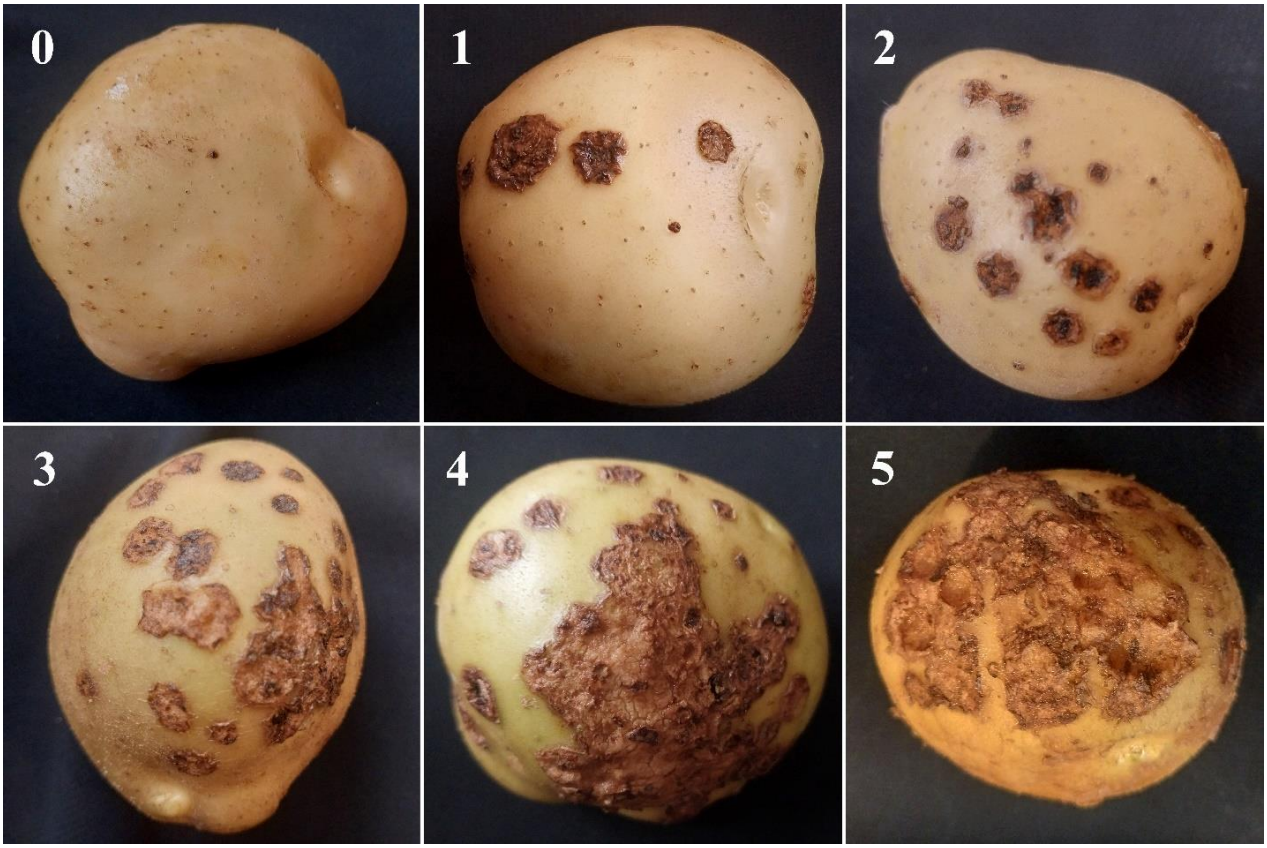
اثر تیمارها بر صفات رشدی سیب‌زمینی

در پایان آزمایش و زمان رسیدگی بوته‌ها (زرد شدن ۵۰ درصد برگ بوته‌ها)، پس از حذف اثر حاشیه از هر کرت آزمایشی، به طور تصادفی ۱۰ بوته از دو خط میانی برداشته شد و تعداد غده‌ها شمارش شد. بعد از شمارش تمام غده‌های هر ۱۰ بوته، میانگین غده برای تک بوته ثبت گردید. وزن کل غده‌های هر ۱۰ بوته کرت آزمایشی نیز اندازه‌گیری شد و در نهایت وزن غده‌های هر بوته نیز محاسبه گردید.

