

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

ABSTRACT

Silicon is an essential element in plant nutrition and plays an effective role in tolerance to biotic and abiotic stresses. The study aimed to investigate the effect of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria on the interaction between eggplant and dodder infestation. The pot study was conducted at Bu-Ali Sina University in 2022 as a three-factor factorial based on a completely randomized design with six replications. The first factor included the dodder infection of eggplant (with and without infection). The second factor included the application of sodium silicate (zero and 100 mg per kg of soil). The third factor included soil inoculation with silicate-solubilizing bacteria (zero and 10 ml per kg of soil). The results showed a synergistic effect when using combined sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria. When the soil was treated with sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria, the infection of eggplant with dodder caused a decrease in shoot dry weight (32%), root dry weight (41%), and silicon content (28%) and an increase in lignin content (53%), phenylalanine ammonia-lyase activity (27%), catalase activity (214%), peroxidase activity (202%), superoxide dismutase activity (194%), lipoxigenase activity (156%), H₂O₂ content (58%) and malondialdehyde content (94%). The co-application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria synergistically reduced the dodder biomass. So the combined use of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria could compensate for the damage caused by this parasitic weed to eggplant biomass.

Keywords: Bacterial inoculation, Enzyme activity, Parasitic weed, Silicon.

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

چکیده

سیلیس عنصری غیر ضروری در تغذیه گیاهان محسوب می شود اما نقش موثری در تحمل انواع تنش های زیستی و غیرزیستی دارد. پژوهش حاضر قصد داشت تا اثرپذیری رابطه بادمجان-سس را از کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن را طی آزمایشی گلخانه ای در دانشگاه بوعلی سینا در ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار مورد بررسی قرار دهد. 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 توام 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 لایاز (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 توام اثر معنی داری بر تمامی صفات بررسی شده داشت و منجر به کاهش زیست توده سس شد. کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن توانست جبران کننده خسارت وارده از سوی این علف هرز انگلی به زیست توده بادمجان باشد.

کلیدواژه ها: تلقیح باکتری، سیلیس، علف هرز انگلی، فعالیت آنزیمی.

مقدمه

تقریباً ۴۲۰۰ گونه گیاهی انگل گلدار در سراسر جهان شناسایی شده است که در ۲۷۴ جنس مختلف طبقه بندی شده اند. 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*، *Arceuthobium*، *Cuscuta* و *Striga* قرار دارند (Saric-Krsmanovic et al., 2019). در جنس سس *Cuscuta*، گونه سس زراعی (*Cuscuta campestris* Yunck.) به دلیل پراکندگی جغرافیایی بسیار گسترده در سراسر جهان، گستره میزبانی گسترده 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 ندارد. در عوض، آن ها ساختارهای ریشه ماندی به نام مکینه را تشکیل می دهند که به عنوان اندامی برای جذب آب، مواد معدنی و سایر

مولکول‌ها از بافت‌های هادی گیاه میزبان عمل می‌کند. از اینرو، رشد و عملکرد گیاه میزبان به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Yoshida et al., 2016). محققان قبلی گزارش کردند که آلودگی مزرعه به سس زراعی می‌تواند 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 یکساله از خانواده Solanaceae است که به نظر می‌رسد که این گیاه بومی هندوستان باشد. این گیاه در اغلب مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری برای مصرف تازه‌خوری کشت و کار می‌شود. بادمجان از لحاظ ارزش غذایی با گوجه فرنگی قابل مقایسه می‌باشد (Bagheri, 2015). در سال ۲۰۲۲، تقریباً ۱/۹ میلیون هکتار از اراضی جهان زیر کشت بادمجان رفته است 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 بافت‌های خود نگهداری می‌کنند. سیلیس عمدتاً به شکل سیلیکات‌های منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آلومینیوم و آهن در فاز جامد خاک یافت می‌شود. سیلیکات‌ها 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 در طی فرآیند هوازدهی سیلیکات‌ها به وجود می‌آید و تنها شکلی از سیلیس است که گیاهان می‌توانند آنرا 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 سیلیکات‌ها از طریق هوازدهی که فرآیندی طولانی مدت است یا توسط باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات‌ها که فرآیندی کوتاه مدتی است حل و به سیلیس قابل جذب برای گیاهان تبدیل شوند. محققان سویه‌های مختلفی از باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات‌ها را جداسازی کردند. بارزترین سویه‌ها متعلق به باسیلوس، سودوموناس، پروتئوس، ریزوبیا، بورکولدریا و انتروباکتر هستند. با این حال، تجزیه و تحلیل سیستماتیک سویه‌های باکتریایی حل‌کننده سیلیکات‌ها، سودوموناس و باسیلوس را به عنوان جنس‌های میکروبی حل‌کننده سیلیکات‌ها مشخص کرد (Raza et al., 2023).

