



Interaction of Sodium Silicate, Silicate-Solubilizing Bacteria, and Dodder Parasite on the Physiological and Growth Characteristics of Eggplant

Akbar Aliverdi ¹✉ , Ali Asghar Chitband ² 

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: a.aliverdi@basu.ac.ir
2. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: chitband.a.a@lu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	<p>Silicon is an essential element in plant nutrition, significantly enhancing tolerance to both biotic and abiotic stresses. This study investigated the effects of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria on the interaction between eggplant and dodder (<i>Cuscuta</i> spp.) infestation. The pot experiment was conducted in 2022 at Bu-Ali Sina University using a three-factor factorial design in a completely randomized layout with six replications. The factors were: 1) dodder infestation of eggplant (infested vs. non-infested), 2) sodium silicate application (0 vs. 100 mg/kg soil), and 3) soil inoculation with silicate-solubilizing bacteria (0 vs. 10 ml/kg soil). Results indicated a synergistic effect when sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria were applied together. When the soil was treated with both amendments, dodder infestation led to a substantial decrease in shoot dry weight (32%) and root dry weight (41%), a reduction in silicon content (28%), and an increase in lignin content (53%). Furthermore, defense-related enzyme activities, including phenylalanine ammonia-lyase (27%), catalase (214%), peroxidase (202%), and superoxide dismutase (194%), were significantly elevated. Activities of lipoyxygenase (156%) and levels of H₂O₂ (58%) and malondialdehyde (94%) also increased, indicative of oxidative stress. The co-application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria synergistically reduced dodder biomass. Therefore, the combined use of these amendments could effectively mitigate the damage inflicted by this parasitic weed on eggplant biomass.</p>
Article history: Received: 29 August 2024 Received in revised form: 18 January 2025 Accepted: 26 January 2025 Published online: Summer 2025	
Keywords: <i>Bacterial inoculation,</i> <i>Enzyme activity,</i> <i>Parasitic weed,</i> <i>Silicon.</i>	

Cite this article: Aliverdi, A. & Chitband, A. A. (2025). Interaction of Sodium Silicate, Silicate-Solubilizing Bacteria, and Dodder Parasite on the Physiological and Growth Characteristics of Eggplant. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (2), 265-281. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.381404.2203>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.381404.2203>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Worldwide, approximately 4200 species of flowering plant parasites have been identified, belonging to 274 genera. Of these, only about 30 genera are recognized as problematic agricultural weeds. The most damaging among these include genera such as *Cuscuta*, *Arceuthobium*, *Orobanche*, and *Striga*. Within the *Cuscuta* genus, *Cuscuta campestris* Yunck. (commonly known as dodder) stands out as a particularly troublesome parasitic weed due to its extensive global distribution, broad host range, and the limitations of current control methods.

Dodder species parasitize a wide array of agricultural crops, garden plants, and even other weeds. Lacking true roots and leaves, dodder cannot photosynthesize. Instead, it develops specialized structures called haustoria, which penetrate the host plant's vascular tissues to extract water, nutrients, and vital organic molecules. This parasitic action severely impedes the host plant's growth and productivity. Field infestations by *Cuscuta* have been shown to significantly reduce crop yields; for instance, studies report decreases in root sugar content by 2.6% in sugar beet and a substantial 40% decline in fruit yield for eggplant.

Eggplant (*Solanum melongena* L.), an annual plant originating from India, is globally cultivated in tropical and subtropical regions for its versatile fruit. Nutritionally, it is comparable to tomatoes. In 2022, global eggplant production reached 59.3 million tons from 1.9 million hectares, with Iran contributing 596 thousand tons from 20 thousand hectares.

Silicon is recognized as an essential element in plant nutrition, playing a vital role in enhancing tolerance to both biotic and abiotic stresses. Primarily present as silicates in the soil, silicon becomes available for plant uptake in the form of silicic acid. Recent research has highlighted the capacity of silicate-solubilizing bacteria to convert soil silicates into plant-available silicic acid. This microbial action not only reduces the reliance on synthetic silicate fertilizers but also improves the uptake of silicon and other essential nutrients by crops. Given this context, the present study was designed to investigate the interactions between eggplant and dodder (representing a significant biotic stress) and to explore the potential of using sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria as mitigating agents.

Key changes and why:

- **Flow and Transitions:** Smoothed transitions between paragraphs, for example, moving from the general impact of *Cuscuta* to specific examples like sugar beet and eggplant.
- **Scientific Terminology:** Ensured consistent use of scientific names (*Cuscuta* spp., *Cuscuta campestris* Yunck., *Solanum melongena* L.) and clarified terms like "haustoria."
- **Conciseness:** Removed minor redundancies while retaining all critical information.
- **Impact:** Slightly rephrased sentences to emphasize the significance of findings (e.g., "stands out as a particularly troublesome parasitic weed," "severely impedes the host plant's growth").
- **Study Aim Clarity:** The final sentence is a more direct statement of the study's objective, clearly linking the biotic stress (eggplant-dodder) with the proposed solutions (sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria).

Materials and Methods

A three-factor factorial pot experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) with six replications at the Bu-Ali Sina University research greenhouse in 2022. The factors investigated were: dodder infestation (infested vs. uninfested eggplant), sodium silicate application (0 vs. 100 mg/kg soil), and inoculation with a commercial silicate-solubilizing bacterial product (0 vs. 10 mL/kg soil). Measurements of eggplant and dodder growth and physiological traits were taken two months after eggplant emergence.

Results and Discussion

The results revealed a significant synergistic effect when sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria (SSB) were co-applied. In non-infected eggplant, the combined application of sodium silicate and SSB led to substantial increases in key growth parameters, including shoot dry weight (+73%) and root dry weight (+74%). Furthermore, this treatment significantly enhanced plant defense mechanisms, evidenced by a dramatic increase in silicon content (+229%) and lignin content (+108%). Physiological indicators of defense activation were also notable, with rises in phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity (+85%), catalase (CAT) activity (+83%), peroxidase (POD) activity (+11%), superoxide dismutase (SOD) activity (+84%), and lipoxigenase (LOX) activity (+218%). Conversely, this synergistic treatment effectively reduced oxidative stress markers, as indicated by a decrease in H₂O₂ content (-28%) and malondialdehyde (MDA) content (-39%). However,

when eggplant was co-infected with dodder and treated with both sodium silicate and SSB, the parasitic interaction caused detrimental effects on growth and silicon accumulation. Shoot dry weight decreased by 32%, root dry weight by 41%, and silicon content by 28%. Despite these growth reductions, the plant's defense responses were strongly activated. Lignin content increased by 53%, and the activities of defense enzymes such as PAL (+27%), CAT (+214%), POD (+202%), SOD (+194%), and LOX (+156%) were significantly elevated. Oxidative stress markers also increased under dodder infection, with H₂O₂ content rising by 58% and MDA content by 94%. The concurrent production of lignin, coupled with elevated PAL and POD activities during the dodder-eggplant interaction, suggests a fortified cell wall structure. These biochemical modifications, alongside physical alterations in the host plant's cuticle, collectively contribute to a modified cell wall that confers resistance against parasite penetration.

Conclusion

The synergistic co-application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria (SSB) significantly reduced dodder biomass. Crucially, this combined treatment effectively compensated for the biomass losses typically inflicted by dodder infestation on eggplant. This indicates that the synergistic application of sodium silicate and SSB can serve as a protective strategy against the detrimental effects of this parasitic weed on eggplant growth.

Author Contributions

A Aliverdi conceived, planned, and carried out the experiments. He analyzed data. AA Chitband wrote the first manuscript and contributed to the interpretation of the results. All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis and manuscript.

Data Availability Statement

Data sharing is not applicable to this article as no new data were created or analyzed in this study.