تعیین شدت آلودگی غده به بیماری جرب معمولی

جهت تعیین شدت آلودگی به بیماری جرب، در زمان برداشت از هر کرت آزمایشی ۲۰ غده تقریباً یکنواخت از نظر شکل و اندازه به صورت تصادفی انتخاب گردید. سپس غده‌ها با آب شسته شده و شدت آلودگی بر اساس شاخص زیر محاسبه شد (Driscoll et al., 2009):

صفر= غده بدون علائم بیماری؛ ۱= معادل ۰–۱۰ درصد سطح غده دارای علائم جرب؛ ۲= معادل ۱۱–۲۵ درصد از سطح غده دارای نشانه‌های جرب؛ ۳= معادل ۲۶–۵۰ درصد سطح غده دارای نشانه‌های جرب؛ ۴= بیش از ۵۰ درصد سطح غده دارای نشانه‌های جرب و عمق زخم‌ها عمدتاً کمتر از یک میلی‌متر؛ ۵= بیش از ۵۰ درصد سطح غده دارای نشانه‌های جرب و عمق زخم‌ها عمدتاً بیشتر از یک میلی‌متر



شکل ۱- شاخص آلودگی بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی. برای توصیف شاخص به متن مراجعه شود.

Figure 1. Disease index of potato common scab. Please see the main text for index description.

درصد غده‌های آلوده

برای تعیین درصد غده‌های آلوده، پس از شمارش کل غده‌ها، تعداد غده‌های سالم و آلوده (با هر درصد آلودگی) به صورت جداگانه شمارش شد. سپس، درصد آلودگی هر تیمار مشخص گردید (Driscoll et al., 2009).

pH (اسیدیته) خاک

به منظور بررسی اثر گوگرد بر pH خاک قبل از شروع آزمایش مقدار pH خاک اندازه‌گیری شد (Rowell, 1994; Jones, 2001). در پایان آزمایش، زمان برداشت از هر کرت آزمایشی مجدد نمونه‌برداری خاک انجام گرفت و میزان pH خاک برای هر تیمار مشخص گردید.

محاسبات آماری

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس آنها با رویه ANOVA و توسط نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. رسم نمودارها با Excel انجام شد.

نتایج

آنالیز خصوصیات خاک

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. pH خاک، مطابق جدول مذکور قلیایی بوده و با توجه به مقدار مواد خنثی شونده، خاک در گروه خاک‌های آهکی قرار می‌گیرد. هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که خاک مشکل شوری ندارد. کلاس بافتی رسی سیلتی در گروه کلاس‌های بافتی سنگین قرار دارد. بنابراین، نگهداشت آب و عناصر غذایی در این خاک زیاد است، اما از نظر زه‌کشی با محدودیت مواجه است. مقدار ماده آلی خاک بالاتر از حد بحرانی در خاک‌های ایران است. این می‌تواند به دلیل باقی ماندن بقایای محصولات و وجود رس بالا در خاک باشد.

بررسی pH خاک قبل و بعد از آزمایش

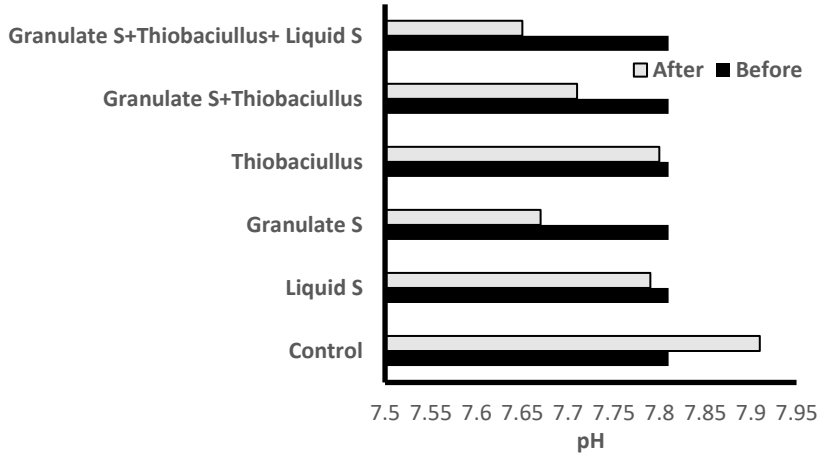
نتایج اندازه‌گیری اسیدیته خاک (pH) قبل و بعد از اعمال تیمارهای آزمایش نشان داد که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد، باعث کاهش اسیدیته خاک شدند. بیشترین (۷/۹۱) و کمترین (۷/۶۵) اسیدیته خاک به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و تیوباسیلوس+گوگرد گرانول+گوگرد مایع بود (شکل ۲). با توجه به مقدار بالای رس، کربن آلی و آهک (جدول ۱)، خاک دارای ظرفیت بافری بالایی است و مقاومت آن در مقابل تغییر pH زیاد است. بنابراین، اصلاح و تغییر pH این خاک دشوار و زمان‌بر است و نیاز به تکرار در طی چندین فصل کشت دارد. تیمار تیوباسیلوس به تنهایی در تغییر pH مؤثر نبود که بیانگر عدم وجود گوگرد عنصری در خاک است. گوگرد گرانول نسبت به گوگرد مایع، تأثیر بیشتری در کاهش pH داشت که می‌تواند به دلیل بالاتر بودن میزان گوگرد در کود گرانول نسبت به کود مایع باشد.

