



Research Article

Vol. 23, No. 4, Winter 2025, p. 497-509

The Effect of Microtuber Size and Phosphate Biofertilizer on Growth and Tuber Yield of Sante Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivar

N. Gharehbaghli^{1*}, A. Sepehri²

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(* - Corresponding author's Email: n.gharehbaghli@areeo.ac.ir)

Received: 30 April 2025

Revised: 17 August 2025

Accepted: 25 August 2025

Available Online: 02 September 2025

How to cite this article:

Gharehbaghli, N., & Sepehri, A. (2025). The Effect of Microtuber Size and Phosphate Biofertilizer on Growth and Tuber Yield of Sante Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivar. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(4), 497-509. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93219.1390>

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a globally significant crop whose productivity is substantially influenced by seed tuber quality and nutrient management. The Sante variety, prized for its disease resistance and processing qualities, shows particular sensitivity to these factors. Recent studies highlight that seed tuber size is a critical determinant of early growth vigor, influencing both carbohydrate reserves and meristematic potential. Larger tubers (>20 mm in diameter) generally exhibit 30–40% higher initial growth rates due to their greater sprouting capacity and faster establishment of photosynthetic activity. Concurrently, phosphate biofertilizers containing *Pseudomonas* and *Bacillus* strains have shown remarkable efficacy in potato systems, improving phosphorus availability by 50-70% through organic acid secretion and phosphatase activity. The interaction between tuber size and biofertilization remains underexplored, particularly regarding source-sink relationships during tuber initiation. Preliminary evidence suggests synergistic effects, where larger tubers' inherent advantages are amplified by biofertilizer-induced nutrient mobilization. This study investigates these dynamics in Sante potatoes, hypothesizing that optimal tuber size combined with dual-phase biofertilizer application will maximize yield components through: (1) enhanced canopy development, (2) improved phosphorus use efficiency, and (3) superior photoassimilate partitioning. The findings will advance precision management strategies for seed potato production systems.

Materials and Methods

A field experiment using the Sante potato cultivar was conducted in a factorial design in a randomized complete block design with three replications in the 1401 crop year. The microtubers were produced in the previous year through tissue culture and potting in greenhouse cultivation. The treatments included tuber size at three levels up to 20, 20-25 and 25-30 mm and application of Barvar 2 phosphate biofertilizer at three levels without phosphate biofertilizer (control), one application of phosphate biofertilizer (at the time of planting by dipping the tubers with biofertilizer) and two applications of phosphate biofertilizer at the time of planting and 4-6 leaves. Land preparation operations included semi-deep ploughing in spring and two stages of vertical disking. The seeds were sown in rows and ridges with row spacing of 75 cm and plant spacing of 20 cm. Each plot consisted of 6 rows, each 5 m in length. Irrigation was carried out regularly and according to the plant's water requirements during the growth period. Weed control was carried out manually. During the growth period, sampling of experimental plots was carried out every 10 days by randomly picking 5 plants from the assigned rows, and leaf area, leaf dry matter and total dry matter were measured to evaluate growth indices. At the time of



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93219.1390>

harvest, the number of stems, number of tubers, tuber dry matter, and total tuber yield were measured for each plot, and the harvest index was calculated. SAS version 9.4 software was used to analyse the data, and Microsoft Excel software was used to create graphs.

Result and Discussion

The results indicated that larger microtubers (25–30 mm) significantly ($p < 0.01$) enhanced growth and yield parameters. Total biomass ($6,201 \text{ kg ha}^{-1}$), number of tubers per plant (4.8), and tuber yield ($28,337 \text{ kg ha}^{-1}$) increased by 41%, 23%, and 63%, respectively, compared to smaller microtubers (15–20 mm). Two applications of phosphate biofertilizer also increased leaf area index (27.58%), tuber dry matter (33.19%), and harvest index (5.69%) compared to the control. The interaction of these two factors showed that the combination of 25–30 mm microtubers with two applications of biofertilizer produced the highest tuber yield (31524 kg ha^{-1}) and harvest index (89.03%).

Conclusion

This study investigated the effect of potato tuber size and phosphate biofertilizer application on the growth and yield of the new potato variety Sante. The results showed that tuber size and phosphate biofertilizer application had a significant effect on potato growth and yield indices. Larger tubers (25 to 30 mm) provided more energy for germination and early growth due to greater nutrient storage, which led to faster leaf formation and increased leaf area index (LAI). Also, applying phosphate biofertilizer twice had a greater effect on leaf area, stem number, tuber number, tuber yield, tuber dry matter, and total biomass compared to applying phosphate biofertilizer once and without fertilizer. The interaction between tuber size and phosphate biofertilizer was also significant for all measured traits. The highest yield and plant growth were observed in the combined treatment of 25–30 mm microtubers and two applications of phosphate biofertilizer. These results indicate that the use of larger microtubers, along with optimal use of phosphate biofertilizer can be used as an effective strategy to improve potato growth and yield under field conditions. Finally, this study emphasizes that choosing the appropriate size of microtubers and properly managing the use of phosphate biofertilizer can help increase productivity and sustainability in potato production. These findings can be used as a guide for farmers and researchers to optimize cultivation conditions and increase potato yield.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Leaf area, Seed tuber

اثر اندازه ریزغده و کود زیستی فسفات بر رشد و عملکرد بذری سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم سائته

نساء قره باغلی^{۱*}، علی سپهری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳

چکیده

به منظور بررسی اثر اندازه غده و کود زیستی فسفات بر رشد و عملکرد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم سائته، آزمایشی در سال ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان همدان انجام گرفت. عوامل مورد بررسی شامل اندازه غده در سه سطح ۱۵ تا ۲۰، ۲۰ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۳۰ میلی متر و مصرف کود زیستی فسفات در سه سطح بدون مصرف کود (شاهد)، مصرف یک بار کود زیستی فسفات (در زمان کاشت)، مصرف دو بار کود زیستی فسفات (در زمان کاشت و چهار تا شش برگ) بود. نتایج نشان داد که ریزغده های بزرگتر (۲۵-۳۰ میلی متر) به طور معنی داری ($p < 0.01$) عملکرد غده را بهبود بخشیدند، به طوری که عملکرد غده (۲۸۳۳۷ کیلوگرم در هکتار) نسبت به ریزغده های کوچکتر (۱۵-۲۰ میلی متر) ۶۳ درصد افزایش یافت. مصرف دو بار کود زیستی فسفات نیز موجب افزایش شاخص سطح برگ (۲۷/۵۸ درصد)، ماده خشک غده (۳۳/۱۹ درصد) و شاخص برداشت (۵/۶۹ درصد) نسبت به شاهد شد. برهم کنش این دو عامل نشان داد که ترکیب ریزغده های ۳۰-۲۵ میلی متر با مصرف دو بار کود زیستی، بالاترین عملکرد غده (۳۱۵۲۴ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت غده (۸۹/۰۳ درصد) را ایجاد کرد. به نظر می رسد که این بهبود به دلیل افزایش جذب فسفر، توسعه سریع تر تاج پوشش و انتقال مواد فتوسنتزی به غده ها بوده است. یافته ها تأکید می کنند که استفاده از ریزغده های با اندازه مناسب همراه با کود زیستی فسفات می تواند راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشت سیب زمینی باشد.