پیشینه پژوهش

مطالعه‌های قبلی روی بادمجان نشان داده است که کاربرد سیلیس می‌تواند تنش‌های زیستی و غیرزیستی را کاهش دهد. از جمله تنش ناشی از حشرات (Bakhat et al., 2023)، خشکی (Hasanuzzaman et al., 2018)، علف‌کش (Al-Gburi et al., 2021)، نمادکش (El-Ashry et al., 2022)، سمیت عناصر غذایی ضروری (Alves et al., 2023). مطالعه‌های انجام شده روی سایر گیاهان حاکی از بهبود تحمل به شوری (Salman et al., 2023)، عوامل بیماری‌زای گیاهی (Shabrawy and Rabboh, 2020)، فلزات سنگین (Kabir et al., 2021)، تشعشع ماوای بنفش (Mavrič Čermelj et al., 2022) و انگل‌های گلدان (Madany et al., 2020) به واسطه کاربرد سیلیس است. با این حال، تحت شرایط بدون تنش نیز کاربرد سیلیس می‌تواند 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 در محافظت گیاهان در برابر انواع تنش‌ها را به تشکیل یک لایه سیلیسی در دیواره‌های سلولی و کوتیکول برگ نسبت دادند که موجب استحکام بیشتر آنها می‌شود. با این حال، مطالعه‌های بیشتر 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 آمونیلایز، 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 است که منجر به کاهش محتوی پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید می‌شود. سیلیس عمدتاً به شکل سیلیکات‌های منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آلومینیوم و آهن در فاز جامد خاک یافت می‌شود که معمولاً به دلیل ماهیت نامحلول و غیر متحرک بودن آنها برای جذب گیاه زراعی در دسترس نیستند. با این حال، سیلیس در فاز مایع خاک به شکل اسید سیلیسیک نیز موجود است که طی فرآیند هوازدهی سیلیکات‌ها به وجود می‌آید و تنها

شکلی از سیلیس است که گیاهان می‌توانند آنرا جذب کنند اما مقدار آن در خاک بسیار کم است (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 عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم (Maleva et al., 2017) در گیاهان زراعی می‌شوند. در تحقیقات متعددی، افزایش فعالیت اغلب آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به واسطه کاربرد سیلیس در گیاهان مختلف تحت شرایط انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی به اثبات رسیده است که خلاصه نتایج آن‌ها به وسیله (Wang et al., 2017) تجمیع و مرور شده است. تاکنون، در دو مطالعه قبلی روی بادمجان (Al-Gburi et al., 2019) و تنباکو (Lukacova et al., 2019) گزارش شده است 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 فیزیولوژیکی و رشدی گیاه بادمجان است.

روش‌شناسی پژوهش

مشخصات محل اجرای پژوهش

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

نوع طرح و تیمارهای پژوهش

آزمایش به‌صورت 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 فیزیکوشیمیایی ذکر شده در جدول ۱ بود.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک استفاده شده در گلدان‌ها پرورش گیاهان

رس	سیلت	شن	هدایت الکتریکی	بی‌اچ	ماده آلی	فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل
(درصد)	(درصد)	(درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر)		(درصد)	(پی‌پی‌ام)	(پی‌پی‌ام)	(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، بذرهای سس زراعی (*Cuscuta campestris* Yunck.) با تراکم ۱۰ بذر در هر گلدان مربوط به تیمارهای آلودگی به سس زراعی در عمق ۵/۵ سانتی‌متری کاشته شدند. بلافاصله پس از رویش گیاهچه‌های سس زراعی، آن‌ها به ۲ بوته در هر گلدان تنک شدند. بذرهای سس زراعی از مزارع چغندر قند آلوده در منطقه جمع‌آوری شده بودند. قبل از کشت بذرهای سس زراعی، با اجرای دستورالعمل زیر (Mishra, 2007) از رفع خواب بذر اطمینان حاصل شد: خیساندن بذر 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 آون (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 آمونیالیز و پراکسیداز و روش Hasanuzzaman و همکاران (2018) برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و لیپوکسیژناز و محتوی پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید دنبال شد.