جدول ۱- تجزیه فیزیکی-شیمیایی نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و در ابتدای آزمایش

Table 1. Physical-chemical analysis of the soil in depth of 0-30 cm, in beginning of the experiment

Chemical factors							
Soluble Calcium and Magnesium ($meq.L^{-1}$)	Electrical conductivity Ec ($ds.m^{-1}$)	Potassium (mg/kg)	Phosphorus (mg/kg)	Nitrogen (%)	Organic carbon (%)	pH	Total neutralizing value (%)
0.48	0.4	751	63	0.19	1.97	7.81	17.7

Physical factors			
Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	Soil Texture
48.4	40.4	11.2	Silty-clay



شکل ۲- تاثیر تیمار خاک با فرم‌های گرانول و مایع گوگرد و ترکیب آنها با تیوباسیلوس بر تغییرات مقدار pH خاک. اندازه گیری pH قبل از کاشت و پس از برداشت محصول انجام شد.

Figure 2. The effect of soil treatment with granule and liquid forms of sulfur and their combination with *Thiobacillus* on the variation of soil pH. Soil pH was recorded before sowing and after harvest.

اثر تیمارها بر صفات رشدی سیب‌زمینی

همانگونه که در جدول ۲ مشخص است، تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر صفات میانگین تعداد بوته و میانگین تعداد غده در تیمار نداشتند. در مقابل صفات رشدی وزن کل غده‌ها در تیمار، میانگین تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده در هر بوته تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند.

در صفت میانگین تعداد بوته در تیمار، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش مشاهده نشد. اما در صفت میانگین تعداد غده در تیمار، تعداد غده‌ها از ۱۰۴ در شاهد به ۱۳۵/۷۵ عدد در تیمار گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس افزایش پیدا کرد. سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۲). صفت وزن کل غده‌ها در تیمار نیز الگوی مشابهی داشت و صرفاً تیمار گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس قادر بود به صورت معنی‌داری وزن غده‌ها را نسبت به شاهد حدود چهار کیلوگرم افزایش دهد. در صفت میانگین تعداد غده در بوته، دو تیمار گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس و گوگرد گرانول+ تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند و تعداد غده را به ترتیب ۱۳/۰۶ و ۸/۱۰ درصد افزایش دادند. صفت میانگین وزن غده در هر بوته نیز الگوی مشابهی داشت و دو تیمار گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس و گوگرد گرانول+ تیوباسیلوس با تفاوت معنی‌دار از شاهد، میانگین وزن غده در هر بوته را نسبت به شاهد به ترتیب ۱۹/۶۹ و ۱۶/۲۱ درصد افزایش دادند.