واژه های کلیدی: سطح برگ، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد غده، غده بذری

مقدمه

در واحد سطح با ملاحظه مشخصه های مؤثر بر آن، همواره بخشی از تحقیقات مربوط به سیب زمینی را به خود اختصاص داده است. علاوه بر شرایط اقلیمی، خاکی و نهاده های کشاورزی، برخی مشخصه های موجود در گیاه سیب زمینی، عملکرد را تحت تأثیر قرار می دهد (Cantuna Petrar et al., 2024). در میان عوامل مربوط به گیاه، اندازه غده های بذری تأثیری مهم بر عملکرد دارد، به طوری که گزارش شده است در کشت تجاری، عملکرد حاصل از غده های بذری با قطر ۴۶ الی ۵۵ میلی متر نسبت به ۲۵ الی ۳۴ میلی متر بیشتر بوده است (Ebrahim, Mohammad, & Ayalew, 2018). اندازه غده ها برای تولید غده های بذری مهم ترین شاخص برای اندازه گیری کیفیت بذری سیب زمینی از نظر تعداد جوانه می باشد. غده هایی با اندازه مناسب و کیفیت بیشتر، مقاوم در برابر پوسیدگی و استحکام بالاتر مورد توجه هستند (Kilonzi et al., 2024). به اظهار کاسیو و همکاران (Cassio et al., 2019)، با افزایش اندازه غده بذری، سرعت رشد

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) محصول غده ای است که به دلیل عملکرد زیاد در واحد سطح و داشتن ارزش غذایی بالا، نقش مهمی در تغذیه مردم جهان دارد (Biswas & Dutta, 2020). در شرایط فعلی با رشد سریع جمعیت و محدود بودن مناطق کشاورزی و عدم امکان گسترش بیشتر سطح زیر کشت، به منظور جلوگیری از اختلاف بین تقاضا و عرضه، کشت سیب زمینی با بازدهی کمی و کیفی بیشتر در واحد سطح مورد نظر است. بنابراین افزایش عملکرد

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: n.gharebaghli@areeo.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93219.1390>

۲۲ سویه باکتری حل کننده فسفات در خاکهای بومی ایران، برای استفاده در فرمولاسیون آن انتخاب شده است. یک سویه از این باکتری‌ها با تولید اسیدهای آلی باعث رهاسازی فسفات از ترکیبات معدنی می‌شود و سویه دیگر با تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز، باعث رها سازی فسفات از ترکیبات آلی می‌شود (Igíehon et al., 2024). در زمینه استفاده از کودهای زیستی بر روی گیاهان زراعی از قبیل گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، سیب‌زمینی، چغندرقد (*Beta vulgaris*)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، ذرت (*Zea mays*) و کاهو (*Lactuca sativa*) تحقیقات متعددی انجام شده است (Zambrano, Sangoquiza-Caiza, Campana, Kafi, Cruz, & Yanez-Guzman, 2021). کافی و همکاران (Nabati, Oskoueian, Oskoueian, & Shabahang, 2019) بررسی تأثیر کود زیستی فسفات بر عملکرد و سایر خصوصیات زراعی سیب‌زمینی رقم آگریا دریافتند که به‌کارگیری باکتری‌های حل کننده فسفات برای بهبود جذب فسفر و کاهش مصرف کودهای فسفر یکی از راهکارهای اساسی برای جبران کمبود فسفر مورد نیاز گیاه است. از جمله ویژگی‌های کود زیستی فسفات بارور می‌توان سازگاری با اقلیم کشور ایران، کاهش مصرف کود شیمیایی فسفات، افزایش عملکرد، حمل‌ونقل آسان، توانایی حل‌کنندگی فسفات بالا و روش مصرف آسان را می‌توان نام برد (Ghobady, Jahanbin, Motalebifard, & Parvizi, 2011).

سیب‌زمینی دارای ارقام تجاری متعددی است، رقم سانه به دلیل مقاومت به بیماری‌های ویروسی و کیفیت غده، جایگاه ویژه‌ای در کشت تجاری سیب‌زمینی دارد. باین‌حال، پاسخ این رقم به اندازه ریزغده‌های بذری کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر و تأثیر کودهای زیستی فسفات بر جبران محدودیت‌های تغذیه‌ای ناشی از کوچکی غده، هنوز به‌طور جامع بررسی نشده است. از سوی دیگر، با توجه به سیاست‌های کاهش مصرف کودهای شیمیایی، شناسایی ترکیب بهینه اندازه غده و دفعات مصرف کود زیستی فسفات می‌تواند راهکاری عملی برای دستیابی به عملکرد بالا در چارچوب کشاورزی پایدار ارائه دهد. بنابراین، این پژوهش با هدف پر کردن شکاف‌های دانشی و ارائه توصیه‌های کاربردی برای کشاورزان طراحی و انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای با استفاده از رقم سیب‌زمینی سانه و طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱ انجام شد. ریزغده‌ها در سال قبل از طریق کشت بافت تهیه و سپس با انتقال به گلدان در کشت گلخانه‌ای تولید شده بودند. مشخصه‌های کیفی مانند سلامت غده (ریزغده‌های کشت‌بافتی عاری از ویروس‌هایی مانند PVY و PLRV، باکتری‌هایی

جوانه‌ها و سبز کردن غده‌های بذری افزایش می‌یابد. با توجه به تأثیر اندازه غده‌های بذری بر روند رشد و عملکرد سیب‌زمینی، استفاده از اندازه‌های مطلوب غده بذری جهت حصول حداکثر عملکرد حائز اهمیت است.

علاوه بر عوامل مربوط به گیاه، استفاده از ترکیبات مغذی می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه مؤثر باشد، مقدار مناسب و تأمین به‌موقع مواد مغذی مهم‌ترین عامل در دستیابی به بهره‌وری بالای کشت سیب‌زمینی است، زیرا سیب‌زمینی یک گیاه پرمصرف با عکس‌العمل زیاد به تأمین مواد مغذی است (Westermann, 2005; Pandit, Dwivedi, Coubey, Bhargaw, & Raj, 2018). تاکنون در اغلب موارد، کشت سیب‌زمینی با تأمین مواد مغذی از طریق کودهای شیمیایی انجام شده است (Pandit et al., 2018). یکی از این ترکیبات فسفر است. ماده مغذی فسفر نقش مهمی در متابولیسم‌های پایه کربوهیدرات و سیستم انتقال انرژی ایفا می‌کند. از آنجایی که فسفر بخشی از ساختمان DNA، RNA، ATP و فسفولیپیدهای غشایی را تشکیل می‌دهد، کمبود آن باعث کاهش قابل توجهی در فرآیندهای متابولیکی مرتبط با تقسیم سلولی، توسعه و گسترش سلول، تنفس و فتوسنتز می‌شود. در فرآیند غده‌زایی سیب‌زمینی، یکی از عوامل مهم فراهم بودن فسفر برای گیاه می‌باشد که وجود آن در مراحل اولیه رشد گیاه ضروری است (Rosen & Bierman, 2008). نتایج آراکیت و همکاران (Aarakit, Josephine, & Joyce, 2021) نیز تأیید می‌کند که میزان فسفر تأثیر معنی‌داری بر رشد و عملکرد گیاه سیب‌زمینی دارد. در پژوهش مذکور، اثر متقابل میزان فسفر و ارقام بر بقاء گیاه، ارتفاع بوته، زیست توده اندام هوایی، تعداد چشم و اندازه غده معنی‌دار بود.

باین‌حال، در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست‌محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (Sharma, 2002). کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مطلوب جهت غلبه برای آن مشکلات به شمار می‌آید. کودهای زیستی شامل مواد نگهدارنده با تراکم زیاد از یک یا چند نوع ریزجاندان مفید خاک‌زی و یا به‌صورت فرآورده متابولیت این موجودات می‌باشند که در ناحیه اطراف ریشه و یا بخش‌های داخلی گیاه تشکیل کلون داده و رشد گیاه میزبان را با روش‌های مختلف تحریک می‌کنند (Atieno et al., 2020). وظایف این ریزجاندانان، تثبیت و یا رهاسازی یون‌های نیتروژن، فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول می‌باشد (Igíehon, Babalola, & Hassen, 2024). این باکتری‌ها معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر همیاری می‌کنند. یک نوع از این کودهای زیستی، کود زیستی فسفات بارور-۲ نام دارد. که دو سویه برتر از بین