Acknowledgements

The study was supported in part by the Bu-Ali Sina University.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



برهم کنش سیلیکات سدیم، باکتری حل کننده سیلیکات و انگل سس بر ویژگی های فیزیولوژیک و رشدی بادمجان

اکبر علی وردی^۱ | علی اصغر چیت بند^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: a.aliverdi@basu.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. رایانامه: chitband.a.a@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	سیلیس عنصری غیرضروری در تغذیه گیاهان محسوب می شود اما نقش مؤثری در تحمل انواع تنش های زیستی و غیرزیستی دارد. پژوهش حاضر اثرپذیری رابطه بادمجان-سس را از کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن طی آزمایشی گل خانه ای در دانشگاه بوعلی سینا در ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار مورد بررسی قرار داد. عامل اول آلودگی بادمجان به سس (با و بدون آلودگی)، عامل دوم کاربرد سیلیکات سدیم (صفر و ۱۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم خاک) و عامل سوم تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات (صفر و ۱۰ میلی لیتر در هر کیلوگرم خاک) بود. نتایج حاکی از وجود اثر هم افزایی در کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن بود. تحت شرایط بدون تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و بدون کاربرد سیلیکات سدیم، آلودگی بادمجان به سس زراعی موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی (۳۲ درصد)، وزن خشک ریشه (۴۱ درصد)، محتوی سیلیس (۲۸ درصد) و افزایش محتوی لیگنین (۵۳ درصد)، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (۲۷ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۲۱۴ درصد)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (۲۰۲ درصد)، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱۹۴ درصد)، فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز (۱۵۶ درصد)، محتوی پراکسید هیدروژن (۵۸ درصد) و محتوی مالون دی آلدئید (۹۴ درصد) شد. کاربرد سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن به تنهایی و توأم، اثر معنی داری بر تمامی صفات بررسی شده داشت و منجر به کاهش زیست توده سس شد. کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن توانست جبران کننده خسارت وارده از سوی این علف هرز انگلی به زیست توده بادمجان باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴	
کلیدواژه ها: تلقیح باکتری، سیلیس، علف هرز انگلی، فعالیت آنزیمی.	

استناد: علی وردی، اکبر و چیت بند، علی اصغر (۱۴۰۴). برهم کنش سیلیکات سدیم، باکتری حل کننده سیلیکات و انگل سس بر ویژگی های فیزیولوژیک و رشدی بادمجان.

نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۲)، ۲۶۵-۲۸۱. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.381404.2203>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.381404.2203>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

تقریباً ۴۲۰۰ گونه گیاهی انگل گل دار در سراسر جهان شناسایی شده که در ۲۷۴ جنس مختلف طبقه بندی می شوند. در این بین، تنها ۳۰ جنس به عنوان علف هرز انگل در بخش کشاورزی مورد توجه هستند. مضرترین علف های هرز انگلی در جنس های *Orobanchaceae*، *Striga* و *Arceuthobium* قرار دارند (Saric-Krsmanovic et al., 2019). در جنس سس *Cuscuta*، گونه سس زراعی (*Cuscuta campestris* Yunck.) به دلیل پراکندگی جغرافیایی گسترده در سراسر جهان، گستره میزبانی وسیع و گزینه های کنترلی ناکارآمد، به عنوان دردسرسازترین علف هرز انگلی مطرح است (Lukacova et al., 2019). گونه سس زراعی می تواند به بسیاری از گیاهان زراعی و باغی و حتی به برخی از علف های هرز متعلق به جنس های مختلف حمله کند (García et al., 2014). تمامی گونه های سس فاقد ریشه و برگ هستند و توانایی فتوسنتزی ندارند؛ در عوض، ساختارهای ریشه ماندی به نام مکینه را تشکیل می دهند که به عنوان اندام جذب آب، مواد معدنی و سایر مولکول ها از بافت های هادی گیاه میزبان عمل می کند. از این رو، رشد و عملکرد گیاه میزبان به طور قابل توجهی کاهش می یابد (Yoshida et al., 2016). محققان قبلی گزارش کردند که آلودگی مزرعه به سس زراعی می تواند باعث کاهش ۲/۶ درصدی در محتوی قند ریشه چغندر قند (Üstüner, 2018) و کاهش ۴۰ درصدی در عملکرد میوه بادمجان (Al-Gburi et al., 2019) شود. بادمجان (*Solanum melongena* L.) گیاهی یک ساله از خانواده Solanaceae است که به نظر می رسد بومی هندوستان باشد و در اغلب مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری برای مصرف تازه خوری کشت و کار می شود. بادمجان از لحاظ ارزش غذایی با گوجه فرنگی قابل مقایسه می باشد (Bagheri, 2015). در سال ۲۰۲۲، تقریباً ۱/۹ میلیون هکتار از اراضی جهان زیر کشت بادمجان رفته که نتیجه آن تولید حدوداً ۵۹/۳ میلیون تن میوه بادمجان بوده است. سهم ایران در همین سال، کشت تقریباً ۲۰ هزار هکتار با برداشت بیش از ۵۹۶ هزار تن میوه بادمجان بوده است (FAO, 2022). اگرچه سیلیس (Si) دومین عنصر فراوان پس از اکسیژن در زمین است اما به عنوان عنصری غیر ضروری برای تغذیه گیاهان تشخیص داده شده است (Ghasemi et al., 2020)؛ با این حال، گیاهان آن را جذب و در بافت های خود نگهداری می کنند. سیلیس عمدتاً به شکل سیلیکات های منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آلومینیوم و آهن در فاز جامد خاک یافت می شود. سیلیکات ها ماهیت نسبتاً نامحلولی در آب دارند بنابراین، سیلیس موجود در آنها برای جذب گیاهان در دسترس نیست. با این حال، سیلیس در فاز مایع خاک به شکل اسید سیلیسیک نیز موجود است که طی فرآیند هوازدگی سیلیکات ها به وجود می آید و تنها شکلی از سیلیس است که گیاهان می توانند آن را جذب کنند؛ اما مقدار آن در خاک بسیار کم است (Joshi et al., 2023). از این رو، حداکثر مزایای تغذیه از سیلیس تنها زمانی قابل تحقق است که سیلیکات ها از طریق هوازدگی که فرآیندی طولانی مدت است یا توسط باکتری های حل کننده سیلیکات ها که فرآیندی کوتاه مدت است حل، و به سیلیس قابل جذب برای گیاهان تبدیل شوند. محققان سویه های مختلفی از باکتری های حل کننده سیلیکات ها را جداسازی کرده اند که بارزترین آن متعلق به باسیلوس، سودوموناس، پروتئوس، ریزوبیا، بورکولدریا و انتروباکتر هستند. با این حال، تجزیه و تحلیل سیستماتیک سویه های باکتریایی حل کننده سیلیکات ها، سودوموناس و باسیلوس را به عنوان جنس های میکروبی حل کننده سیلیکات ها مشخص کرد (Raza et al., 2023).

پیشینه پژوهش

مطالعات پیشین در خصوص بادمجان نشان داده که کاربرد سیلیس می تواند تنش های زیستی و غیر زیستی از جمله تنش ناشی از حشرات (Bakhat et al., 2023)، خشکی (Hasanuzzaman et al., 2018)، علف کش (Al-Gburi et al., 2021)، نماد کش (El-Ashry et al., 2022) و سمیت عناصر غذایی ضروری (Alves et al., 2023) را کاهش دهد. پژوهش های انجام شده روی سایر گیاهان حاکی از بهبود مقاومت به شوری (Salman et al., 2023)، عوامل بیماری زای گیاهی (Shabrawy and Rabboh, 2020)، فلزات سنگین (Kabir et al., 2021)، تشعشع ماوای بنفش (Mavrič Čermelj et al., 2022) و انگل های گل دار (Madany et al., 2020) به واسطه کاربرد سیلیس است. با این حال، کاربرد سیلیس تحت شرایط بدون تنش نیز می تواند