برای اندازه‌گیری محتوی سیلیس برگ بادمجان، ۵/۵ گرم برگ خشک شده به ۱۰ میلی لیتر محلول ۱/۵ مولار اسید هیدروفلوریک + ۰/۶ مولار اسید هیدروکلریک اضافه شد. پس از ۱ ساعت، ۴۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه هم زده شد. صد میلی گرم از مایع رویی برداشت و به ۲ میلی لیتر هپتامولیدات آمونیوم اضافه شد. پس از ۵ دقیقه، ۴ میلی لیتر اسید سیتریک ۰/۱ مولار اضافه و با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی لیتر 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 میلی گرم برگ خشک آسیاب و الک شده با مش ۲۵ به ۲ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه شد. پس از سانتریفیوژ کردن (۱۶۰۰۰ گرانش زمین، ۳ دقیقه)، رسوبات آن خارج و با استفاده از ۲ میلی لیتر استیل بروماید: اسید استیک با نسبت ۳:۱ شسته و در شرایط اتاق خشک شد. شستشو مجدداً تکرار گردید. نمونه در حمام بین ماری (۷۰ درجه سانتیگراد، ۳۰ دقیقه) گرم و سپس در دمای اتاق سرد شد. سپس، ۰/۱ میلی لیتر کلرید هیدروکسی آمونیوم ۷/۵ مولار و ۰/۹ میلی لیتر هیدروکسید سدیم ۲ مولار به نمونه اضافه شد و با اسید استیک به حجم ۱۰ میلی لیتر 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 آمونیالیز در مسیر تولید لیگنین، ۳۰۰ میلی گرم از برگ‌های تازه بادمجان، پس از انجماد با نیتروژن مایع، با ۶/۵ میلی لیتر بافر تریس هیدروکسی متیل آمینو متان ۵۰ میلی مولار (پی‌اچ ۸/۸) + بتا-مرکاپتواتانول ۱۵ میلی مولار + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۱ میلی مولار هموژنیزه و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۲۰ دقیقه). مایع رویی از غشای اولتراسل-۵۰ عبور داده شد. جذب محلول بدست آمده در طیف ۲۹۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین 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 بدست 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 (پی‌اچ ۶/۸) + گایاکول ۲۰ میلی مولار + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی مولار، در حمام بین ماری (۷۰ درجه سانتی‌گراد، 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 اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۱ میلی‌مولار اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه بدست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گراننش زمین، ۱۵ دقیقه) و ۲۵ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۲ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + گایاکول ۲۰ میلی‌مولار + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی‌مولار، در حمام بین ماری (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ دقیقه) قرار داده شود. سپس، ۵۰ میکرولیتر از نمونه به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۷) + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی‌مولار اضافه شد. جذب محلول بدست آمده در طیف ۲۴۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۱ میلی‌مولار اضافه گردید. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه بدست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گراننش زمین، ۱۵ دقیقه) و ۵۰ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۷/۸) + ال-متیونین ۱۳ میلی‌مولار + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۱۰۰ میکرومولار + کلرید تترازولیوم پی-نیتروبلو ۷۵ میکرومولار + ریبولوین ۲ میکرومولار، به مدت ۵ دقیقه در معرض لامپ فلورسنت ۳۰ وات قرار داده شود. جذب نمونه در طیف ۵۶۰ نانومتر ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز، مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال، ۱ گرم برگ تازه بادمجان به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ 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 میلی‌لیتر لینولئیک اسید ۱۰۰ میلی‌مولار + ۰/۱ درصد حجمی از ترکیب میان توین-۲۰ و بافر مونوپتاسیم فسفات ۲۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۵) اضافه شد. جذب نمونه در طیف ۲۳۴ نانومتر ثبت گردید.