آماده سازی زمین شامل شخم نیمه عمیق در بهار و دو مرحله دیسک عمود بود. کوددهی براساس آنالیز خاک مزرعه (جدول ۱) و توصیه کودی به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم قبل از کاشت و ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره تعیین گردید. یک سوم کود اوره قبل از کاشت و بقیه به صورت کود سرک مصرف شد. بذور به صورت جوی و پشته ای با فواصل ردیف ۷۵ سانتی متر و فاصله بوته ۲۰ سانتی متر کشت شد. هر کرت شامل شش ردیف به طول پنج متر بود. آبیاری به طور منظم و با توجه به نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد انجام گرفت. مبارزه با علف های هرز به صورت دستی انجام شد. در طول دوره رشد، هر ۱۰ روز یک بار نمونه گیری از کرت های آزمایشی با برداشت پنج بوته به طور تصادفی از ردیف های اختصاص یافته صورت گرفت. سطح برگ با استفاده از دستگاه Leaf area meter مدل LI-3100 اندازه گیری و شاخص سطح برگ از تقسیم سطح برگ (m^2) بر سطح زمین اشغال شده (m^2) توسط بوته ها به دست آمد. در زمان برداشت، تعداد ساقه، تعداد غده، ماده خشک غده ها و عملکرد کل غده ها برای هر کرت اندازه گیری و شاخص برداشت غده محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SAS ورژن ۹/۴ و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

مانند *Ralstonia solanacearum* و قارچ هایی مانند *Rhizoctonia solani* بوده و پوست غده سالم و بدون زخم بود، تعداد جوانه ها (ریزغده های با ۳-۲ جوانه قوی)، اندازه و سن فیزیولوژیک (ریزغده های با سن فیزیولوژیک یکسان همه از یک نسل کشت بافتی) برای کاهش تنوع و افزایش دقت نتایج در نظر گرفته شده است. تیمارها شامل اندازه غده در سه سطح ۱۵ تا ۲۰، ۲۰ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۳۰ میلی متر و مصرف کود زیستی فسفات بارور ۲ در سه سطح بدون مصرف کود زیستی فسفات (شاهد)، مصرف یک بار کود زیستی فسفات (در زمان کاشت با آغشته کردن غده ها با کود زیستی) و مصرف دو بار کود زیستی فسفات که در زمان کاشت و محلول پاشی در چهار تا شش برگ با غلظت توصیه شده ۳-۲ لیتر در هکتار و عصر انجام گرفت. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی 10^7 تا 10^8 باکتری حل کننده فسفات (*Pantoea agglomerans*) سویه P5 و *Pseudomonas putida* سویه P13 در هر گرم از محصول است که با تولید اسیدهای ارگانیک و آنزیم های فسفاتاز در اطراف ریشه باعث آزاد شدن یون فسفات می شوند. این کود از شرکت زیست فناور سبز خریداری گردید. شرایط آب و هوایی سال زراعی ۱۴۰۱ در منطقه همدان شامل میانگین دمای روزانه در فصل رشد ۱۵ تا ۳۲ درجه سانتی گراد، بارندگی کل فصل رشد (۱۵۰ میلی متر) با توزیع نامنظم در بهار و میانگین رطوبت نسبی هوا ۵۰-۴۰ درصد بود. عملیات

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical soil properties in experimental site

عمق	بافت	واکنش	ازت	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
Depth	Texture	pH	N (%)	Absorbable P (ppm)	Absorbable K (ppm)
0-20	رسی لومی Clay loam	7.4	0.06	10.5	113
20-40	رسی لومی Clay loam	7.3	0.05	8.7	110

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن، شاخص سطح برگ به دلیل پیری و ریزش برگ ها روند نزولی داشت. کاربرد کود زیستی فسفره باعث افزایش شاخص سطح برگ در تمام تیمارها شد. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می شود، در اندازه غده ۲۰-۱۵ میلی متر در حدود ۸۵ روز پس از سبز شدن (حداکثر شاخص سطح برگ)، مصرف دو بار کود زیستی فسفات نسبت به مصرف یک بار کود زیستی فسفات و عدم مصرف کود زیستی فسفات به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۴۳ و ۲۷/۵۸ درصدی شاخص سطح برگ سیب زمینی شد. در ریزغده های ۲۵-۲۰ میلی متری (شکل ۲) حداکثر شاخص سطح برگ از حدود ۸۵ تا ۹۰ روز پس از سبز شدن در تیمار مصرف دو بار کود زیستی فسفات مشاهده شد که نسبت به یک بار کود زیستی فسفات و عدم مصرف کود زیستی فسفات به ترتیب ۱۴/۵۱ و ۱۵/۵۲ درصد بود. از نظر

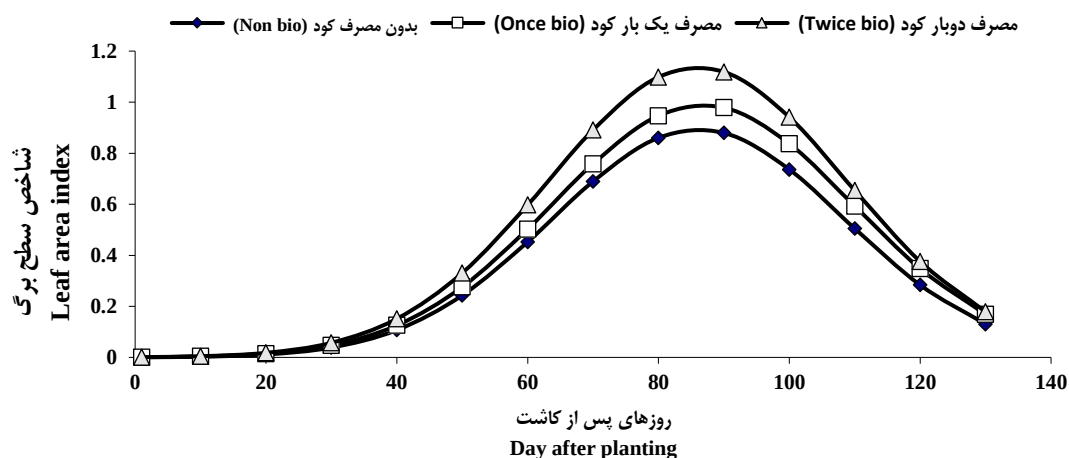
نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی دار برهم کنش اندازه های مختلف ریزغده و مصرف کود زیستی بر شاخص سطح برگ است (جدول ۲). بررسی روند شاخص سطح برگ در گیاهان کشت شده با اندازه های مختلف ریزغده و مصرف کود زیستی فسفره (شکل ۱، ۲ و ۳) نشان داد که بعد از سبز شدن بوته ها، در ابتدای دوره رشد، شاخص سطح برگ به کندی افزایش یافت، ولی با گذشت زمان و در ادامه با دفع علف های هرز و استفاده مناسب گیاه از کودهای مصرفی، افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد و در حدود ۸۰ تا ۹۰ روز پس از سبز شدن بسته به اندازه ریزغده ها و کود مصرفی

Dehghanshear, 2007) کاربرد فسفر در گیاه غده‌ای چغندر قند باعث افزایش قابل توجه شاخص سطح برگ شد و مصرف این عنصر موجب تسریع در حصول حداکثر شاخص سطح برگ گردید. به‌طور خلاصه، برهم‌کنش اندازه غده بذری سیب‌زمینی و کود زیستی فسفات شامل تعامل پیچیده‌ای از سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است و به نظر می‌رسد که غده‌های بزرگ‌تر انرژی اولیه را تأمین می‌کنند، درحالی‌که کودهای زیستی فسفات جذب مواد مغذی را بهبود می‌بخشند. این همکاری منجر به توسعه سریع‌تر سطح برگ می‌شود (Ebrahim et al., 2018). همچنین ترکیب سیتوکینین تولیدشده در غده‌های بزرگ و فسفر جذب‌شده توسط کودهای زیستی، می‌تواند تقسیم سلولی در برگ‌ها را بهینه کند (Aksenova, Konstantinova, Golyanovskaya, Sergeeva, & Romanov, 2012).