موجب بهبود عملکرد توت فرنگی (Ghasemi *et al.*, 2020) و گوار (علی‌وردی و کرمی، ۱۴۰۳)، کلزا (Hasanuzzaman *et al.*, 2018)، گندم (Jiang *et al.*, 2023) و چمن شبدری (نیازبال و همکاران، ۱۴۰۱) شود. در ابتدا، محققان سازوکار سیلیس را در محافظت گیاهان در برابر انواع تنش‌ها به تشکیل یک لایه سیلیسی در دیواره‌های سلولی و کوتیکول برگ نسبت دادند که موجب استحکام بیشتر آنها می‌شود اما مطالعه‌های بعدی نشان داد که کاربرد سیلیس می‌تواند گیاهان را از نظر بیوشیمیایی نیز در برابر تنش‌ها محافظت کند (Wang *et al.*, 2017). افزایش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیا لایز، لیپوکسیژناز، پروکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در ریحان (Ahmadi Mousavi *et al.*, 2017)، بادمجان (Al-Gburi *et al.*, 2019) و تنباکو (Lukacova *et al.*, 2019) به واسطه آلودگی به سس گزارش شده که منجر به کاهش محتوی پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید می‌شود. سیلیس عمدتاً به شکل سیلیکات‌های منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آلومنیوم و آهن در فاز جامد خاک یافت می‌شود که معمولاً به دلیل ماهیت نامحلول و غیرمتحرک آنها برای جذب گیاه زراعی در دسترس نیستند (Joshi *et al.*, 2023). اخیراً، مطالعات متعددی به توانایی باکتری‌های حل‌کننده سیلیس برای حل کردن کانی‌های سیلیکاتی و افزایش محتوی سیلیس در اندام‌های ذرت (Sari *et al.*, 2022)، برنج (Chaganti *et al.*, 2023)، نیشکر (Anitha *et al.*, 2023)، بادام زمینی (Ruban and Jeyaramraja, 2023) و گشنیز (Nath *et al.*, 2022) اشاره کرده‌اند. باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات ترکیبات اسیدی متعددی به محیط خاک رها می‌کنند که موجب هوازگی سریع‌تر انواع کانی‌های سیلیکاتی و جذب بهتر سیلیس (Joshi *et al.*, 2023) و برخی دیگر از عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم (Maleva *et al.*, 2017) در گیاهان زراعی می‌شوند. افزایش فعالیت اغلب آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به واسطه کاربرد سیلیس در گیاهان مختلف تحت شرایط انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی به اثبات رسیده که خلاصه نتایج آنها تجمیع و مرور شده است (Wang *et al.*, 2017). تاکنون، در دو مطالعه قبلی روی بادمجان (Al-Gburi *et al.*, 2019) و تنباکو (Lukacova *et al.*, 2019) گزارش شده که کاربرد سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) باعث کاهش آلودگی آنها به سس زراعی می‌شوند. در راستای کاهش خسارت سس به بادمجان، هدف اصلی از این پژوهش بررسی اثرات متقابل سیلیکات سدیم، باکتری حل‌کننده سیلیکات و انگل سس بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشدی گیاه بادمجان است.

روش‌شناسی پژوهش

مشخصات محل اجرای پژوهش

به منظور بررسی برهم‌کنش سیلیکات سدیم، باکتری حل‌کننده سیلیکات و انگل سس بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشدی بادمجان، تحقیقی در بهار ۱۴۰۱ در گل‌خانه پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا به اجرا درآمد.

نوع طرح و تیمارهای پژوهش

آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی ($2 \times 2 \times 2$) بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار در بهار ۱۴۰۱ انجام گرفت. عامل اول شامل آلودگی بادمجان به سس زراعی در دو سطح با و بدون آلودگی بود. عامل دوم شامل کاربرد سیلیکات سدیم در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بود (Al-Gburi, 2021). عامل سوم شامل تلقیح خاک با مایه تجاری باکتری حل‌کننده سیلیکات (Sun Bio SS-BAC، هند) در دو سطح صفر و ۱۰ میلی‌لیتر در هر کیلوگرم خاک برحسب مقدار توصیه روی برچسب بود.

عملیات آماده‌سازی تیمارها و کاشت

خاک مورد استفاده جهت کاشت بذور از مزرعه دانشکده کشاورزی مجاور جمع‌آوری شده بود و از نظر طبقه‌بندی، لوم شنی با ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی ذکر شده در جدول ۱ بود.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک استفاده‌شده در گلدان‌ها پرورش گیاهان

رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی- زمینس بر متر)	بی‌اچ	ماده آلی (درصد)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)	نیتروژن کل (درصد)
۱۲/۲	۲۷/۲	۶۰/۵	۲/۱	۷/۶	۱	۴۷/۲	۳۶۸/۲	۰/۱

جهت عملیات کاشت، در هر گلدان حاوی ۵ کیلوگرم خاک، چهار بذر بادمجان (رقم آرشام) در عمق یک سانتی‌متری کاشته شد. گلدان‌ها در گل‌خانه در معرض نور طبیعی (آفتاب) قرار گرفتند. گیاهان هر سه روز یک بار و هر بار به میزان یکسان آبیاری شدند. بلافاصله پس از سبز شدن، گیاهان به دو بوته در هر گلدان تنک شدند و به هر گلدان مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول ۵ گرم در لیتر کود NPK (۱۰:۵۲:۱۰) اضافه گردید. در طول آزمایش، دما و رطوبت نسبی هوای درون گل‌خانه به ترتیب بین ۱۹ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد و ۴۱ تا ۶۵ درصد اندازه‌گیری شد.

دو هفته پس از رویش گیاهچه بادمجان، بذره‌های سس زراعی (*Cuscuta campestris* Yunck.) با تراکم ۱۰ بذر در هر گلدان مربوط به تیمارهای آلودگی به سس زراعی در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کاشته شدند. بلافاصله پس از رویش گیاهچه‌های سس زراعی، آن‌ها به ۲ بوته در هر گلدان تنک شدند. بذره‌های سس زراعی از مزارع چغندر قند آلوده در منطقه جمع‌آوری شده بودند. قبل از کشت بذره‌های سس زراعی، با اجرای دستورالعمل زیر (Mishra, 2007) از رفع خواب بذر اطمینان حاصل شد: خیساندن بذرها در اسید سولفوریک (۹۸٪) به مدت ۱۰ دقیقه، شستشوی آن‌ها با آب مقطر و قرار دادن آن‌ها روی کاغذ صافی برای خشک شدن سطح بذر.

اندازه‌گیری وزن خشک و فعالیت آنزیم‌ها

دو ماه پس از سبز شدن بادمجان، ساقه‌های سس از اندام‌های هوایی بادمجان برداشت شد. سپس اندام هوایی و ریشه بادمجان برداشت شد. مواد گیاهی در آن (۶۵ درجه سانتی‌گراد، ۴۸ ساعت) خشک و توزین شدند. روش Madany و همکاران (2020) برای اندازه‌گیری محتوی سیلیس و لیگنین و فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیا لیاز و پراکسیداز و روش Hasanuzzaman و همکاران (2018) برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و لیپوکسیژناز و محتوی پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید دنبال شد.

برای اندازه‌گیری محتوی سیلیس برگ بادمجان، ۰/۵ گرم برگ خشک شده به ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۱/۵ مولار اسید هیدروفلوریک + ۰/۶ مولار اسید هیدروکلریک اضافه شد. پس از ۱ ساعت، ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه هم زده شد. صد میلی‌گرم از مایع رویی برداشت و به ۲ میلی‌لیتر هپتامولیدات آمونیوم اضافه شد. پس از ۵ دقیقه، ۴ میلی‌لیتر اسید سیتریک ۰/۱ مولار اضافه و با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس، با استفاده از طیف‌سنج فرابنفش-مرئی (مدل پرتو دوگانه DS5) جذب نمونه در طیف ۴۰۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری محتوی لیگنین برگ بادمجان، ۱۰۰ میلی‌گرم برگ خشک آسیاب و الک‌شده با مش ۲۵ به ۲ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه شد. پس از سانتریفیوژ کردن (۱۶۰۰۰ گرانش زمین، ۳ دقیقه)، رسوبات آن خارج و با استفاده از ۲ میلی‌لیتر استیل بروماید: اسید استیک با نسبت ۳:۱ شسته و در شرایط اتاق خشک شد. شستشو مجدداً تکرار گردید. نمونه در حمام بن‌ماری (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ دقیقه) گرم و سپس در دمای اتاق سرد شد. سپس، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید هیدروکسی آمونیوم ۷/۵ مولار و ۰/۹ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۲ مولار به نمونه اضافه شد و با اسید استیک به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از سانتریفیوژ کردن (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۵ دقیقه)، جذب محلول رویی در طیف ۲۸۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز در مسیر تولید لیگنین، ۳۰۰ میلی‌گرم از برگ‌های تازه بادمجان، پس از انجماد با نیتروژن مایع، با ۶/۵ میلی‌لیتر بافر تریس هیدروکسی متیل آمینو متان ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۸/۸) + بتا-مرکاپتواتانول