اثر تیمارها بر بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی

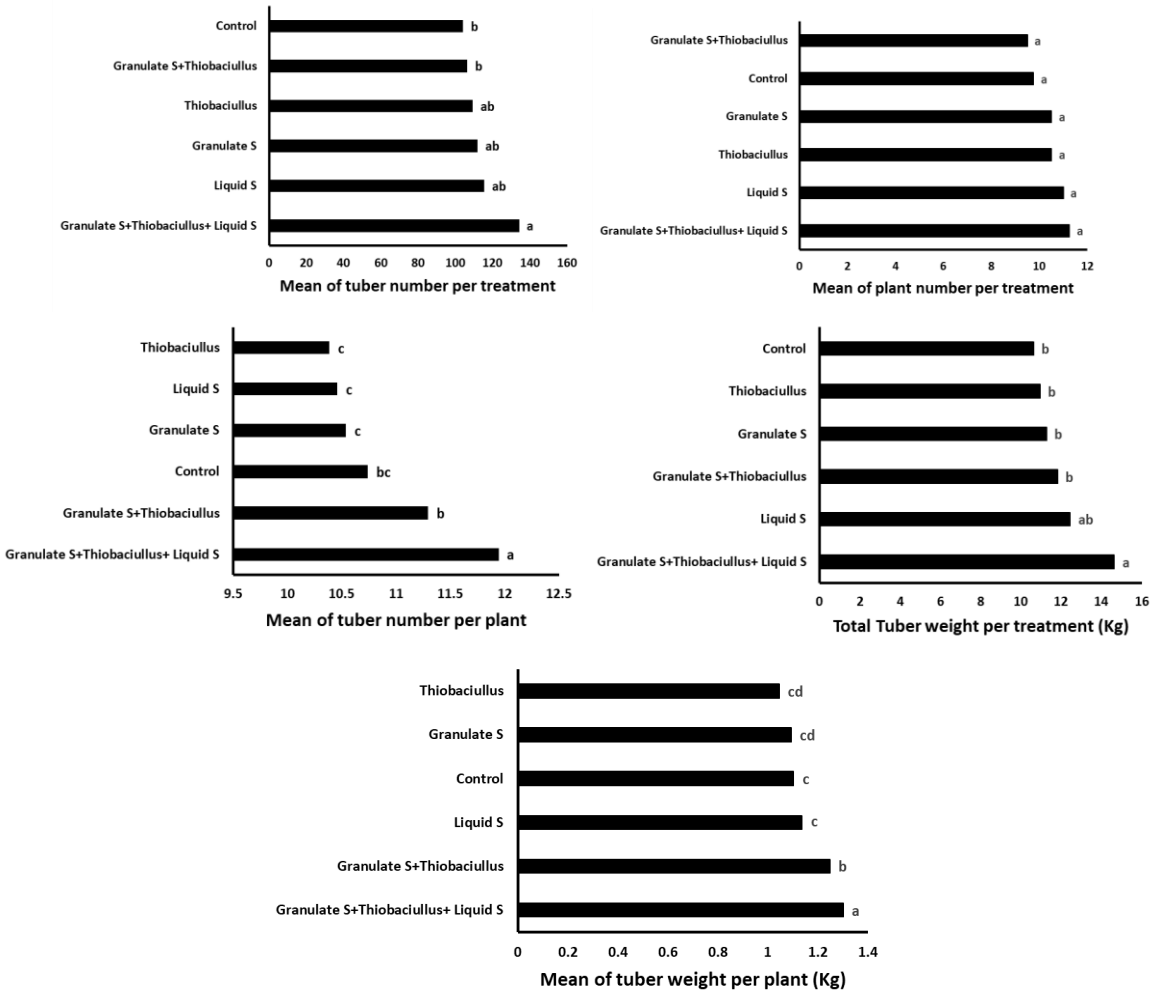
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای آزمایش بر صفات درصد غده‌های آلوده و شاخص آلودگی غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۲) درصد غده‌های آلوده تحت تأثیر تیمارهای مختلف آزمایش متغیر بود (شکل ۲). کمترین درصد غده‌های آلوده سیب‌زمینی به ترتیب با ۴/۹۳ و ۵/۵۵ درصد، مربوط به تیمار کاربرد همزمان گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس و گوگرد مایع بود. این تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۷۴/۳ و ۷۱/۱ درصد شیوع بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی در غده‌ها را کاهش دادند (شکل ۳). همچنین، نتایج نشان داد که کاربرد همزمان گوگرد گرانول و تیوباسیلوس در مقایسه با کاربرد جداگانه گوگرد گرانول باعث کاهش ۳۳/۸ درصدی غده‌های آلوده سیب‌زمینی شد (شکل ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای حاوی گوگرد بر صفات رشدی سیب‌زمینی در شرایط مزرعه

Table 2. Analysis of variance of the effect of sulfur-containing treatments on potato growth traits in the field conditions

Source of variation	Degree of freedom	Mean of square				
		Mean of tubers weight per plant (Kg)	Mean of tuber number per plant	Total weight of tuber in treatment (kg)	Mean of tuber number in treatment	Mean of plant number in treatment
Treatment	5	0.039^{**}	1.49^{**}	8.51^{*}	471.48^{ns}	1.86^{ns}
Block	3	0.008^{**}	1.67^{**}	29.48^{**}	3793.93^{**}	30.5^{**}
Error	15	0.001	0.18	2.19	270.83	2.33
Coefficient of variation (%)		2.94	3.89	12.39	14.48	14.66



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف گوگرد بر صفات رشدی سیب‌زمینی در شرایط مزرعه

Figure 2. Mean comparison of the effect of different sulfur treatments on potato growth traits in the field conditions

مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۴) نشان داد که در مقایسه با شاهد (۲/۱۰) به ترتیب کمترین شاخص آلودگی غده مربوط به تیمارهای گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس (۰/۸۷)، گوگرد مایع (۰/۹۷)، گوگرد گرانول+تیوباسیلوس (۱/۳۳) و گوگرد گرانول (۱/۷۸) بود که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۸/۱، ۵۳/۳، ۳۶ و ۱۴/۴ درصد شاخص مذکور را کاهش دادند (شکل ۴). بین تیمار شاهد با تیوباسیلوس از نظر تأثیر بر شاخص آلودگی غده تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۴).