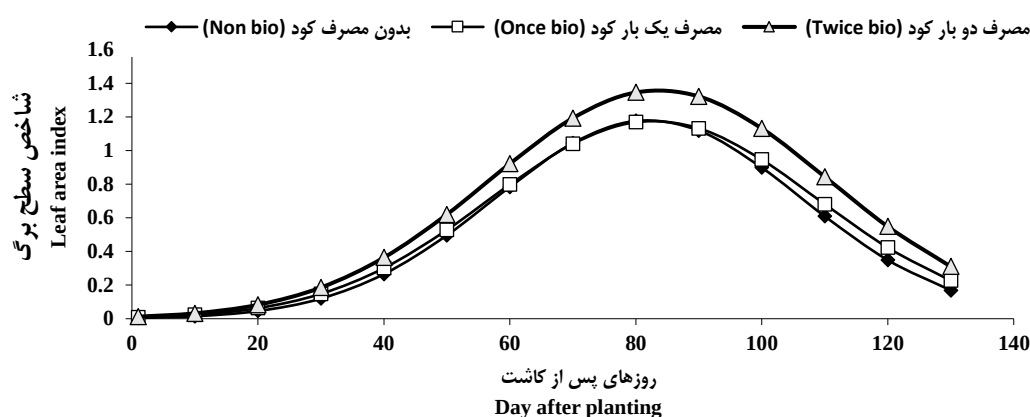
تعداد ساقه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اندازه ریزغده‌های سیب‌زمینی و مقادیر مختلف کود زیستی فسفات بر تعداد ساقه در بوته اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲)، به‌طوری‌که ریزغده‌های ۲۵-۳۰ میلی‌متری با میانگین ۳/۱۵ ساقه در بوته بیشترین و ریزغده‌های ۱۵-۲۰ میلی‌متری با میانگین ۱/۶ کمترین تعداد ساقه در بوته را دارا بودند. تعداد ساقه در بوته با افزایش اندازه ریزغده به ۲۵-۳۰ میلی‌متر به‌ترتیب ۴۱/۲۵ و ۹۶/۸۷ درصد نسبت به اندازه ریزغده‌های ۲۰-۲۵ و ۱۵-۲۰ میلی‌متری افزایش داشت. همچنین ریزغده‌های ۲۵-۲۰ و ۲۰-۱۵ میلی‌متری نسبت به ریزغده‌های ۲۰-۱۵ میلی‌متری ۴۰/۶۲ درصد افزایش را در تعداد ساقه نشان داد (جدول ۳).

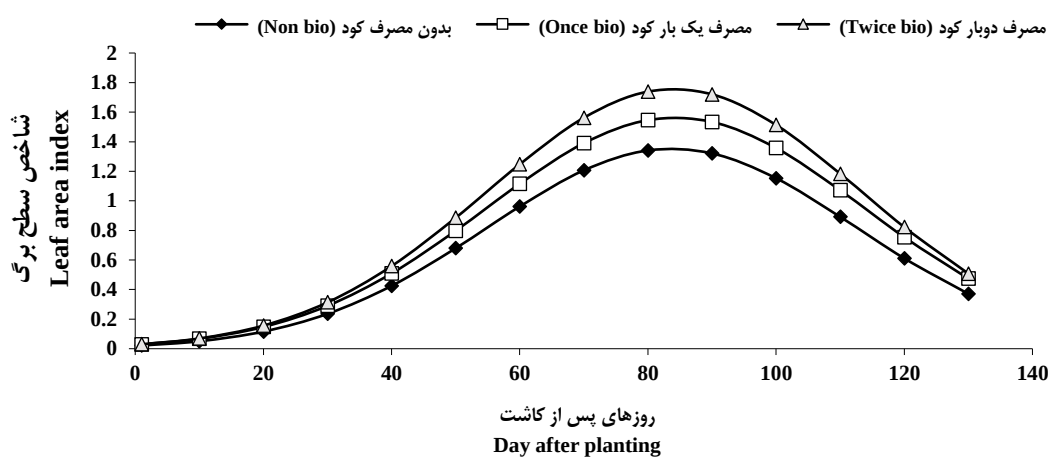
شاخص سطح برگ، تیمار مصرف یک بار کود و بدون مصرف کود تفاوت قابل ملاحظه‌ای تا حدود ۹۵ روز پس از سبز شدن دیده نمی‌شود. اما از این مرحله به بعد، روند کاهش سطح برگ در تیمار بدون کود زیستی فسفات سریع‌تر از یک بار کود زیستی فسفات بود که دلیل این امر را می‌توان به تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و جلوگیری از زردی و پیری برگ‌ها نسبت داد. در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود که شاخص سطح برگ در ریزغده‌های ۲۵-۳۰ میلی‌متری با گذشت ۹۰ تا ۹۵ روز پس از کاشت، در سطح دو بار مصرف کود زیستی فسفات نسبت به یک بار مصرف کود زیستی فسفات و عدم مصرف کود زیستی فسفات به‌ترتیب معادل ۱۲/۳۳ و ۲۹/۱۱ درصد افزایش نشان داد. بنابراین بالاترین شاخص سطح برگ در اندازه غده ۲۵-۳۰ میلی‌متری و با مصرف دو بار کود زیستی فسفات حاصل شد. اندازه ریزغده‌های سیب‌زمینی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) داشته باشد. به نظر می‌رسد که ریزغده‌های بزرگ‌تر به دلیل ذخیره بیشتر مواد مغذی، انرژی بیشتری دارند و می‌توانند سریع‌تر جوانه بزنند و گیاهچه‌های قوی‌تری تولید کنند که این امر منجر به تشکیل سریع‌تر برگ‌ها و افزایش شاخص سطح برگ در مراحل اولیه رشد می‌شود. همچنین ریزغده‌های بزرگ‌تر تعداد و اندازه برگ‌های بیشتری تولید می‌کنند، که در کل باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (Ebrahim et al., 2018). علاوه‌بر اندازه ریزغده، مصرف کودهای زیستی فسفات نیز در افزایش سطح برگ افزایش محسوسی را نشان می‌دهد. مارتینز و همکاران (Martins, Soratto, Fernandes, & Dias, 2018) در بررسی‌های خود بر روی سیب زمینی به این نتیجه دست یافتند که کود زیستی فسفات با افزایش دسترسی گیاه به فسفر، بهبود جذب مواد مغذی و تحریک رشد ریشه موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. طبق نتایج حمایتی و همکاران (Hemayati, Taleghani, Saednia, & ...)



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ در ریزغده‌های ۱۵-۲۰ میلی‌متری و مصرف کود زیستی فسفات
Figure 1- Trend of changes in leaf area index (LAI) on mini tubers 15-20 mm and phosphorus biofertilizer



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ در ریزغده‌های ۲۰-۲۵ میلی‌متری و مصرف کود زیستی فسفات
Figure 2- Trend of changes in leaf area index (LAI) on mini tubers 20-25 mm and phosphorus biofertilizer



شکل ۳- روند تغییرات شاخص سطح برگ در ریزغده‌های ۲۵-۳۰ میلی‌متری و مصرف کود زیستی فسفات
Figure 3- Trend of changes in leaf area index (LAI) on mini tubers 25-30 mm and phosphorus biofertilizer

اندازه ریزغده‌های ۱۵-۲۰ میلی‌متری و عدم مصرف کود زیستی فسفات با میانگین ۱/۳۰ ساقه در بوته، کمترین تعداد ساقه در بوته را داشت (جدول ۴). در تحقیقی که توسط ساندران و همکاران (Sundara, Natarajan, & Hari, 2002) انجام شد، کاربرد یک گونه باکتری حل‌کننده فسفات، تعداد ساقه را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

تعداد غده در بوته

تعداد غده‌های تولیدی در بوته برای اندازه‌های مختلف ریزغده کشت‌شده، اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد را نشان داد (جدول ۲). غده‌های ۲۵-۳۰ میلی‌متری با میانگین ۴/۸ غده در بوته بیشترین و غده‌های ۲۰-۲۵ و ۱۵-۲۰ میلی‌متری کمترین تعداد غده در بوته را دارا بودند. ریزغده‌های ۲۵-۳۰ میلی‌متر به‌ترتیب ۱۹/۴۰ و ۲۳/۷۱ درصد، تعداد غده در بوته بیشتری نسبت به ریزغده‌های ۲۰-۲۵ و