۱۵ میلی مولار + اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۱ میلی مولار هموزنیزه و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۲۰ دقیقه). مایع رویی از غشای اولتراسل -۵۰ عبور داده شد. جذب محلول به دست آمده در طیف ۲۹۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، مهارکننده گونه های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار (پی اچ ۶/۸) + اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۱ میلی مولار اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه به دست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گرانش زمین، ۱۵ دقیقه) و ۲۵ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۲ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (پی اچ ۶/۸) + گایاکول ۲۰ میلی مولار + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی مولار، در حمام بن ماری (۷۰ درجه سانتی گراد، ۳۰ دقیقه) قرار داده شود. سپس، ۰/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۵ درصد به نمونه اضافه و جذب آن در طیف ۴۸۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، مهارکننده گونه های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار (پی اچ ۶/۸) + اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۱ میلی مولار اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه به دست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گرانش زمین، ۱۵ دقیقه) و ۲۵ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۲ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (پی اچ ۶/۸) + گایاکول ۲۰ میلی مولار + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی مولار، در حمام بن ماری (۷۰ درجه سانتی گراد، ۳۰ دقیقه) قرار داده شود. سپس، ۵۰ میکرولیتر از نمونه به ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (پی اچ ۷) + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی مولار اضافه شد. جذب محلول به دست آمده در طیف ۲۴۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، مهارکننده گونه های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار (پی اچ ۶/۸) + اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۱ میلی مولار اضافه گردید. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه به دست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گرانش زمین، ۱۵ دقیقه) و ۵۰ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (پی اچ ۷/۸) + ال-متیونین ۱۳ میلی مولار + اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۱۰۰ میکرومولار + کلرید تترازولیوم پی- نیتروبلو ۷۵ میکرومولار + ریوفلاوین ۲ میکرومولار، به مدت ۵ دقیقه در معرض لامپ فلورسنت ۳۰ واتی قرار داده شود. جذب نمونه در طیف ۵۶۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه گیری فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز، مهارکننده گونه های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان با ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (پی اچ ۷) مخلوط شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه کاغذ واتمن شماره ۱ عبور داده شد. سپس، ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه تصفیه شده به ۳ میلی لیتر لینولئیک اسید ۱۰۰ میلی مولار + ۰/۱ درصد حجمی از ترکیب میوان توین-۲۰ و بافر مونوپتاسیم فسفات ۲۰۰ میلی مولار (پی اچ ۶/۵) اضافه شد. جذب نمونه در طیف ۲۳۴ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه گیری محتوی پراکسید هیدروژن که شاخصی از میزان پرواکسیدانسیون لیپیدهای غشاهای سلولی در برگ بادمجان است، ۰/۵ گرم برگ تازه به ۵ میلی لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱ درصد اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۱۵ دقیقه). سپس، ۵۰۰ میکرولیتر از مایع رویی با ۰/۶ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار + یدید پتاسیم ۱ مولار مخلوط شد. جذب نمونه در طیف ۳۹۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه گیری محتوی مالون دی آلدئید که شاخصی از میزان پرواکسیدانسیون لیپیدهای غشاهای سلولی در برگ بادمجان است، ۰/۵ گرم برگ تازه به ۵ میلی لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱ درصد اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۱۰ دقیقه). سپس، ۱ میلی لیتر از مایع رویی با ۴ میلی لیتر اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد + اسید تیوباربتوریک ۰/۵ درصد مخلوط و درون حمام بن ماری (۹۵ درجه سانتی گراد، ۵۰ دقیقه) نگهداری شد. نمونه

در دمای اتاق سرد و سپس سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانس زمین، ۱۰ دقیقه). نهایتاً، جذب نمونه در طیف ۵۳۲ نانومتر ثبت گردید.

هر واحد از فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیا ز برابر با تولید ۱ میکرومولار سینامیک اسید در دقیقه، هر واحد از فعالیت پراکسیداز برابر با تغییر یک واحد جذب میلی لیتر عصاره آنزیمی است، هر واحد از فعالیت سوپراکسید دیسموتاز برابر با ۵۰ درصد مهار آنزیمی کاهش نور تترازولیم نیترولو است. هر واحد از فعالیت لیپوکسیژنا ز برابر با ۱ میکرومولار هیدروپراکسید تشکیل شده در دقیقه است، هر واحد از فعالیت کاتالاز برابر است با تجزیه ۱ میکرومولار پراکسید هیدروژن در دقیقه می باشد.

داده ها با استفاده از دستور PROC GLM در محیط نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل شدند. نتایج آزمون Shapiro-Wilk نرمال بودن باقیمانده ها را تأیید کرد. هر جایی که اثر اصلی یک عامل یا برهم کنش دوگانه بین عوامل محرز گردید، میانگین های مربوطه با استفاده از آزمون LSD میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

یافته های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ساده هر سه عامل (آلودگی به سس، تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و کاربرد سیلیکات سدیم) و برهم کنش بین آن ها بر صفات اندازه گیری شده در بادمجان و سس زراعی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول های ۲ و ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده سیلیکات و سس بر ویژگی های فیزیولوژیکی و رشدی بادمجان

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	محتوی سیلیس	محتوی لیگنین	فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیا ز	فعالیت کاتالاز
سس (D)	۱	۲۹/۸۶**	۱/۵۳**	۲۲۱۷/۰۷**	۳۴۷/۹۷**	۲۳۸/۴۳**	۶۵۰۱۹۶/۴۴**
باکتری حل کننده سیلیکات (S)	۱	۱۲/۴۲**	۱/۸۴**	۱۲۱۰۳۰۳/۷۳**	۳۲۶/۹۸**	۱۲۴۵/۴۲**	۱۵۱۵۹۸/۳۷**
سیلیکات سدیم (N)	۱	۱۱/۸۲**	-/۳۵**	۱۰۲۰۶۲۹/۱۷**	۷۲/۶۱**	۱۱۵/۸۷**	۱۰۸۵۲/۲۶**
D × S	۱	۲/۱۴**	-/۰۱**	۲۰۲۴/۱۰**	۷/۵۸**	۱۱/۱۰**	۳۲۸۵۸/۰۰**
D × N	۱	۰/۱۹*	-/۰۲**	۹۴/۸۵۰*	۱۶/۸۵**	۴/۹۵*	۲۹۷۳/۹۱**
S × N	۱	۰/۱۲*	-/۰۱**	۱۲۳۵۳۵/۶۶**	۲/۳۴*	۲۴۴/۸۹**	۱۱۶/۴۹**
D × S × N	۱	۰/۱۰*	-/۰۵**	۷۲۱۹۱/۲۹**	۳۹/۰۹**	۳/۹۲**	۸۸۱۱۱/۲۹**
خطا	۴۰	-/۰۲	-/۰۰	۲۵/۲۱	-/۴۸	-/۷۶	۷/۵۲
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۱۸	۲/۸۲	۳/۰۴	۵/۲۹	۳/۴۳	۲/۰۶

جدول ۲. ادامه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	فعالیت پراکسیداز	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز	فعالیت لیپوکسیژنا ز	محتوی پراکسید هیدروژن	محتوی مالون دی آلدئید
سس (D)	۱	۲۳۹۸۷۹۱۶/۳۶**	۷۰۵۹۹/۲۸**	۵۷/۹۴**	۱۸/۲۲**	۱۵۹۳/۲۱
باکتری حل کننده سیلیکات (SSB)	۱	۵۱۶۵۳۸/۰۶**	۷۵۹۷/۸۱**	۳۳/۱۶**	۷/۹۲**	۳۲۹/۸۰**
سیلیکات سدیم (N)	۱	۱۷۰۷۰۱۸/۶۲**	۷۵۶/۰۴**	۲۳/۷۷**	۱/۶۲**	۶۱/۴۲**
D × S	۱	۳۲۰۱۶۹/۲۷**	۶۷/۵۴**	-/۶۴**	۱/۰۲**	۷۵/۴۵**
D × N	۱	۱۶۸۴۲۸۴/۰۳**	۳۰۸/۷۶**	-/۴۶**	-/۱۹*	۱۱/۲۴**
S × N	۱	۲۳۴۷۲/۸۶**	۴۶۹/۱۲**	-/۳۱*	-/۱۲*	۴۳/۶۶**
D × S × N	۱	۳۹۳۴/۵۸	۱۴۸/۴۷**	-/۲۸*	-/۴۶**	۱۲/۹۱**
خطا	۴۰	۳۹۴/۴۷	۷/۹۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۱/۰۶
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۷۱	۲/۷۱	۶/۴۱	۵/۰۸	۶/۸۳