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

برای اندازه‌گیری محتوی مالون دی‌آلدئید که شاخصی از میزان پرواکسیدانسیون لیپیدهای غشاهای سلولی در برگ بادمجان است، ۰/۵ گرم برگ تازه به ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱ درصد اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گراننش زمین، ۱۰ دقیقه). سپس، ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۴ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد + اسید تیوباربیتوریک ۰/۵ درصد مخلوط و درون حمام بن ماری (۹۵ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ دقیقه) نگهداری شد. نمونه در دمای اتاق سرد و سپس سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گراننش زمین، ۱۰ دقیقه). نهایتاً، جذب نمونه در طیف ۵۳۲ نانومتر ثبت گردید.

هر واحد از فعالیت فنیل آلانین آمونیلایز برابر با تولید ۱ میکرومولار سینامیک اسید در دقیقه، هر واحد از فعالیت پراکسیداز برابر با تغییر یک واحد جذب میلی‌لیتر عصاره آنزیمی است، هر واحد از فعالیت سوپراکسید دیسموتاز برابر با ۵۰٪ مهار آنزیمی کاهش نور تترازولیوم نیتروبلو است. هر واحد از فعالیت لیپوکسیژناز 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 می‌باشد.

داده‌ها با استفاده از دستور PROC GLM در محیط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل شدند. نتایج آزمون Shapiro-Wilk نرمال بودن باقیمانده‌ها را تایید کرد. هر جایی که اثر اصلی یک عامل یا برهم‌کنش دوگانه بین عوامل محرز گردید، میانگین‌های مربوطه با استفاده از آزمون LSD میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده هر سه عامل (آلودگی به سس، تلقیح خاک با باکتری حل‌کننده سیلیکات و کاربرد سیلیکات سدیم) و برهم‌کنش بین آن‌ها بر صفات اندازه‌گیری شده در بادمجان و سس زراعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده سیلیکات و سس بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رشدی بادمجان

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	محتوی سیلیس	محتوی لیگنین	فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز	فعالیت کاتالاز
سس (D)	۱	۲۹/۸۶**	۱/۵۳**	۲۲۱۷/۰۷**	۳۴۷/۹۷**	۲۳۸/۴۳**	۶۵۰۱۹۶/۴۴**
باکتری حل‌کننده سیلیکات (S)	۱	۱۲/۴۲**	۱/۸۴**	۱۲۱۰۳۰۳/۷۳**	۳۲۶/۹۸**	۱۲۴۵/۴۲**	۱۵۱۵۹۸/۳۷**
سیلیکات سدیم (N)	۱	۱۱/۸۲**	۰/۳۵**	۱۰۲۰۶۲۹/۱۷**	۷۲/۶۱**	۱۱۵/۸۷**	۱۰۸۵۲/۲۶**
D × S	۱	۲/۱۴**	۰/۰۱**	۲۰۲۴/۱۰**	۷/۵۸**	۱۱/۱۰**	۳۲۸۵۸/۰۰**
D × N	۱	۰/۱۹*	۰/۰۲**	۹۴/۸۵*	۱۶/۸۵**	۴/۹۵*	۲۹۷۳/۹۱**
S × N	۱	۰/۱۲*	۰/۰۱**	۱۲۳۵۳۵/۶۶**	۲/۳۴*	۲۴۴/۸۹**	۱۱۶/۴۹**
D × S × N	۱	۰/۱۰*	۰/۰۵**	۷۲۱۹۱/۲۹**	۳۹/۰۹**	۳/۹۲**	۸۸۱۱/۲۹**
خطا	۴۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۲۵/۲۱	۰/۴۸	۰/۷۶	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 لیپوکسیژناز	محتوی پراکسید هیدروژن	محتوی مالون دی آلدئید
سس (D)	۱	۲۳۹۸۱۷۹/۳۶**	۷۰۵۹۹/۲۸**	۵۷/۹۴**	۱۸/۲۲**	۱۵۹۳/۲۱
باکتری حل‌کننده سیلیکات (SSB)	۱	۵۱۶۵۳۸/۰۶**	۷۵۹۷/۸۱**	۳۳/۱۶**	۷/۹۳**	۳۲۹/۸۰**
سیلیکات سدیم (N)	۱	۱۷۰۷۰۱۸/۶۲**	۷۵۶/۰۴**	۲۳/۷۷**	۱/۶۲**	۶۱/۴۲**
D × S	۱	۳۲۰۱۶۹/۲۷**	۶۷/۵۴**	۰/۶۴**	۱/۰۲**	۷۵/۴۵**
D × N	۱	۱۶۸۴۲۸۴/۰۳**	۳۰۸/۷۶**	۰/۴۶**	۰/۱۹*	۱۱/۲۴**
S × N	۱	۲۳۴۷۲/۸۶**	۴۶۹/۱۲**	۰/۳۱*	۰/۱۲*	۴۳/۶۶**
D × S × N	۱	۳۹۳۴/۵۸	۱۴۸/۴۷**	۰/۲۸*	۰/۴۶**	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 معنی‌دار و معنی‌دار بودن به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک سس
باکتری حل‌کننده 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 معنی‌دار و معنی‌دار 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 حل‌کننده سیلیکات و عدم کاربرد سیلیکات سدیم (شاهد) وزن خشک اندام هوایی و ریشه بادمجان به ترتیب ۳/۴۹ و ۰/۸۷ گرم بدست 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 بدست 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 توام آن‌ها اثر هم‌افزایی در کاهش زیست توده سس مزرعه (۵۴ درصد) نشان داد و در نتیجه، به طور معنی داری باعث کاهش خسارت سس زراعی بر زیست توده بادمجان شد. به طوری که کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن توانست جبران کننده خسارت وارده از سوی این علف‌هرز 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 بدست 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 بیوسنتز کننده آن، فنیل آلانین آمونیالیز