به اظهار ابراهیم و همکاران (Ebrahim et al., 2018)، یکی از عوامل مؤثر در تعداد ساقه تولیدشده اندازه ریزغده است، ریزغده‌های بزرگ‌تر تعداد ساقه بیشتری در مقایسه با ریزغده‌های کوچک‌تر تولید می‌کنند، آن‌ها همچنین نشان دادند که با افزایش اندازه غده به ۵۵-۴۵ میلی‌متر، تعداد ساقه اصلی در بوته افزایش می‌یابد. در این آزمایش، علاوه بر اندازه ریزغده، مصرف دو بار کود زیستی فسفات در طی رشد گیاه با میانگین ۲/۷۵ بیشترین تعداد ساقه و بدون مصرف کود (شاهد) با میانگین ۱/۹۸ کمترین تعداد ساقه در بوته را نشان داد. این تحقیق با گزارش حمایتی و همکاران (Hemayati et al., 2007) مبنی بر افزایش تعداد ساقه با مصرف کود زیستی فسفات تطابق دارد. برهم‌کنش اندازه غده و سطوح مختلف کود زیستی فسفات تأثیر معنی‌داری بر تعداد ساقه در بوته داشت (جدول ۲). بدین ترتیب که غده‌های ۲۵-۳۰ میلی‌متری و مصرف دو بار کود زیستی فسفات، بیشترین تعداد ساقه در بوته با میانگین ۳/۶۰ ساقه در بوته و

۲۰-۱۵ میلی‌متری تولید کرد (جدول ۳). مطالعات کاجیو و همکاران نشان داد که ریزغده‌های ۲۰-۱۵ گرمی نسبت به ریزغده‌های ۱۵-۱۰ گرمی ۲۰-۳۰ درصد، غده‌های بیشتری در هر بوته تولید می‌کنند. آن‌ها بیان داشتند که احتمالاً ذخیره کربوهیدرات و جوانه‌زنی قوی‌تر سبب افزایش معنی‌دار تعداد غده‌های تولیدی شده است (Kacheyo, Van Dijk, Vries, & Struik, 2021). قابل ذکر است که گنهان و همکاران (Getahun et al., 2022) نشان دادند که ریزغده‌های ۲۰-۱۵ گرم تعادل بهتری بین تعداد غده و یکنواختی اندازه غده‌های تولیدی ایجاد می‌کنند و اگرچه ریزغده‌های بزرگ‌تر از ۳۰ گرم تعداد غده را افزایش می‌دهند، ولی ممکن است باعث تولید غده‌های ریز و درشت نامتوازن شوند. سوناوان و دابل (Sonawane & Dhoble, 2004) در آزمایش خود نشان دادند که از ریزغده‌های ۱۵ گرمی، بیشترین تعداد غده در بوته حاصل می‌شود. موتانی و همکاران (Muthoni & Shimelis, 2020) نیز اثر اندازه غده بر تعداد غده‌ها را به شرایط آب‌وهوایی وابسته دانستند و بیان داشتند که در مناطق گرم و خشک، غده‌های ۲۵-۴۰ گرمی عملکرد بهتری دارند، زیرا رطوبت را سریع‌تر جذب می‌کنند.

تأثیر کود زیستی فسفات مصرفی بر تعداد غده تولیدشده در سطح

احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف دو بار کود زیستی فسفات با میانگین ۴/۶۸ بیشترین تعداد غده و عدم مصرف کود (شاهد) با میانگین ۳/۹۶ کمترین تعداد غده در بوته را نشان می‌دهد (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، مصرف دو بار کود زیستی فسفات در طول رشد گیاه به‌ترتیب ۱۵/۵۵ و ۱۸/۱۸ درصد تعداد غده تولیدی را نسبت به مصرف یک بار کود زیستی فسفات و شاهد افزایش داد. از آنجاکه فسفر در نمو اولیه گیاه و غده‌بندی زودهنگام نقش دارد، می‌تواند تعداد غده‌های تولیدشده به‌ازای هر بوته را افزایش دهد (Jenkins & Ali, 2005). برهم‌کنش اندازه غده و سطوح مختلف کود زیستی فسفات اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر تعداد غده در بوته داشت (جدول ۲). بدین ترتیب که غده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متری و مصرف دو بار کود زیستی فسفات بیشترین تعداد غده در بوته را با میانگین ۵/۷ غده در بوته و اندازه ریزغده‌های ۲۰-۱۵ میلی‌متری و مصرف یک بار کود زیستی فسفات و اندازه ریزغده‌های ۲۰-۲۵ میلی‌متری و عدم مصرف کود زیستی فسفات با میانگین ۳/۷۶ غده در بوته، کمترین تعداد غده در بوته را داشته است (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد سیب زمینی رقم سانت در تیمارهای مورد بررسی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of yield and yield components of potato var. Sante in studied treatments

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						شاخص برداشت Harvest index
		حداکثر شاخص سطح برگ LAImax	تعداد ساقه در بوته Number of stem per plant	تعداد غده در بوته Number of tuber per plant	ماده خشک غده Tuber dry matter	عملکرد غده Tuber yield	زیست‌توده کل Total biomass	
تکرار Replication (R)	2	0.1494**	0.20*	0.97*	10230.88*	767286.3*	859223.4*	5.25*
اندازه غده Tuber size (S)	2	0.5500**	5.50**	2.17**	8194583.49**	297529761.0**	76466610.3**	106.02**
کود زیستی Biofertilizer (F)	2	0.2285**	1.37**	1.39**	3609634.12**	40614792.4**	34279691.4**	50.97**
اندازه غده × کود S×F	4	0.0785*	0.01**	0.41*	269699.23*	1678890.0**	2755753.2*	7.02**
خطا Error	16	0.0157	0.03	0.12	47833.22	342631.6	609671.6	0.90
ضریب تغییرات CV (%)	-	10.0	7.2	9.5	12.1	13.8	13.5	12.5

ns, **, *: به‌ترتیب به‌معنی غیرمعنی‌دار، سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Non-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

ماده خشک غده

غده و مصرف کود زیستی فسفات اثر معنی‌داری را در سطح پنج درصد بر عملکرد ماده خشک غده نشان داد (جدول ۲). بیشترین

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشخص شده است، اندازه

اندازه‌های غده کوچک‌تر داشت. بنابراین بهینه‌سازی اندازه غده بذری برای افزایش بهره‌وری و سودآوری تولید سیبزمینی ضروری است. در این راستا، غده بذری رقم Gudanie با اندازه متوسط، سود خالص نسبتاً بالاتری با نرخ بازده حاشیه‌ای قابل قبول (۱۰۰/۹ درصد) ثبت کرد (Asnake, Alemayehu, & Asredie, 2023). مصرف دو بار کود زیستی فسفات در طی رشد گیاه با میانگین ۲۴۱۰۲/۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین و عدم مصرف آن (شاهد) با میانگین ۱۹۸۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد غده را دارا بودند. مصرف دو بار کود زیستی فسفات، عملکرد غده را به ترتیب ۱۱/۱۶ و ۲۱/۳۱ درصد نسبت به مصرف یک بار کود زیستی فسفات و شاهد افزایش داد (جدول ۳). کافی و همکاران (Kafi et al., 2019) بیان کردند که دسترسی فسفر مورد نیاز برای گیاه باعث افزایش سطح برگ و دوام سطح برگ شده و تداوم عمل فتوسنتز باعث افزایش طول دوره حجیم شدن غده‌ها و افزایش عملکرد می‌شود. برهم‌کنش اندازه غده و سطوح مختلف کود زیستی فسفات اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد غده داشته است (جدول ۲)، به‌طوری‌که ریزغده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متری و مصرف دو بار کود با میانگین ۳۱۵۲۴/۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد غده و ریزغده‌های ۱۵-۲۰ میلی‌متری و عدم مصرف کود با میانگین ۱۵۶۷۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد غده را دارا بوده است (جدول ۴). احتمالاً برهم‌کنش غده‌های بذری بزرگ‌تر با کودهای زیستی فسفات از طریق تأمین بهتر انرژی اولیه (Bist, Sharma, & Thakurathi, 2023)، بهبود جذب و استفاده از فسفر، تنظیم بهینه هورمون‌های رشد (Iftikhar et al., 2023)، افزایش کارایی فتوسنتز و بهبود توزیع مواد فتوسنتزی سبب بهبود عملکرد غده سیبزمینی شده است.