* و **: غیر معنی دار و معنی دار بودن به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن بر وزن خشک سس

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک سس
باکتری حل کننده سیلیکات (S)	۱	۰/۲۰**
سیلیکات سدیم (N)	۱	۰/۱۴**
S × N	۱	۰/۰۱*
خطا	۲۰	۰/۰۰
ضریب تغییرات (%)		۵/۱۷

* و **: غیر معنی دار و معنی دار بودن به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه بادمجان

تحت شرایط عدم آلودگی به سس، در تیمار عدم تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و عدم کاربرد سیلیکات سدیم (شاهد) وزن خشک اندام هوایی و ریشه بادمجان به ترتیب ۳/۴۹ و ۰/۸۷ گرم به دست آمد (جدول ۴). تحت همین شرایط، تیمار تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و کاربرد سیلیکات سدیم به طور معنی داری باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه بادمجان به ترتیب به ۶/۰۱ و ۱/۵۱ گرم شد. تحت شرایط آلودگی به سس، در تیمار عدم تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و عدم کاربرد سیلیکات سدیم (شاهد) وزن خشک اندام هوایی و ریشه بادمجان به ترتیب ۲/۳۴ و ۰/۵۲ گرم به دست آمد. تحت همین شرایط، تیمار تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و کاربرد سیلیکات سدیم به طور معنی داری باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه بادمجان به ترتیب به ۳/۸۴ و ۱/۰۱ گرم شد.

وزن خشک سس

در تیمار عدم تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و عدم کاربرد سیلیکات سدیم، وزن خشک سس به میزان ۰/۶۲ گرم ثبت گردید (جدول ۴). وزن خشک سس به میزان ۲۹ درصد با کاربرد سیلیکات سدیم کاهش پیدا کرد. وزن خشک سس به میزان ۳۳ درصد با تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات کاهش پیدا کرد. نتایج نشان داد که کاربرد توأم آن‌ها اثر هم‌افزایی در کاهش زیست توده سس مزرعه (۵۴ درصد) دارد؛ بنابراین به طور معنی داری باعث کاهش خسارت سس زراعی بر زیست توده بادمجان شد به طوری که کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن توانست جبران کننده خسارت وارده از سوی این علف هرز به زیست توده بادمجان باشد.

محتوی سیلیس بادمجان

تحت شرایط عدم آلودگی به سس، در تیمار عدم تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و عدم کاربرد سیلیکات سدیم (شاهد) محتوی سیلیس بادمجان ۲۶۰/۴۵ میلی گرم در هر کیلوگرم ماده خشک به دست آمد (جدول ۴). تحت تیمار مذکور، با آلودگی بادمجان به سس، محتوی سیلیس بادمجان به ۱۸۵/۹۹ میلی گرم در هر کیلوگرم ماده خشک کاهش یافت که کمترین محتوی سیلیس در بین تیمارهای آزمایش را به خود اختصاص داد. تحت شرایط آلودگی به سس و تیمار تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و کاربرد سیلیکات سدیم به طور معنی داری بالاترین محتوی سیلیس بادمجان (۸۰۵/۷ میلی گرم در هر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد.

محتوی لیگنین و فعالیت آنزیم بیوستز کننده آن، فنیل آلانین آمونیا لیاز

در بادمجان غیر آلوده به سس زراعی، به واسطه کاربرد سیلیکات سدیم و تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز به ترتیب به میزان ۴۹ و ۱۰۰ درصد افزایش یافت (جدول ۴). با این حال، محتوی لیگنین از نظر آماری تحت تاثیر این تیمارها قرار نگرفت. تحت شرایط بدون آلودگی بادمجان به سس زراعی، کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری

حل‌کننده آن به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوی لیگنین (۱۰۸ درصد) و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیاپاز (۸۵ درصد) شد. تحت شرایط بدون تلقیح خاک با باکتری حل‌کننده سیلیکات و بدون کاربرد سیلیکات سدیم، به‌واسطه آلودگی بادمجان به سس زراعی محتوی لیگنین (۵۳ درصد) و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیاپاز در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (۲۷ درصد).

فعالیت آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال

تحت شرایط بدون آلودگی بادمجان به سس زراعی، با کاربرد سیلیکات سدیم فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز (۹۶ درصد)، با تلقیح خاک با باکتری حل‌کننده سیلیکات فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۹۸ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۷۶ درصد) و لیپوکسیژناز (۱۱۴ درصد) و با کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۸۳ درصد)، پراکسیداز (۱۱ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۸۴ درصد) و لیپوکسیژناز (۲۱۸ درصد) افزایش پیدا کرد (جدول ۴). تحت شرایط بدون تلقیح خاک با باکتری حل‌کننده سیلیکات و بدون کاربرد سیلیکات سدیم، تمامی آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال بادمجان آلوده به سس زراعی را به‌طور معنی‌داری واکنش نشان دادند به‌طوری‌که به‌واسطه آلودگی بادمجان به سس زراعی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۲۱۴ درصد)، پراکسیداز (۲۰۲ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۱۹۴ درصد) و لیپوکسیژناز (۱۵۶ درصد) افزایش یافت.

محتوی پراکسید هیدروژن و محتوی مالون دی‌آلدئید، نشانگرهای تنش اکسیداتیو

تحت شرایط بدون آلودگی بادمجان به سس زراعی، کاربرد سیلیکات سدیم محتوی مالون دی‌آلدئید (۴۱ درصد) را کاهش داد (جدول ۴). در مقابل، تلقیح خاک با باکتری حل‌کننده سیلیکات تأثیری بر محتوی مالون دی‌آلدئید نداشت. همچنین، کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن به‌طور معنی‌داری موجب کاهش محتوی پراکسید هیدروژن (۲۸ درصد) و محتوی مالون دی‌آلدئید (۳۹ درصد) شد. به‌واسطه آلودگی بادمجان به سس زراعی محتوی پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید به‌ترتیب به‌میزان ۵۸ و ۹۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت که کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن موجب کاهش این مقادیر افزایش‌یافته شد به‌طوری‌که تنش اکسیداتیو ناشی از سس با کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن برطرف شد.

جدول ۴. اثر سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشدی بادمجان آلوده به سس.

سبب	باکتری حل کننده سیلیکات	سیلیکات سدیم	وزن خشک اندام هوایی بادمجان (g)	وزن خشک ریشه بادمجان (g)	وزن خشک سس (g)	محتوی سیلیس (mg/kg DW _E)
عدم آلودگی	عدم تلقیح	عدم کاربرد	۳/۴۹ ^c	۰/۸۷ ^c	-	۲۶۰/۴۵ ^d
		کاربرد	۴/۵۸ ^b	۱/۰۵ ^{bc}	-	۳۷۵/۵۶ ^c
	تلقیح	عدم کاربرد	۴/۹۴ ^b	۱/۲۶ ^b	-	۳۸۶/۰۲ ^c
		کاربرد	۶/۰۱ ^a	۱/۵۱ ^a	-	۸۵۹/۱۸ ^a
با آلودگی	عدم تلقیح	عدم کاربرد	۲/۳۴ ^d	۰/۵۲ ^d	۰/۶۲ ^a	۱۸۵/۹۹ ^e
		کاربرد	۳/۴۲ ^c	۰/۷۵ ^{cd}	۰/۴۴ ^b	۴۵۱/۲۳ ^{bc}
	تلقیح	عدم کاربرد	۳/۱۱ ^{cd}	۰/۹۸ ^d	۰/۴۱ ^b	۴۹۲/۶۶ ^b
		کاربرد	۳/۸۴ ^c	۱/۰۱ ^{bc}	۰/۲۸ ^c	۸۰۵/۷۰ ^a