در بادمجان غیر آلوده به سس زراعی، به واسطه کاربرد سیلیکات سدیم و تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز 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 توام سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده آن به طور معنی داری باعث افزایش محتوی لیگنین (۱۰۸ درصد) و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (۸۵ درصد) شد. تحت شرایط بدون تلقیح خاک با باکتری حل کننده سیلیکات و بدون کاربرد سیلیکات سدیم، به واسطه آلودگی بادمجان به سس زراعی محتوی لیگنین (۵۳ درصد) و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (۲۷ درصد) افزایش یافت، در مقایسه با تیمار شاهد.

فعالیت آنزیم‌های مهار کننده 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 حل کننده سیلیکات فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۹۸ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۷۶ درصد) و لیپوکسیژناز (۱۱۴ درصد) و با کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل کننده 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 حل کننده سیلیکات و بدون کاربرد سیلیکات سدیم، تمامی آنزیم‌های مهار کننده گونه‌های اکسیژن فعال بادمجان آلوده به

سس زراعی را به طور معنی‌داری واکنش نشان دادند. به طوری که به واسطه 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 دی آلدئید، نشانگرهای تنش اکسیداتیو

تحت شرایط بدون آلودگی بادمجان به سس زراعی، کاربرد سیلیکات سدیم محتوی مالون دی آلدئید (۴۱ درصد) را کاهش داد (جدول ۴). در مقابل، تلقیح خاک با باکتری حل‌کننده سیلیکات تأثیری بر محتوی مالون دی آلدئید نداشت. همچنین، کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن به طور معنی‌داری موجب کاهش محتوی پراکسید هیدروژن (۲۸ درصد) و محتوی مالون دی آلدئید (۳۹ درصد) شد. به واسطه آلودگی بادمجان به سس زراعی محتوی پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید به ترتیب به میان ۵۸ و ۹۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت که کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن موجب کاهش این مقادیر افزایش یافته شد. به طوری که تنش اکسیداتیو ناشی از سس با کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن برطرف شد.

جدول ۴. اثر سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رشدی بادمجان آلوده به سس.