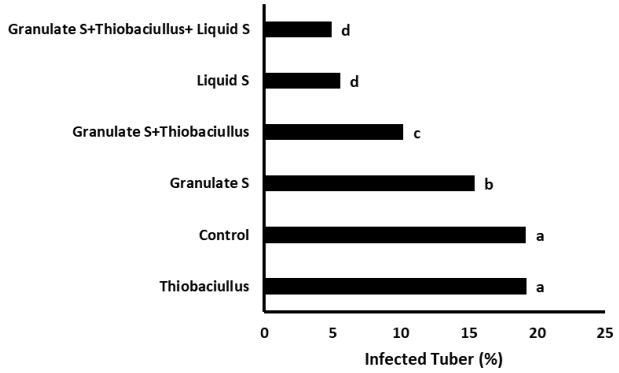
بحث

با توجه به اهمیت گوگرد در مهار بیماری اسکب معمولی سیب‌زمینی، این مطالعه برای بررسی اثرات انواع گوگرد (گرانول و مایع) و تیوباسیلوس بر عملکرد غده‌های سیب‌زمینی و بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی انجام شد. نتایج نشان داد که اثر کاربرد برخی تیمارهای حاوی گوگرد و ترکیب آن با تیوباسیلوس بر عملکرده غده سیب زمینی و شاخص آلودگی غده معنی‌دار بود. بیشترین تعداد غده و وزن غده در تیمار با کاربرد ترکیبی گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس به‌دست آمد. افزایش عملکرد غده در اثر تیمار گوگرد می‌تواند به دلیل کاهش pH و بهبود جذب عناصر غذایی باشد (Sabbagh et al., 2014; Jazaeri et al., 2016). در یک مطالعه اثر متقابل تیوباسیلوس و گوگرد بر صفات عملکرد غده، تعداد غده در بوته، محتوای پتاسیم و فسفر غده و میزان pH خاک تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین میزان عملکرد غده، تعداد غده در بوته، محتوای فسفر و پتاسیم غده با کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار و استفاده همزمان از تیوباسیلوس حاصل شد. استفاده از گوگرد pH خاک را کاهش داد، بیشترین میزان pH خاک در شرایط عدم استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس مشاهده گردید (Golmoradi et al., 2017). اثر افزایش عملکرد ناشی از کاربرد گوگرد می‌تواند به دلیل دخالت گوگرد در متابولیسم نیتروژن و سنتز پروتئین و کلروفیل باشد، در حالی که کمبود گوگرد منجر به کاهش محتوای کلروفیل برگ می‌شود (Bimbraw, 2008). گوگرد باعث افزایش جذب برخی عناصر غذایی مهم مانند فسفر و آهن می‌شود (Moradpoor et al., 2019).

جدول ۳- تجزیه واریانس کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس بر کنترل بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی

Table 3. Analysis of variance of application of sulfur and *Thiobacillus* on the control of common potato scab.

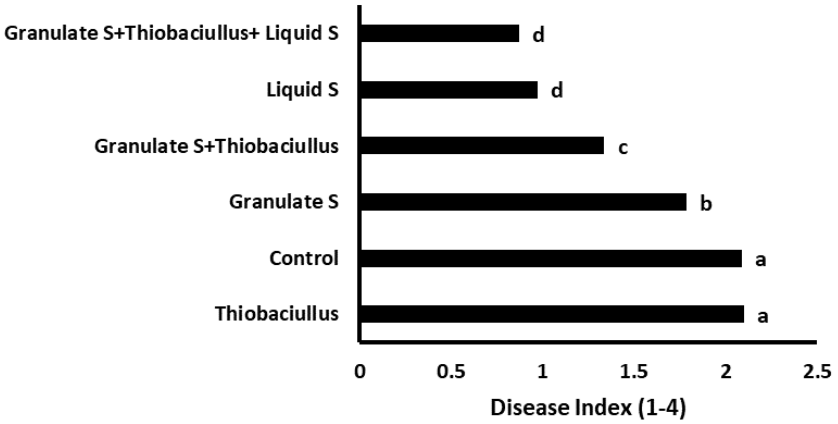
Source of variation	Degree of freedom	Infected tubers (%)	Disease Index
Block	3	4.58^{ns}	0.018^{ns}
Treatment	5	167.82^{**}	1.18^{**}
Error	15	3.67	0.02
Coefficient of variation (%)		16.53	10.31



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد بر درصد غده‌های آلوده سیب‌زمینی به بیماری جرب معمولی.

Figure 3. Mean comparison of the effect of different sulfur treatments on the percentage of infected potato tubers with common scab disease.