محتوی لیگنین (mg/g DW _E)	فعالیت فنیل آلانین - آمونیا لیا ز (U/mg P)	فعالیت کاتالاز (U/mg P)	فعالیت پراکسیداز (U/mg P)
۷/۴۵ ^d	۱۴/۷۶ ^d	۸۹/۵۳ ^f	۴۴۲/۶۵ ^d
۹/۱۲ ^d	۲۲/۰۲ ^c	۱۳۲/۱۳ ^{ef}	۴۱۹/۰۵ ^d
۹/۹۰ ^{cd}	۲۹/۶۵ ^a	۱۷۷/۸۷ ^d	۴۶۰/۶۶ ^{de}
۱۵/۵۲ ^{ab}	۲۷/۳۲ ^{ab}	۱۶۳/۹۳ ^d	۴۸۹/۳۰ ^e
۱۱/۴۲ ^c	۱۸/۷۶ ^c	۲۸۱/۳۳ ^c	۱۳۳۶/۶۳ ^c
۱۴/۳۳ ^{bc}	۲۶/۷۵ ^b	۳۰۱/۲۲ ^{cb}	۲۰۲۶/۱۰ ^b
۱۹/۰۷ ^a	۳۳/۲۸ ^a	۴۲۰/۱۳ ^b	۱۶۴۵/۱۱ ^{bc}
۱۸/۷۱ ^{ab}	۳۲/۷۹ ^a	۴۹۱/۸۷ ^a	۲۴۵۹/۲۵ ^a

فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (U/mg P)	فعالیت لیپوکسیژناز (U/mg P)	محتوی پراکسید هیدروژن (μM/g FW _E)	محتوی مالون دی آلدئید (μM/g FW _E)
۴۲/۵۳ ^d	۱/۲۱ ^d	۲/۹۸ ^c	۱۳/۴۳ ^d
۶۵/۳۱ ^{cd}	۲/۳۸ ^c	۲/۷۵ ^c	۷/۹۰ ^e
۷۵/۰۹ ^c	۲/۶۰ ^c	۲/۵۷ ^{cd}	۷/۷۵ ^e
۷۸/۳۳ ^c	۳/۸۵ ^b	۲/۱۲ ^d	۸/۱۱ ^e
۱۲۵/۴۵ ^b	۳/۱۰ ^{bc}	۴/۷۳ ^a	۲۶/۱۰ ^a
۱۳۱/۰۵ ^{ab}	۴/۴۲ ^b	۴/۰۵ ^b	۲۳/۲۹ ^b
۱۵۵/۷۲ ^a	۴/۷۱ ^b	۳/۳۴ ^c	۱۷/۴۸ ^c
۱۵۵/۸۵ ^a	۶/۶۰ ^a	۳/۲۳ ^c	۱۶/۴۱ ^{cd}

در هر ویژگی، میانگین‌های دارای حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت ندارند. P: پروتئین؛ U: واحد؛ DW: وزن خشک؛ FW: وزن تازه.

بحث

نتایج به دست آمده از اندازه گیری محتوی سیلیس در اندام هوایی بادمجان نشان داد که کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده سیلیکات، اثر هم افزایی در صفات اندازه گیری شده به ویژه زیست توده بادمجان داشته است. به طور مشابه، اثر هم افزایی کاربرد سیلیکات و باکتری حل کننده آن بر رشد ذرت (Sari et al., 2022)، برنج (Chaganti et al., 2023)، نیشکر (Anitha et al., 2023)، بادام زمینی (Ruban and Jeyaramraja, 2023) و گشنیز (Nath et al., 2022) گزارش شده است. باکتری‌های حل کننده سیلیکات ترکیبات اسیدی متعددی به محیط خاک رها می کنند که موجب آزاد شدن سریع سیلیس در آب خاک (Sari et al., 2022) و جذب بهتر آن به وسیله گیاهان (Joshi et al., 2023) می شوند. علاوه بر این، محققان گزارش کرده اند که تلقیح

خاک با باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات‌ها نقش مؤثری در بهبود جذب سایر عناصر غذایی (نیترژن، فسفر و پتاسیم) در باقلا (Hafez *et al.*, 2021) و خردل هندی (Maleva *et al.*, 2017) داشته که موجب افزایش زیست‌توده آن‌ها شده است. تغییرات فیزیولوژیک مشابهی در ریحان (Ahmadi Mousavi *et al.*, 2017) و تنباکوی (Lukacova *et al.*, 2019) آلوده به سس زراعی نیز گزارش شده که براساس آن‌ها، تولید فنیل پروپانویدهای محلول و لیگنین همراه با فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیا لایز طی برهم‌کنش سس با گیاهان میزبان افزایش می‌یابد. این امر منجر به افزایش پیوند فنیل پروپانویدهای محلول و لیگنین با سایر اجزای دیواره سلولی می‌شود. تصور می‌شود که این دیواره سلولی اصلاح شده تا حدودی مانع از نفوذ مکینه سس به گیاه میزبان می‌شود (Svubova *et al.*, 2017). همچنین، آلودگی ریحان به سس منجر به افزایش فعالیت کاتالاز از ۳۹ به ۷۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین شد (تقریباً افزایش ۲ برابری) (Ahmadi Mousavi *et al.*, 2017). به‌طور مشابه، آلودگی تنباکو به سس منجر به افزایش فعالیت کاتالاز از ۹۰ به ۳۷۰ واحد در میلی‌گرم پروتئین (تقریباً افزایش ۳ برابری) شد (Lukacova *et al.*, 2019).

باتوجه به یافته‌های به‌دست‌آمده از این تحقیق، اثر سیلیس به‌عنوان یک عامل بازدارنده در کاهش خسارت ناشی از سس زراعی بر بادمجان را می‌توان با دو سازوکار فیزیکی و بیوشیمیایی توضیح داد. رخنه موفقیت‌آمیز انگل مستلزم آن است که مکینه از موانع فیزیکی از جمله موم، کوتیکول و دیواره‌های سلولی وارد گیاه میزبان شوند. تحقیقات قبلی نشان داد که کاربرد سیلیس باعث تجمع سیلیس در زیر کوتیکول برگ (Van *et al.*, 2015)، انباشت سلولز بیشتر در دیواره سلولی (He *et al.*, 2015)، رسوب لیگنین بیشتر در سلول‌های اپیدرمی برگ (Lukacova *et al.*, 2019) و ایجاد لایه سیلیسی روی سطح کوتیکول برگ (Datnoff and Rodrigues, 2015) می‌شود. به‌طور کلی، این تغییرات فیزیکی در گیاه میزبان آن‌را به‌صورت مکانیکی در برابر رخنه مکینه سس مقاوم می‌سازد. محققان (Al-Gburi *et al.*, 2019) در تحقیقی که باکتری حل‌کننده به‌کار برده نشده بود، گزارش کردند که با کاربرد سیلیکات سدیم، تجمع و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع مانند پلی‌فنول اکسیداز، گلوکاناز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و فنیل‌آلانین آمونیا لایز مرتبط در بادمجان نیز افزایش می‌یابد. از این‌رو، این تغییرات بیوشیمیایی همراه با تغییرات فیزیکی کوتیکول برگ گیاه میزبان آن‌را در برابر رخنه مکینه گیاه‌خوار مقاوم می‌سازد. بررسی منابع نشان می‌دهد که کاربرد سیلیس در کاهش هجوم دو گونه کرم برگ‌خوار چغندر قند مؤثر گزارش شده است (Amine *et al.*, 2022; Yarahmadi *et al.*, 2022). همچنین، سیلیس در کاهش قدرت نفوذ مکینه و عفونت‌زایی عوامل بیماری‌زای سفیدک پودری (Shabrawy and Rabboh, 2020) و مرگ گیاهچه (Yassin, 2015) در چغندر قند مؤثر گزارش شده است. به‌علاوه، سیلیس باعث کاهش آلودگی بیش از ۷۵ و ۳۵ درصدی به سس زراعی به‌ترتیب در بادمجان (Al-Gburi *et al.*, 2019) و توتون (Lukacova *et al.*, 2019) شده است.