زیست‌توده کل

اثر اندازه‌های مختلف غده اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر روی زیست‌توده کل نشان داد (جدول ۲)، به‌طوری‌که اندازه غده ۳۰-۲۵ میلی‌متری با میانگین ۳۲۰۷۷/۵ بیشترین و اندازه غده ۱۵-۲۰ میلی‌متری با میانگین ۲۱۲۳۴/۱ کمترین زیست‌توده را دارا بود (جدول ۳). افزایش اندازه ریزغده به ۳۰-۲۵ میلی‌متر، زیست‌توده کل را به ترتیب ۳۶/۹۵ و ۵۱/۰۶ درصد نسبت به ریزغده‌هایی با اندازه ۲۵-۲۰ و ۱۵-۲۰ میلی‌متری افزایش داد. نتایج مطالعات اتازو (Otazu & Borus, 2023) حاکی از افزایش زیست‌توده کل به میزان ۶۰-۷۰ درصد در ریزغده‌های ۳۰ گرمی نسبت به ۲۰-۱۰ گرمی بود. در تأیید این نتایج، گنهان (Getahun et al., 2022) گزارش داد که غده‌های ۳۰-۵۰ گرمی، بیشترین زیست‌توده کل را نسبت به دیگر اندازه‌های غده تولید کردند. همچنین اثر کود زیستی فسفات بر زیست‌توده کل اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نشان می‌دهد (جدول ۲).

عملکرد ماده خشک غده در اندازه غده ۳۰-۲۵ میلی‌متری با میانگین ۵۴۷۹/۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در اندازه غده ۱۵-۲۰ میلی‌متری با میانگین ۳۵۹۸/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. ریزغده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متر به ترتیب ۲۸/۵۷ و ۵۲/۲۸ درصد ماده خشک غده را نسبت به ریزغده‌های ۲۵-۲۰ و ۱۵-۲۰ میلی‌متری افزایش دادند. اندازه ریزغده‌های سیبزمینی با میزان استحکام غده‌ها و تولید ماده خشک مرتبط می‌باشد و به‌طور مشخص نتایج ابراهیم و همکاران (Ebrahim et al., 2018) نشان دادند که غده‌های با قطر ۴۰-۶۰ میلی‌متر، ۲۰-۳۰ درصد ماده خشک بیشتری نسبت به ریزغده‌های ۲۰-۳۰ میلی‌متر تولید می‌کنند. مصرف دو بار کود زیستی فسفات با میانگین ۵۰۰۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین و شاهد (بدون مصرف کود) کمترین عملکرد ماده خشک غده را دارا بود. مصرف دو بار کود زیستی فسفات به ترتیب ۹/۵۹ و ۳۳/۱۹ درصد ماده خشک غده را نسبت به مصرف یک بار کود زیستی فسفات و شاهد افزایش داد. (جدول ۳). نتایج مطالعات حاکی از اثر کودهای زیستی فسفر بر افزایش ۲۲-۲۸ درصدی ماده خشک غده به سبب بهبود فعالیت آنزیم فسفاتاز (Pantigoso, He, Manter, Fonte, & Vivanco, 2022) و افزایش ۳۵ درصد از طریق تحریک تولید اکسین و توزیع کربوهیدرات به غده‌ها (Araújo et al., 2020) می‌شوند. برهم‌کنش اندازه غده و کود زیستی فسفات بر ماده خشک غده در سطح یک درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که ریزغده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متری و مصرف دو بار کود زیستی فسفات با میانگین ۵۰۰۹ کیلوگرم در هکتار، بیشترین ماده خشک غده و ریزغده‌های ۱۵-۲۰ میلی‌متری و عدم مصرف کود با میانگین ۳۷۶۰/۸ کیلوگرم در هکتار، کمترین ماده خشک غده را دارا بوده است (جدول ۴). به نظر می‌رسد که برهم‌کنش اندازه ریزغده و مصرف کود زیستی فسفر از طریق سازوکارهایی اثر افزایشی داشته و توانسته ماده خشک غده سیب زمینی را افزایش دهند.

عملکرد غده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اندازه غده و مصرف کود زیستی فسفات اثر معنی‌داری بر عملکرد غده در سطح یک درصد ایجاد کرد (جدول ۲)، به‌طوری‌که ریزغده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متری با میانگین ۲۸۳۳۷/۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ریزغده‌های ۱۵-۲۰ میلی‌متری با میانگین ۱۷۳۰۵/۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داشتند و با افزایش اندازه ریزغده از ۲۵-۳۰ میلی‌متر به ترتیب ۴۱/۶۱ و ۶۳/۷۴ درصد عملکرد غده نسبت به اندازه ریزغده‌های ۲۵-۲۰ و ۱۵-۲۰ میلی‌متری افزایش داشت (جدول ۳). جم و همکاران (Jam, Ebadi, Amini, & Dehdar, 2009) در بررسی تأثیر اندازه غده بذری سالم روی عملکرد نتیجه گرفتند که اندازه‌های ۲۸ و ۴۲ گرمی غده بذری به‌طور معنی‌داری عملکرد بیشتری نسبت به

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اندازه غده و کود زیستی، بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی

Table 3- Comparison of the average effect of tuber size and biofertilizer on yield and yield components of potato

شاخص برداشت غده Harvest index tuber	زیست‌توده کل Total biomass (kg ha ⁻¹)	عملکرد غده Tuber yield (kg ha ⁻¹)	ماده خشک غده Tuber dry matter (kg ha ⁻¹)	تعداد غده در بوته Number of tuber per plant	تعداد ساقه در بوته Number of stem per plant	حداکثر شاخص سطح برگ LAI _{max}	عوامل آزمایشی Treatment
اندازه غده Tuber size (S)							
							15-20 mm
							20-25 mm
							25-30 mm
کود زیستی Biofertiliz er (F)							Non bio
							Once bio
							Twice bio

* برای هر عامل آزمایشی، در هر ستون تفاوت بین حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

* For each experimental factor, different letters within the same columns indicate significant differences between treatments at $p \leq 0.05$, according to the Duncan test.

برداشت غده در اندازه غده ۳۰-۲۵ میلی‌متری با میانگین ۸۸/۳۴ و کمترین آن در اندازه غده ۲۰-۱۵ میلی‌متری با میانگین ۸۱/۵۰ مشاهده شد (جدول ۳). با افزایش اندازه ریزغده به ۳۰-۲۵ میلی‌متر درصد، شاخص برداشت غده نسبت به اندازه ریزغده‌های ۲۵-۲۰ و ۱۵-۲۰ میلی‌متری به‌ترتیب ۳/۴۰ و ۸/۳۹ افزایش یافت (جدول ۳). تحقیقات گتهان و همکاران (Getahun et al., 2022) نشان داد که غده‌های کوچک‌تر به‌دلیل کندی سرعت ایجاد پوشش گیاهی، شاخص برداشت کمتری دارند. همچنین مصرف دو بار کود زیستی فسفات با میانگین ۸۷/۲۲ بیشترین و تیمار بدون مصرف کود زیستی فسفات کمترین شاخص برداشت غده را نشان داد (جدول ۳). مصرف دو بار کود زیستی فسفات، شاخص برداشت غده را به‌ترتیب ۱/۹۸ و ۵/۶۹ درصد نسبت به مصرف یک بار کود فسفات و شاهد افزایش داد. (جدول ۳). برهم‌کنش اندازه غده و سطوح مختلف کود تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر شاخص برداشت غده داشت (جدول ۲)، به‌طوری که ریزغده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متری و مصرف دو بار کود زیستی فسفات با میانگین ۸۹/۰۳ درصد بیشترین شاخص برداشت و ریزغده‌های ۲۰-۱۵ میلی‌متری و عدم مصرف کود زیستی فسفات با میانگین ۷۷/۹۵ درصد کمترین شاخص برداشت غده را داشت (جدول ۴). توسعه اولیه برگ در غده‌های بزرگ‌تر نسبت به غده‌های کوچک‌تر، سریع‌تر بوده و گیاهان رشد کرده از غده‌های بزرگ، ساقه‌های جانبی بیشتر و بزرگ‌تری نیز تولید می‌کنند (Kacheyo et al., 2021). بدیهی است گیاهان با ساقه‌های جانبی بیشتر و در معرض کود فسفر مناسب، توسعه تاج‌پوشش بیشتری داشته و این موضوع می‌تواند سبب افزایش شاخص برداشت شود.