در کنار افزایش عملکرد، درصد غده‌های آلوده در تیمارهای مختلف آزمایش (به استثنای تیوباسیلوس) نیز کاهش یافت. کمترین درصد و شاخص آلودگی غده‌ها به بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی به ترتیب مربوط به تیمار کاربرد همزمان گوگرد گرانول+گوگرد مایع+تیوباسیلوس و گوگرد مایع بود. در مجموع فرم گوگرد نقش مهمی در بیماری داشت و گوگرد مایع به تنهایی و یا همراه با سایر تیمارها قادر بود شدت بیماری را به صورت قابل توجه‌ای کاهش دهد. گوگرد مایع حاوی فرم‌های سولفات و دارای pH حدود یک است. علاوه براین فرم مایع باعث نفوذ بهتر آن در خلل و فرج خاک می‌شود (Mayorga Valladares, 2023). این فرم‌ها برای تغییر pH نیاز چندانی به فرایندهای میکروبی خاک ندارند. در مقابل، فرم‌های معدنی گوگرد همچون فرم پودری و گرانوله برای تبدیل به فرم‌های سولفاته و کاهش pH نیاز به باکتری‌های اکسید کننده گوگرد مثل تیوباسیلوس دارند. ولی تبدیل آنها یک فرایند طولانی است و با مرور زمان pH خاک را کاهش می‌دهند. البته از بین این دو، فرم گرانوله گوگرد در مقابل گوگرد پودری که از مشتقات نفت و آبگریز است، اثرگذاری بهتر و سریع‌تری دارد (Degryse et al., 2016). مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که در مهار بیماری جرب معمولی سیب زمینی، بین فرم‌های گوگرد مثل سولفات پتاسیم، نیترات پتاسیم و گچ تفاوت وجود دارد (Dees & Wanner, 2012; Kumar et al., 2023). در پژوهش حاضر فرم‌های مختلف گوگرد مخصوصاً فرم مایع آن باعث کاهش pH خاک شدند ولی تغییر آن به گونه‌ای نبود که خاک در طبقه اسیدی قرار گیرد. البته خاک مورد بررسی آهکی بود که خاصیت بافری دارد و اجازه تغییرات شدید pH را نمی‌دهد (جدول ۱). اما علت کاهش بیماری با تغییرات کم pH را شاید بتوان این‌گونه تفسیر کرد که بررسی pH در آزمایش حاضر در انتهای فصل انجام شد و در این صورت ممکن است که کاهش ناگهانی pH در هنگام کاربرد گوگرد مخصوصاً فرم مایع اثر خود را بر جمعیت بیمارگر به جای گذاشته باشد. در طول آبیاری‌های فصل زراعی به تدریج اثرگذاری گوگرد مایع بر pH، به علت آبشویی و متابولیسم میکروبی کاهش پیدا می‌کند. همچنین گزارش شده است که اثرگذاری گوگرد فقط از طریق pH نیست و گاهاً کاربرد مقادیر کم گوگرد یا فرم‌های خاص آن، بدون تغییر pH باعث کاهش معنی‌دار بیماری جرب معمولی سیب‌زمینی شده است. علت این پدیده را به تبدیل گوگرد به فرم‌های سمی (مثل H_2S) برای میکروب‌ها نسبت داده‌اند (Davis, 1976; Pavlista, 2015).



شکل ٤- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف گوگرد بر شاخص آلودگی غده سیب‌زمینی به بیماری جرب معمولی.

Figure 4. Mean comparison of the effect of different sulfur treatments on the disease index of potato tuber with common scab disease.

گوگرد با سازوکارهای متفاوتی باعث افزایش کیفیت و کمیت سیب‌زمینی به‌ویژه در خاک‌های آلوده به جرب معمولی می‌شود. گوگرد یکی از عناصر ضروری در رشد و متابولیسم گیاه است. این عنصر در جذب سایر عناصر ضروری نیز تعامل دارد و با کاهش تغییر pH خاک روی روابط زیستی خاک و مخصوصاً مهار جرب معمولی نقش دارد. تیوباسیلوس می‌تواند با افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه، مقاومت گیاهان سیب‌زمینی را در برابر بیماری‌ها افزایش دهد. اسیدی شدن محیط ریزوسفر به واسطه اکسیداسیون گوگرد توسط باکتری‌های تیوباسیلوس در کنترل بیماری‌های قارچی و باکتریایی خاکزاد تأثیر به سزایی دارد (Ghaderi et al., 2021). باکتری‌های تیوباسیلوس قادر به اکسیداسیون گوگرد به اسید سولفوریک هستند که منجر به کاهش pH خاک می‌شود (Booali et al., 2024). محیط اسیدی ایجاد شده توسط اسید سولفوریک می‌تواند رشد و تکثیر بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا را کاهش دهد (Handelsman & Stabb, 1996). اسیدی شدن محیط می‌تواند ترکیب میکروبیوم خاک را تغییر دهد و باعث افزایش فعالیت میکروب‌های مفید شود که به رقابت با بیمارگرها پرداخته و از رشد آنها جلوگیری می‌کنند (Weller, 1988). به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس به‌طور همزمان می‌تواند باعث کاهش pH خاک شده و با بهبود شرایط خاک و تغذیه گیاه، سبب افزایش عملکرد غده‌های سیب‌زمینی و کاهش آلودگی آنها به بیماری جرب معمولی گردد.