براساس مشاهدات از روند سبز شدن گیاهچه‌ها در گلدان‌هایی که سیلیکات سدیم به‌کار برده شده بود، ظهور سریع‌تری از گیاهچه‌های بادمجان (حدوداً ۱ تا ۲ روز) قابل مشاهده بود که می‌تواند گزارش قبلی (Ayed *et al.*, 2022) را در رابطه با تسریع جوانه‌زنی بذر گندم دوروم پیش‌تیمار شده با سیلیکات سدیم تأیید کند. از طرفی، کاربرد سیلیس در گیاهان، افزایش تنظیم سیگنال‌های سیستمیک مانند اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و اتیلن را نیز به‌همراه دارد (Datnoff and Rodrigues, 2013). همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، سیلیس به بهبود خواص مکانیکی و فیزیولوژیک گیاهان کمک می‌کند تا بر تنش‌های غیرزیستی از جمله علف‌کش‌ها نیز غلبه کند. تحقیقات قبلی نشان داده که سیلیس می‌تواند گیاه‌سوزی ناشی از علف‌کش‌های فنوکساپروپ پی اتیل روی گندم (Saudy and Mubarak, 2015)، پندیمتالین روی زنجبیل (Li *et al.*, 2022)، گلایفوسیت روی گوجه‌فرنگی (Soares *et al.*, 2021)، بوتاکلر روی برنج (Tripathi *et al.*, 2020) و مت‌سولفورون متیل روی گندم (Jain *et al.*, 2021) را کاهش دهد. این ایمنی افزایش‌یافته گیاهان در برابر علف‌کش‌ها به‌واسطه افزایش تولید سیگنال‌های سیستمیک انجام می‌گیرد که باعث افزایش سرعت تجزیه علف‌کش‌ها در گیاهان می‌شود. از این‌رو، اگرچه پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن می‌تواند تا حدی خسارت سس زراعی را بر بادمجان کاهش دهد، اما ممکن است

کاربرد آن‌ها باعث کاهش کارایی علف‌کش‌های اختصاصی بادمجان علیه سایر علف‌های هرز نیز شود. لذا، ضروری است این موضوع نیز در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که تحت شرایط عدم‌آلودگی به سس، کاربرد سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده سیلیکات‌ها به‌تنهایی و توأم توانست زیست‌توده بادمجان را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. همچنین، تحت شرایط آلودگی به سس، کاربرد سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن به‌تنهایی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش خسارت سس به بادمجان شد. کاربرد توأم آن‌ها نیز اثر هم‌افزایی نشان داد به‌طوری‌که کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن توانست جبران‌کننده خسارت وارده از سوی این علف‌هرز انگلی به زیست‌توده بادمجان باشد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود با اجرای آزمایشات تکمیلی و تأیید نتایج حاصل از این آزمایش در شرایط مزرعه‌ای، کاربرد سیلیس، هم به‌منظور افزایش عملکرد و هم به‌منظور کاهش خسارت سس در نظر گرفته شود.

سپاس‌گزاری

بخشی از هزینه‌های اجرایی این پژوهش توسط حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینای همدان تأمین گردید که بدین‌وسیله صمیمانه تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

- علی‌وردی، اکبر و کرمی، سمیرا. (۱۴۰۳). تاثیر سیلیکات‌ها و باکتری حل‌کننده آنها بر رشد و عملکرد گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub). *تولیدات گیاهی*، ۴۷(۴): ۵۲۱-۵۱۱. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.47097.2176>
- قاسمی، کامران؛ قاجارسیپانلو، مهدی و حدادی‌نژاد، مهدی. (۱۳۹۹). تأثیر تغذیه سیلیسیومی بر رشد و باردهی توت‌فرنگی رقم کاماروسا درکشت هیدروپونیک در شرایط فضای باز. *تولیدات گیاهی*، ۴۳(۱): ۱۰۶-۹۳. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.26611.1634>
- نیازبال، مهدی؛ کلاته‌جاری، سپیده؛ فاتحی، فؤاد و دیانت، مرجان. (۱۴۰۱). اثر سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه پوششی چمن شبدری (*Dichondra repens*) در شرایط تنش کم‌آبی. *تولیدات گیاهی*، ۴۵(۴): ۵۱۷-۵۰۵. <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.38291.2061>

REFERENCES

- Ahmadi Mousavi, E. A.; Nasibi, F.; Manouchehri Kalantari, K. & Oloumi, H. (2017). Stimulation effect of carrageenan on enzymatic defense system of sweet basil against *Cuscuta campestris* infection. *Journal of Plant Interactions*, 12(1): 286-294. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1341560>
- Al-Gburi, B. K. (2021). Effect of different control applications on *Cuscuta campestris*, and biochemical content of eggplant. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(4): 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.01.007>
- Al-Gburi, B. K. H.; Al-Sahaf, F. H.; Al-Fadhal, F. A.; Mohammed, A. E. & Monte Diaz de Guereñu, J. P. d. (2019). Effect of different control methods on *Cuscuta campestris*, and growth and productivity of eggplant (*Solanum melongena*). *Plant Archives*, 19(1): 461-469. <https://doi.org/10.1080/16740085.2017.136>
- Alves, D. M. R.; Oliveira çde), J. N.; Mello Prado çde), R. & Ferreira, P. M. (2023). Silicon in the form of nanosilica mitigates P toxicity in scarlet eggplant. *Scientific Reports*, 13(1): 9190. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36412-w>
- Amine, H.; Hamed, S.; Anbar, H.; Shalaby, G.; Khazal, N. & Rahman, H. (2022). Effect of different silica sources on cotton leafworm population in sugar beet plants, and their influence on sugar beet yield. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 10(3): 55-60. <https://doi.org/10.22271/j.ento.2022.v10.i3a.9011>
- Anitha, R.; Vanitha, K.; Tamilselvi, C.; Jeyakumar, P.; Vijayalakshmi, D.; Yuvaraj, M. & Cyriac, J. (2023). Potential applications of silicate solubilizing bacteria and potassium silicate on sugarcane crop under drought condition. *Silicon*, 15(16): 6879-6887. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2855698/v1>
- Astha J, S. M.; Rajnish, K; Surya, C. & Devendra J. (2023). Importance of silica solubilising bacteria in agricult. *The Pharma Innovation Journal*, 12(4): 7.
- Ayed, S.; Othmani, A.; Bouhaouel, I.; Rasâa, N.; Othmani, S. & Amara, H. S. (2021). Effect of silicon (Si) seed priming on germination and effectiveness of its foliar supplies on durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) genotypes under semi-arid environment. *Silicon*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-00963-2>
- Bagheri, M. (2015). *Planting, growing, and harvesting handbook of eggplant (Solanum melongena L.)*. Tehran: Ministry of Jihad-e-Agriculture. [in Persian]
- Bakhat, H. F.; Bibi, N.; Hammad, H. M.; Shah, G. M.; Abbas, S.; Rafique, H. M. & Maqbool, M. M. (2023). Effect of silicon fertilization on eggplant growth and insect population dynamics. *Silicon*, 15(8): 3515-3523. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-02279-1>
- Chaganti, C.; Phule, A. S.; Chandran, L. P.; Sonth, B.; Kavuru, V. P. B.; Govindannagari, R. & Sundaram, R. M. (2023). Silicate solubilizing and plant growth promoting bacteria interact with biogenic silica to impart heat stress tolerance in rice by modulating physiology and gene expression. *Frontiers in Microbiology*, 14: 1168415. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1168415>
- Datnoff, L.E. and Rodrigues, F.A. (2015). History of Silicon and Plant Disease. In: Rodrigues, F. and Datnoff, L. (eds) *Silicon and Plant Diseases*: 1-5. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22930-0_1
- El-Ashry, R. M.; El-Saadony, M. T.; El-Sobki, A. E.; El-Tahan, A. M.; Al-Otaibi, S.; El-Shehawi, A. M. & Elshaer, N. (2022). Biological silicon nanoparticles maximize the efficiency of nematicides against biotic stress induced by *Meloidogyne incognita* in eggplant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2): 920-932. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.013>
- García, M. A.; Costea, M.; Kuzmina, M. & Stefanović, S. (2014). Phylogeny, character evolution, and biogeography of *Cuscuta* (dodders; Convolvulaceae) inferred from coding plastid and nuclear sequences. *American journal of botany*, 101(4): 670-690. <https://www.jstor.org/stable/26616816>
- Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Anee, T.I.; Khan, M.I.R. & Fujita, M. (2018). Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in *Brassica napus* L. *South African Journal of Botany*, 115: 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.12.006>