سس	باکتری حل‌کننده 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	۰/۶۳ ^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 فیل آلانین - آمونیالیز (U/mg P)	فعالیت کاتالاز (U/mg P)	فعالیت پراکسیداز (U/mg P)
عدم آلودگی	عدم تلقیح	عدم کاربرد	۷/۴۵ ^d
	کاربرد	۹/۱۲ ^d	۴۱۹/۰۵ ^d
	تلقیح	۹/۹۰ ^{cd}	۴۶۰/۶۶ ^{de}
	کاربرد	۱۵/۵۲ ^{ab}	۴۸۹/۳۰ ^e
با آلودگی	عدم تلقیح	عدم کاربرد	۱۱/۴۲ ^c
	کاربرد	۱۴/۳۳ ^{bc}	۲۰۲۶/۱۰ ^b
	تلقیح	۱۹/۰۷ ^a	۱۶۴۵/۱۱ ^{bc}
	کاربرد	۱۸/۷۱ ^{ab}	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)
عدم آلودگی	عدم تلقیح	عدم کاربرد	۱۳/۴۳ ^d
	کاربرد	۶۵/۳۱ ^{cd}	۷/۹۰ ^e
	تلقیح	۷۵/۰۹ ^c	۷/۷۵ ^e
	کاربرد	۷۸/۳۳ ^c	۸/۱۱ ^e
با آلودگی	عدم تلقیح	عدم کاربرد	۲۶/۱۰ ^a
	کاربرد	۱۲۵/۴۵ ^b	۴/۷۳ ^a
	تلقیح	۳/۱۰ ^{bc}	۲/۱۲ ^d
	کاربرد	۲/۴۸ ^c	۲/۷۵ ^c

کاربرد	۱۳۱/۰۵ ^{ab}	۴/۴۲ ^b	۴/۰۵ ^b	۲۳/۲۹ ^b
عدم کاربرد	۱۵۵/۷۲ ^a	۴/۷۱ ^b	۳/۳۴ ^c	۱۷/۴۸ ^c
کاربرد	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 بدست آمده از اندازه‌گیری محتوی سیلیس در اندام هوایی بادمجان نشان داد که کاربرد توام سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده سیلیکات اثر هم‌افزایی در صفات اندازه‌گیری شده بویژه زیست‌توده بادمجان داشته است. به طور مشابه، اثر هم‌افزایی کاربرد سیلیکات و باکتری حل‌کننده 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 حل‌کننده سیلیکات ترکیبات اسیدی متعددی به محیط خاک رها می‌کنند که موجب آزاد شدن سریع سیلیس در آب خاک (Sari et al., 2022) و جذب بهتر آن به وسیله گیاهان (Joshi et al., 2023) می‌شوند. علاوه بر این، محققان گزارش کردند که تلقیح خاک با باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات‌ها نقش موثری در بهبود جذب سایر عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در باقلا (Hafez et al., 2021) و خردل هندی (Maleva et al., 2017) داشته است که موجب افزایش زیست توده آن‌ها شده است.

تغییرات فیزیولوژیکی مشابهی در ریحان (Ahmadi Mousavi et al., 2017) و تنباکو (Lukacova et al., 2019) آلوده به سس زراعی نیز گزارش شده است. آن‌ها گزارش کردند که تولید فنیل پروپانویدهای محلول و لیگنین همراه با فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل‌آلانیل آمونیالاز 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 میلی گرم پروتئین شد (تقریباً افزایش ۲ برابری) (Ahmadi Mousavi et al., 2017). به طور مشابه، آلودگی تنباکو به سس منجر به افزایش فعالیت کاتالاز از ۹۰ به ۳۷۰ واحد در میلی گرم پروتئین (تقریباً افزایش ۳ برابری) شد (Lukacova et al., 2019).

با توجه به یافته‌های بدست آمده از این تحقیق، اثر سیلیس به عنوان 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 داده است 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. به طور کلی، این تغییرات فیزیکی در گیاه میزبان آنرا به صورت مکانیکی در برابر رخنه مکینه سس مقاوم می‌سازد. محققان (Al-Gburi et al., 2019) در تحقیقی که باکتری حل‌کننده بکار برده نشده بود گزارش کردند که با کاربرد سیلیکات سدیم تجمع و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع، مانند پلی فنول اکسیداز، گلوکاناز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و فنیل‌آلانیل‌آمونیل‌آز 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 چغندرقد موثر 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 چغندرقد موثر گزارش شده است. علاوه بر این، سیلیس باعث کاهش آلودگی بیش از ۷۵ و ۳۵ درصدی به سس زراعی به ترتیب 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 به کار برده شده بود، ظهور سریع‌تری از گیاهچه‌های بادمجان (حدوداً ۱ تا ۲ روز) قابل مشاهده بود که می‌تواند گزارش قبلی (Ayed et al., 2022) در رابطه با تسریع