سپاس‌گزاری

از دانشگاه رازی برای حمایت مالی این پژوهش و از دکتر حسین بشارتی از مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک کشور برای فراهم کردن سویه تیوباسیلوس قدردانی می‌گردد.

References

Adams, M. J., & Lapwood, D. H. (1978). Studies on the lenticel development, surface microflora and infection by common scab (*Streptomyces scabies*) of potato tubers growing in wet and dry soils. *Annals of Applied Biology, 90*(3), 335-343. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1978.tb02641.x

Al-Mughrabi, K. I., Vikram, A., Poirier, R., Jayasuriya, K., & Moreau, G. (2015). Management of common scab of potato in the field using biopesticides, fungicides, soil additives, or soil fumigants. *Biocontrol Science and Technology, 26*(1), 125-135. doi:10.1080/09583157.2015.1079809

Besharaty, H., Khavazi, K., & Saleh-Rastin, N. (2001). Evaluation of some carriers for Thiobacillus inoculants used along with sulphur to increase uptake of some nutrients by corn and improve its performance. In *Plant Nutrition* (pp. 672-673).

Bimbraw, A. S. (2008). Sulfur Nutrition and Assimilation in Crop Plants. In *Sulfur Assimilation and Abiotic Stress in Plants* (pp. 55-95): Springer Berlin Heidelberg.

Booali, S., Zoufan, P & ,.Bavani, M. R. Z. (2024). Effect of biofertilizer containing Thiobacillus bacteria along with different levels of chemical sulfur fertilizer on growth response and photochemical efficiency of small radish plants (Raphanus sativus L. var. shushtari) under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae, 327*, 112835 .

Davis, J. R. (1976). Influence of soil moisture and fungicide treatments on common scab and mineral content of potatoes. *Phytopathology, 66*(2), 228. doi:10.1094/phyto-66-228

Dees, M. W., & Wanner, L. A. (2012). In Search of Better Management of Potato Common Scab. *Potato Research, 55*(3-4), 249-268. doi:10.1007/s11540-012-9206-9

Degryse, F., Ajiboye, B., Baird, R., da Silva, R. C., & McLaughlin, M. J. (2016). Oxidation of Elemental Sulfur in Granular Fertilizers Depends on the Soil-Exposed Surface Area. *Soil Science Society of America Journal, 80*(2), 294-305. doi:https://doi.org/10.2136/sssaj2015.06.0237

Driscoll, J., Coombs, J., Hammerschmidt, R., Kirk, W., Wanner, L., & Douches, D. (2009). Greenhouse and field nursery evaluation for potato common scab tolerance in a tetraploid population. *American Journal of Potato Research, 86*, 96-101 .

Farzipour, H., Zeynadini Riseh, A., Sahhafi, S. R., & Karimi, H. R. (2024). Effect of different sulfur concentrations and its application method in the control of root-knot nematode in four Pistachio cultivars. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 47*(2), 1-18. doi:10.22055/ppr.2024.46812.1742

Ghaderi, j., Davoodi, M. H., & Khvazi, K .(۲۰۲۱) .Effect of elemental sulfur and Thiobacillus bacteria on yield and some quality characteristics of Canola. *Iranian Journal of Soil Research, 35*(3), 235-251. doi:10.22092/ijsr.2021.354082.595

Golmoradi, M., Barmaki, M., & Sedghi, M. (2017). Effect of sulfur fertilizer and thiobacillus on qualitative traits and nutrients concentration of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Plant Ecophysiology, 9*(29), 113-124 .

Handelsman, J., & Stabb, E. V. (1996). Biocontrol of Soilborne Plant Pathogens. *Plant Cell, 10*(8), 1855-1869. doi:10.1105/tpc.8.10.1855

Islam, M. S., Khan, A. A., Rubayet, M. T., Haque, M. M., Karim, M. A., & Mian, I. H. (2021). Effect of magnesium and sulfur fertilizer on yield, diseases and disorders of seed potato. *Poljoprivreda i Sumarstvo, 67*(1), 239-254.

Jazaeri, M., Akhgar, A., Sarcheshmehpour, M., & Mohammadi, A. H. (2016). Bioresource efficacy of phosphate rock, sulfur, and Thiobacillus inoculum in improving soil phosphorus availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47*(11), 1441-1450 .

Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*: CRC Press.