همان‌طوری که در جدول ۳ دیده می‌شود، مصرف دو بار کود زیستی در طی رشد گیاه با میانگین ۲۷۶۳۴/۱۴ بیشترین زیست‌توده کل را نسبت به شاهد و مصرف یک بار کود نشان داد. مصرف دو بار کود زیستی فسفات، زیست‌توده کل را به‌ترتیب ۸/۹ و ۱۴/۷۷ درصد نسبت به مصرف یک بار کود زیستی فسفات و شاهد افزایش داد (جدول ۳). برهم‌کنش اندازه غده و سطوح مختلف کود زیستی فسفات تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر زیست‌توده کل داشت (جدول ۲)، به‌طوری که ریزغده‌های ۳۰-۲۵ میلی‌متری با مصرف دو بار کود زیستی فسفات با میانگین ۳۲۰۷۷/۵ بیشترین زیست‌توده کل و ریزغده‌های ۲۰-۱۵ میلی‌متری و مصرف یک بار کود زیستی فسفات با میانگین ۲۱۲۳۴/۱ کمترین زیست‌توده کل را دارا بودند (جدول ۴). در بررسی ریزجانداران حل‌کننده فسفات نشان داده شده است که این ریزجانداران می‌توانند باعث افزایش مصرف عناصر غذایی توسط گیاه و در نتیجه افزایش رشد و زیست‌توده گیاه شوند (Valadabadi, Lebaschi, & Aliabadi Farahani, 2010). مطالعات دیگر نیز تأکید کرده‌اند که علاوه بر اندازه غده‌ها، زیست‌توده کل در سیب‌زمینی تحت تأثیر شرایط محیطی (Muthoni & Shimelis, 2020)، مدیریت تغذیه (Atieno et al., 2020; Martins et al., 2018) و رقم (Ahmed et al., 2024) قرار می‌گیرد.

شاخص برداشت غده

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشخص شده است، اندازه غده و مصرف کود زیستی اثر معنی‌داری را در سطح یک درصد بر روی شاخص برداشت غده داشت (جدول ۲). بیشترین شاخص

جدول ۴- مقایسه میانگین برهم کنش اندازه ریزغده و کود زیستی فسفاته بر عملکرد و اجزای عملکرد سیبزمینی

Table 4- Mean comparison of the interaction of minituber size and phosphorus biofertilizer on yield and yield components of potato

اندازه غده Tuber size (mm)	کود زیستی Biological fertilizer	حداکثر شاخص سطح برگ LAI max	تعداد ساقه در بوته Number of stems per plant	تعداد غده در بوته Number of tubers per plant	ماده خشک غده (kg ha ⁻¹) Tuber dry matter	عملکرد غده (kg ha ⁻¹) Tuber yield	زیست توده کل (kg ha ⁻¹) Total biomass	شاخص برداشت غده Harvest index tuber
15-20	Non bio	0.86 ^{e*}	1.30 ^f	3.96 ^{bc}	2976.8 ^f	15673.0 ^h	20106.4 ^f	77.95 ^e
	Once bio	0.99 ^d	1.46 ^f	3.76 ^c	3543.3 ^e	17120.0 ^g	20947.0 ^e	81.73 ^d
	Twice bio	1.21 ^{cd}	2.03 ^{de}	4.33 ^{bc}	4275.5 ^d	19124.4 ^f	22547.0 ^{de}	84.82 ^c
20-25	Non bio	1.02 ^d	1.83 ^e	3.76 ^c	3241.2 ^{ef}	18157.2 ^f	22148.3 ^{de}	81.98 ^d
	Once bio	1.17 ^{cd}	2.23 ^d	3.86 ^{bc}	4678.9 ^c	20214.0 ^e	23371.4 ^{cd}	86.49 ^b
	Twice bio	1.34 ^{bc}	2.63 ^c	4.03 ^{bc}	4866.0 ^c	21658.0 ^d	24661.8 ^c	87.82 ^{ab}
25-30	Non bio	1.35 ^{bc}	2.83 ^{bc}	4.16 ^{bc}	5064.3 ^c	25774.9 ^c	29413.3 ^b	87.63 ^{ab}
	Once bio	1.54 ^b	3.03 ^b	4.53 ^b	5489.8 ^b	27712.7 ^b	31366.9 ^b	88.35 ^a
	Twice bio	1.73 ^a	3.60 ^a	5.70 ^a	5885.7 ^a	31524.0 ^a	35408.2 ^a	89.03 ^a

* در هر ستون، تفاوت بین حروف نشان دهنده اختلاف معنی دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

* Different letters within the same columns indicate significant differences between treatments at $p \leq 0.05$, according to the Duncan test.

نتیجه گیری

همراه با مصرف بهینه کود زیستی فسفات می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود رشد و عملکرد غده سیبزمینی در شرایط مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. تعامل بین غده‌های بذری بزرگ‌تر و کودهای زیستی فسفات می‌تواند سبب هم‌افزایی گردد و منجر به پاسخ عملکرد کلی بیشتر نسبت به هر یک از عوامل به تنهایی شود. در نهایت، این تحقیق تأکید می‌کند که انتخاب اندازه مناسب ریزغده‌ها و مدیریت صحیح مصرف کود زیستی فسفات می‌تواند به افزایش بهره‌وری و پایداری در تولید سیبزمینی کمک کند. این یافته‌ها می‌تواند به عنوان راهنمایی برای کشاورزان و محققان در جهت بهینه‌سازی شرایط کشت و افزایش عملکرد ارقام سیبزمینی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که بررسی اقتصادی این روش (هزینه-فایده) برای مقیاس‌های بزرگ کشت، مطالعه تأثیر این راهکار بر ارقام دیگر سیبزمینی و در شرایط آب‌وهوایی متفاوت، و آزمایش ترکیب کود زیستی فسفات با سایر کودهای آلی یا شیمیایی برای کاهش مصرف نهاده‌های خارجی مورد پژوهش قرار گیرد.

این مطالعه به بررسی اثر اندازه ریزغده‌های سیبزمینی و مصرف کود زیستی فسفات بر رشد و عملکرد رقم جدید سیبزمینی ساتنه پرداخته است. نتایج نشان داد که اندازه ریزغده‌ها و مصرف کود زیستی فسفات تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ و عملکرد این رقم سیبزمینی داشتند. ریزغده‌های بزرگ‌تر (۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر) به دلیل ذخیره بیشتر مواد مغذی، انرژی بیشتری برای جوانه‌زنی و رشد اولیه فراهم کردند که منجر به تشکیل سریع‌تر برگ‌ها و افزایش شاخص سطح برگ شد. همچنین مصرف دو بار کود زیستی فسفات در مقایسه با مصرف یک بار و عدم مصرف کود، تأثیر بیشتری بر افزایش سطح برگ، تعداد ساقه، تعداد غده، عملکرد غده، ماده خشک غده و زیست توده کل داشت. اگرچه در اندازه‌های مختلف ریزغده، مصرف کود زیستی فسفات بر صفات مورد اندازه‌گیری مؤثر بود، ولی بیشترین عملکرد و رشد گیاه در تیمار ترکیبی ریزغده‌های ۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر با دو بار مصرف کود زیستی فسفات حاصل شد. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ریزغده‌های با اندازه ۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر

References

1. Aarakit P., Josephine, P. O., & Joyce, J. L. (2021). Growth, yield and phosphorus use efficiency of potato varieties propagated from apical rooted cuttings under variable phosphorus rates. *African Journal of Plant Science*, 15(7), 173-184.
2. Ahmed, I., Biswas, J. C., Jahan, M. A. H. S, Ishtiaque, S., Zahan, T., Islam, M. A., Al-Shuraym, L. A., Sayed, S., Gaber, A., & Hossain, A. (2024). Yield stability among potato varieties suitable for different agroecological regions of Bangladesh. *Heliyon*, 10(11), e31633. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31633>
3. Aksenova, N., Konstantinova, T., Golyanovskaya, S., Sergeeva, L., & Romanov, G. (2012). Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59, 451-466.