- Hafez, E. M.; Osman, H. S.; El-Razek, U. A. A.; Elbagory, M.; Omara, A. E.-D.; Eid, M. A. & Gowayed, S. M. (2021). Foliar-applied potassium silicate coupled with plant growth-promoting rhizobacteria improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water in salt-affected soil. *Plants*, 10(5): 894. <https://doi.org/10.3390/plants10050894>
- He, C. ; Ma, J. & Wang, L. (2015). A hemicellulose-bound form of silicon with potential to improve the mechanical properties and regeneration of the cell wall of rice. *New Phytologist*, 206(3): 1051-1062. <https://doi.org/10.1111/nph.13282>
- Jain, S.; Rai, P.; Singh, J.; Singh, V. P.; Prasad, R.; Rana, S. & Sharma, S. (2021). Exogenous addition of silicon alleviates metsulfuron methyl induced stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167: 705-712. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.07.031>
- Jiang, Y.; Wei, C.; Jiao, Q.; Li, G.; Alyemeni, M.N.; Ahmad, P.; Shah, T.; Fahad, S.; Zhang, J.; Zhao, Y.; Liu, F.; Liu, S. & Liu, H. (2023). Interactive effect of silicon and zinc on cadmium toxicity alleviation in wheat plants. *Journal of Hazardous Materials*, 458:131933. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131933>
- Kabir, A. H.; Das, U.; Rahman, M. A. & Lee, K. W. (2021). Silicon induces metallochaperone-driven cadmium binding to the cell wall and restores redox status through elevated glutathione in Cd-stressed sugar beet. *Physiologia Plantarum*, 173(1): 352-368. <https://doi.org/10.1111/ppl.13424>
- Li, Y. ; Wang, K. ; Kong, Y. ; Lv, Y. & Xu, K. (2022). Toxicity and tissue accumulation characteristics of the herbicide pendimethalin under silicon application in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Environmental Science and Pollution Research*, 29(20): 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17740-8>
- Lukacova, Z.; Svubova, R.; Janikovicova, S.; Volajova, Z. & Lux, A. (2019). Tobacco plants (*Nicotiana benthamiana*) were influenced by silicon and were not infected by dodder (*Cuscuta europaea*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 139: 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.004>
- Madany, M. M.; Saleh, A. M.; Habeeb, T. H.; Hozzein, W. N. & AbdElgawad, H. (2020). Silicon dioxide nanoparticles alleviate the threats of broomrape infection in tomato by inducing cell wall fortification and modulating ROS homeostasis. *Environmental Science: Nano Journal*, 7(5): 1415-1430. <https://doi.org/10.1039/C9EN01255A>
- Maleva, M.; Borisova, G.; Koshcheeva, O. & Sinenko, O. (2017). Biofertilizer based on silicate solubilizing bacteria improves photosynthetic function of Brassica juncea. *AGROFOR International Journal*, 2(3):13-19. <https://doi.org/10.7251/AGRENG1703013M>
- Mavrič Čermelj, A.; Golob, A.; Vogel-Mikuš, K. & Germ, M. (2021). Silicon mitigates negative impacts of drought and UV-b radiation in plants. *Plants*, 11(1): 91. <https://doi.org/10.3390/plants11010091>
- Mishra, J.S.; Moorthy, B.T.S.; Bhan, M. & Yaduraju, N.T. (2007). Relative tolerance of rainy season crops to field dodder (*Cuscuta campestris*) and its management in niger (*Guizotia abyssinica*). *Crop Protection*, 26(4): 625-629. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.05.016>
- Nath, D.; Selvi, D.; Thiyageshwari, S.; Anandham, R. & Venkatesan, K. (2022). Silicon Sources and Bacterial Inoculants on Growth Parameters, Leaf Yield, Quality of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and Soil Adsorbed Silicon in Sandy Loamy Soil. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(22): 194-208. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i2231372>
- Raza, T.; Abbas, M.; Amna Imran, S.; Khan, M.Y; Rebi, A.; Rafie Rad, Z. & Eash, N.S. (2023). Impact of silicon on plant nutrition and significance of silicon mobilizing bacteria in agronomic practices. *Silicon*, 15: 3797-3817. <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02302-z>
- Ruban, P. & Jeyaramraja, P. (2023). Isolation and Characterization of a Silicate-Solubilizing Bacterial Strain Associated with the Roots of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Indonesian Journal of Agriculture and Environmental Analytics*, 2(1): 47-54. <https://doi.org/10.55927/ijaea.v2i1.3589>
- Salman, S.; Shahzad, L.; Khan, W.-U.-D.; Riaz, U.; Sharif, F.; Tahir, A. & Tariq Saeed, M. (2023). Influence of silicon doped biochar on germination and defense mechanisms of pea (*Pisum sativum* L.) under copper and salinity stresses. *Journal of Plant Nutrition*, 46(16): 3933-3953.

- <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2220720>
Sari, I. P.; Lestari, Y.; Hamim, H. & Santi, L. P. (2022). Application of silica solubilizing bacteria to improve the water use efficiency of maize. *Menara Perkebunan*, 90(1), 71-80. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v90i1.493>
- Saric-Krsmanovic, M.; Bozic, D.; Radivojevic, L.; Gajic Umiljendic, J. & Vrbnicanin, S. (2018). Response of alfalfa and sugar beet to field dodder (*Cuscuta campestris* Yunck.) parasitism: a physiological and anatomical approach. *Canadian Journal of Plant Science*, 99(2): 199-209. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0050>
- Saudy, H. & Mubarak, M. (2015). Mitigating the detrimental impacts of nitrogen deficit and fenoxaprop-p-ethyl herbicide on wheat using silicon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(7): 897-907. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1011753>
- Shabrawy, E. E. & Abd Rabboh, M. (2020). Effect of foliar spraying with micronutrients, elicitors, silicon salts and fertilizers on powdery mildew of sugar beet. *Menoufia Journal of Plant Protection*, 5(10): 123-141. <https://doi.org/10.21608/mjapam.2020.122567>
- Soares, C. ; Nadais, P. ; Sousa, B. ; Pinto, E. ; Ferreira, I. M. ; Pereira, R. & Fidalgo, F. (2021). Silicon improves the redox homeostasis to alleviate glyphosate toxicity in tomato plants-are nanomaterials relevant? *Antioxidants*, 10(8): 1320. <https://doi.org/10.3390/antiox10081320>
- Svubova, R. ; Lukacova, Z. ; Kastier, P. & Blehova, A. (2017). New aspects of dodder-tobacco interactions during haustorium development. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39: 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2340-2>
- Tripathi, D. K.; Varma, R. K.; Singh, S.; Sachan, M.; Guerriero, G.; Kushwaha, B. K. & Singh, V. P. (2020). Silicon tackles butachlor toxicity in rice seedlings by regulating anatomical characteristics, ascorbate-glutathione cycle, proline metabolism and levels of nutrients. *Scientific Reports*, 10(1): 14078. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65124-8>
- Üstuner, T. (2018). The effect of field dodder (*Cuscuta campestris* Yunck.) on the leaf and tuber yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Turkish journal of Agriculture and Forestry*, 42(5): 348-353. <https://doi.org/10.3906/tar-1711-108>
- Van Bockhaven, J. ; Steppe, K. ; Bauweraerts, I. ; Kikuchi, S. ; Asano, T. ; Höfte, M. & Vleeschauwer (De), D. (2015). Primary metabolism plays a central role in moulding silicon-inducible brown spot resistance in rice. *Molecular Plant Pathology*, 16(8): 811-824. <https://doi.org/10.1111/mpp.12236>
- Wang, M. ; Gao, L. ; Dong, S.; Sun, Y.; Shen, Q. & Guo, S. (2017). Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in plant science*, 8: 701. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>
- Yarahmadi, F.; Dinarvan, N. & Farkhari, M. (2022). Induction of Sugar Beet Resistance to *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) Under Field Conditions. *Sugar Technology*, 24(6): 1845-1850. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01156-w>
- Yassin, M. A. (2015). Efficacy of some silicon compounds on the sugar beet pathogen, *Rhizoctonia solani*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(10): 3189-3196 .
- Yearbook, F. S. (2023). *World food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Yoshida, S.; Cui, S.; Ichihashi, Y. & Shirasu, K. (2016). The haustorium, a specialized invasive organ in parasitic plants. *Annual Review of Plant Biology*, 67(1): 643-667. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-111702>