Kavazi, K., Jahandideh Mahjan Abadi, V., & Taghipoor, F. (2018). Effect of Sulfur, *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on the yield and nutrient elements uptake of wheat in calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production, 8*(2), 23-41. In Persian. doi:10.22069/ejsms.2018.13665.1761

Klikocka, H., Haneklaus, S., Bloem, E., & Schnug, E. (2005). Influence of Sulfur Fertilization on Infection of Potato Tubers withRhizoctonia solaniandStreptomyces scabies. *Journal of Plant Nutrition, 28*(5), 819-833. doi:10.1081/pln-200055547

Klikocka, H., Klikocka, H., Głowacka, A., Juszczak, D., & Kobiałka, A. (2015). The influence of sulphur on phosphorus and potassium content in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Elementology* (3/2015). doi:10.5601/jelem.2014.19.2.661

Kumar, S., Biswas, S. K., Kumar, A., Rajput, V. D., Kumar, R., Kumar, S., . . . Kumar, R. (2023). Effect of integrated disease management (IDM) practices on disease severity and incidence of common scab of Potato. *Potato Research, 67*(1), 271-292. doi:10.1007/s11540-023-09629-5

Larkin, R. P., & Griffin, T. S. (2007). Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures. *Crop Protection, 26*(7), 1067-1077. doi:10.1016/j.cropro.2006.10.004

Larkin, R. P., & Halloran, J. M. (2014). Management effects of disease-suppressive rotation crops on potato yield and soilborne disease and their economic implications in potato production. *American Journal of Potato Research, 91*(5), 429-439. doi:10.1007/s12230-014-9366-z

Larkin, R. P., Honeycutt, C. W., Griffin, T. S., Olanya, O. M., Halloran, J. M., & He, Z. (2011). Effects of different potato cropping system approaches and water management on soilborne diseases and soil microbial communities. *Phytopathology, 101*(1), 58-67. doi:10.1094/PHYTO-04-10-0100

Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, H. M., Ross, C. F., Powers, J. R., Tang, J., & Rasco, B. A. (2011). Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy. *Food Chem, 129*(2), 637-644. doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.105

Mayorga Valladares, D. (2023). *Effect od Different Sources and Application Rates of Sulfur on Corn and Soybean Production Systems in Louisiana.* (Master in Agricultural Management). Louisiana State University ,

Moradpoor, F., Khoramivafa, M., & Zolnurian, H. (2019). Effect of various organic nutrition methods on potato minituber production in aeroponic condition. *Iranian Journal of Field Crop Science, 50*(3), 79-87. doi:10.22059/ijfcs.2018.242019.654382

Pavlista, A. D. (2015). Sulfur and Marketable Yield of Potato. In *Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition* (pp. 171-182).

Powelson, M., & Rowe, R. (2008). Managing diseases caused by seedborne and soilborne fungi and fungus-like pathogens. *Potato health management*, 183-195 .

Rowell, D. L. (1994). *Soil science: Methods and applications*: Routledge.

Sabbagh, H., Khorami Vafa, M., Jalali Honarmand, S., & Beheshti Al-Agha. (2014). *Effect of Thiobacillus bacteria, sulfur, and manure on the concentration of some mineral elements in garlic bulbs.* Paper presented at the The Second National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan.

Santos-Cervantes, M. E., Felix-Gastelum, R., Herrera-Rodríguez, G., Espinoza-Mancillas, M. G., Mora-Romero, A. G., & Leyva-López, N. E. (2016). Characterization, pathogenicity and chemical control of *Streptomyces acidiscabies* associated to potato common scab. *American Journal of Potato Research, 94*(1), 14-25. doi:10.1007/s12230-016-9541-5

Sarikhani, E., Sagova-Mareckova, M., Omelka, M., & Kopecky, J. (2017). The effect of peat and iron supplements on the severity of potato common scab and bacterial community in tuberosphere soil. *FEMS Microbiol Ecol, 93*(1), fiw206. doi:10.1093/femsec/fiw206

Sarwar, A., Latif, Z., Zhang, S., Zhu, J., Zechel, D. L., & Bechthold, A. (2018). Biological Control of Potato Common Scab With Rare Isatropolone C Compound Produced by Plant Growth Promoting Streptomyces A1RT. *Front Microbiol, 9*, 1126. doi:10.3389/fmicb.2018.01126

Tiwari, R. K., Kumar, R., Sharma, S., Sagar, V., Aggarwal, R., Naga, K. C., . . . Kumar, M. (2020). Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech, 10*(11), 503. doi:10.1007/s13205-020-02496-8

Tomihama, T., Nishi, Y., Mori, K., Shirao, T., Iida, T., Uzuhashi, S., . . . Ikeda, S. (2016). Rice Bran Amendment Suppresses Potato Common Scab by Increasing Antagonistic Bacterial Community Levels in the Rhizosphere. *Phytopathology, 106*(7), 719-728. doi:10.1094/PHYTO-12-15-0322-R

Vahedi, M., & Fadaei Tehrani, A. A. (2014). Interaction of root- knot nematode (*Meloidogyne javanica*) and bacterial agent of common scab (*Streptomyces scabies*) on potato. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 37*(3), 49-60.

Weller, D. M. (1988). Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Annual Review of Phytopathology, 26*(1), 379-407 .

© 2025 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.