- <https://doi.org/10.1134/S1021443712040024>
4. Araújo, F., Santos, M., Oliveira de Araújo, N., Silva, T., Cavalcante, L. & Finger, F. (2020). Growth and dry matter partitioning of potato influenced by paclobutrazol applied to seed tuber. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10357>
 5. Asnake, D., Alemayehu, M., & Asredie, S. (2023). Growth and tuber yield responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties to seed tuber size in northwest highlands of Ethiopia, *Heliyon*, 9(3), e14586. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14586>
 6. Atieno, M., Herrmann, L., Nguyen, H. T., Phan, H. T., Nguyen, N. K., Srean, P., Than, M. M., Zhiyong, R., Tittabutr, P., Shutsrirung, A., Bräu, L., & Lesueur, D. (2020). Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong region, *Journal of Environmental Management*, 275, 111300. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111300>
 7. Bist, L., Sharma, R., & Thakurathi, B. (2023). Effect of seed tuber size on growth and yield of potato (*Solanum Tuberosum* L.) variety Desiree in Dadeldhura. *Contemporary Research: An Interdisciplinary Academic Journal*, 6, 110-123. <https://doi.org/10.3126/craiaj.v6i2.60251>
 8. Biswas, S., & Dutta, D. (2020). Effect of integrated nutrient management (INM) on nutrient uptake, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 436-442, <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1f.8292>
 9. Catuna Petrar, T. M., Braşovean, I., Racz, C. P., Mîrza, C. M., Burduhos, P. D., Mălinaş, C., Moldovan, B. M., & Odagiu, A. C. M. (2024). The impact of agricultural inputs and environmental factors on potato yields and traits. *Sustainability*, 16(20), 8759. <https://doi.org/10.3390/su16208759>
 10. Cassio, A., Cavalcante, A. C. P., Soares, M. E. P., Andrade, G. A. V., Silva, C. D., Santos, C. E. M., & Aquino, L. A. (2019). Influence of seed tuber size and sprouting stage on the phytotechnical characteristics of the potato var Agata. *Australian Journal of Crop Science*, 13(2), 282-286. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.02.p1416>
 11. Ebrahim, S., Mohammed, H., & Ayalew, T. (2018). Effects of seed tuber size on growth and yield performance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties under field conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 13(39), 2077-2086. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13405>
 12. Getahun, B. B., Tiruneh, M. A., Aliche, E., Malossetti, M., Visser, R. G. F., & van der Linden, C. G. (2022). Genotype-by-environment interaction for quantitative trait loci affecting nitrogen use efficiency and associated traits in potato. *Potato Research*, 65(4), 777-807. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09548-x>
 13. Ghobady, M., Jahanbin, S., Motalebifard, R., & Parvizi, K. (2011). Effect of phosphorus biofertilizers on yield and yield components of potato. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 21(2), 117-130. (in Persian with English abstract)
 14. Hemayati, S., Taleghani, F., Saednia, D., & Dehghanshear, M. (2007). The effects of nitrogen and phosphorus application on physiological parameters of sugar beet seed bearing plants in Ardabil. *Sugar Beet*, 22(1), 75-90. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/JSB.2006.1666>
 15. Iftikhar, A., Aijaz, N., Farooq, R., Aslam, S., Zeeshan, A., Munir, M., Irfan, M., Mehmood, T., Atif, M., Ali, M., & Shiraz, A. (2023). Beneficial role of Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) in enhancing soil fertility through a variety of actions on plant growth and ecological perspective: An updated review. *Xi'an Shiyong Xueyuan Xuebao/Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 19, 520-547.
 16. Igiehon, B. C., Babalola, O. O., & Hassen, H. I. (2024). Rhizosphere competence and applications of plant growth-promoting rhizobacteria in food production – A review. *Scientific African*, 23, e02081. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02081>
 17. Jam, E., Ebadi, A., Amini, E., & Dehdar, B. (2009). Effect of planting density and seed-minituber size on some quantitative and qualitative traits of potato. *Pajouhesh & Sazandegi*, 81, 20-29. (in Persian with English abstract).
 18. Jenkins, P., & Ali, H. (2005). Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. *Annals of Applied Biology*, 136, 41-46. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2000.tb00007.x>
 19. Kacheyo, O. C., van Dijk, L. C. M., de Vries, M. E., & Struik, P. C. (2021). Augmented descriptions of growth and development stages of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown from different types of planting material. *Annals of Applied Biology*, 178(3), 549-566. <https://doi.org/10.1111/aab.12661>
 20. Kafi, M., Nabati, J., Oskoueian, A., Oskoueian, E., & Shabahang, J. (2019). Evaluation of biofertilizers on quality, yield and yield components of two potatoes (*Solanum tuberosum*) cultivars. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(2), 65-84. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejsms.2019.15359.1827>
 21. Kilonzi, J. M., Githui, D., Pwipwai, P., Kawira, C., oTieno, S., Kelele, J., Nganga, N., Nyongesa, M., Mafurah, J., & Kibe, A. (2024). Effects of seed tuber size of potato varieties on fungicide spray regime, weed infestation and net farm income in potato production. *Potato Research*, 68, 23-47. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09708-1>
 22. Martins, J. D. L., Soratto, R. P., Fernandes, A. M., & Dias, P. H. M. (2018). Phosphorus fertilization and soil texture affect potato yield. *Revista Caatinga*, 31(3), 541-550. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n302rc>

23. Muthoni, J., & Shimelis, H. (2020). Heat and drought stress and their implications on potato production under dry African tropics. *Australian Journal of Crop Science*, 14(9), 1405-1414. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.09.p2402>
24. Otazu, V., & Borus, D. (2023). *Protocols for management of aeroponics greenhouse used for seed potato production in Rwanda*. International Potato Center 2023. <https://doi.org/10.4160/cip.2023.09.001>
25. Pantigoso, H., He, Y., Manter, D., Fonte, S., & Vivanco, J. (2022). Phosphorus-solubilizing bacteria isolated from the rhizosphere of wild potato *Solanum bulbocastanum* enhance growth of modern potato varieties. *Bulletin of the National Research Centre*, 46, 224. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00913-x>
26. Pandit, A., Dwivedi, D. K., Choubey, A. K., Bhargaw, P. K., & Raj, R. K. (2018). Effect of integrated nutrient management on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 797-800.
27. Rosen, C., & Bierman, P. (2008). Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. *American Journal of Potato Research*, 85, 110-120. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9001-y>
28. Sonawane, P. D., & Dhoble, M. V. (2004). Effect of spacing and seedling tuber size on potato (*Solanum tuberosum*) grown through true potato seed. *Indian Journal of Agronomy*, 49, 194-197. <https://doi.org/10.59797/ija.v49i3.5195>
29. Sharma, A. K. (2002). *Biofertilizers for Sustainable Agriculture*. 1nd edition. Jodhpur: Agrobios, India. pp. 456.
30. Sundara, B., Natarajan, V., & Hari, K. (2002). Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugar cane and sugar yields. *Field Crop Research*, 77, 43-49. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00048-5)
31. Valadabadi, S. A. R., Lebaschi, M. H., & Aliabadi Farahani, H. (2010). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), P₂O₅ fertilizer and irrigation according to physiological growth indices of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 414-428. (in Persian with English abstract)
32. Westermann, D. T. (2005). Nutritional requirements of potatoes. *American Journal of Potato Research*, 82(4), 301-307. <https://doi.org/10.1007/BF02871960>
33. L. Zambrano-Mendoza, J., A. Sangoquiza-Caiza, C., F. Campaña-Cruz, D., & F. Yáñez-Guzmán, C. (2021). Use of Biofertilizers in Agricultural Production. *IntechOpen*. pp: 536. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98264>