جوانه‌زنی بذر گندم دوروم پیش‌تیمار شده با سیلیکات سدیم را تایید کند. از طرفی دیگر، کاربرد سیلیس در گیاهان، افزایش تنظیم سیگنال‌های سیستمیک، مانند اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و اتیلن را نیز به همراه دارد (Datnoff and Rodrigues, 2013). همانطور که در بالا بیان شد، سیلیس به بهبود خواص مکانیکی و فیزیولوژیکی گیاهان کمک می‌کند تا بر تنش‌های غیرزیستی از جمله علف‌کش‌ها نیز غلبه کند. تحقیقات قبلی نشان داده است که سیلیس می‌تواند گیاهسوزی ناشی از علف‌کش‌های فنوکسپروپ-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 افزایش یافته گیاهان در برابر علف‌کش‌ها به واسطه 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 بر بادمجان را 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 ناسازگار در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که تحت شرایط عدم آلودگی به سس، کاربرد سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده سیلیکات‌ها به تنهایی و توأم توانست زیست توده بادمجان را به طور معنی‌داری افزایش دهد. همچنین، تحت شرایط آلودگی به سس، کاربرد سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن به تنهایی به طور معنی‌داری باعث کاهش خسارت سس به بادمجان شد. کاربرد توأم آن‌ها نیز اثر هم‌افزایی نشان داد. به طوری که کاربرد توأم سیلیکات سدیم و باکتری حل‌کننده آن توانست جبران‌کننده خسارت وارده از سوی این علف‌هرز انگلی به زیست توده بادمجان باشد. از این رو، پیشنهاد می‌شود با اجرای آزمایشات تکمیلی و تایید نتایج حاصل از این آزمایش در شرایط مزرعه‌ای، کاربرد سیلیس هم به منظور افزایش عملکرد و هم به منظور کاهش خسارت سس توصیه شود.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های اجرایی این پژوهش توسط حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا همدان تامین گردید که بدین وسیله صمیمانه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- علی‌وردی، اکبر و کرمی، سمیرا. (۱۴۰۳). تاثیر سیلیکات‌ها و باکتری حل‌کننده آنها بر رشد و عملکرد گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) *Taub (L.)*. تولیدات گیاهی، ۴۷(۴): ۵۱۱-۵۲۱. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.47097.2176>
- قاسمی، کامران؛ قاجارسپانلو، مهدی و حدادی نژاد، مهدی. (۱۳۹۹). تأثیر تغذیه سیلیسیومی بر رشد و باردهی توت‌فرنگی رقم کاماروسا درکشت هیدروپونیک در شرایط فضای باز. *تولیدات گیاهی*، ۴۳(۱): ۹۳-۱۰۶. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.26611.1634>
- نیا‌بال، مهدی؛ کلاته جاری، سپیده؛ فاتحی، فواد و دیانت، مرجان. (۱۴۰۱). اثر سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه پوششی چمن شیدری (*Dichondra repens*) در شرایط تنش کم‌آبی. *تولیدات گیاهی*، ۴۵(۴): ۵۰۵-۵۱۷. <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.38291.2061>
- 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.
- Alves, D. M. R., de Oliveira, J. N., de Mello Prado, 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.). Ministry of Jahad-e-Agriculture, pp. 45.
- 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., Datnoff, L. (eds) *Silicon and Plant Diseases*. p. 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., & Gawayed, 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, 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., & De Vleeschauwer, 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: 15.
- 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>

Effect of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria on the physiological and growth traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under dodder (*Cuscuta campestris* Yunck.) infestation conditions

Extended Abstract

Introduction

Approximately 4200 species of flowering plant parasites have been identified worldwide, which are classified into 274 different genera. Meanwhile, only 30 genera are considered parasitic weeds in the agricultural sector. Also, the most harmful parasitic weeds are in the genera *Cuscuta*, *Arceuthobium*, *Orobanche*, and *Striga*. In the *Cuscuta* genus, *Cuscuta* (*Cuscuta campestris* Yunck.) is the most troublesome parasitic weed due to its wide geographical distribution around the world, wide host range, and ineffective control options. *Cuscuta* species, commonly known as dodder, can parasitize a wide range of agricultural and garden plants, as well as some weeds. Without roots and leaves, dodder plants are unable to photosynthesize. Instead, they develop root-like structures called haustoria that penetrate the host plant's vascular tissues, to uptake water, nutrients, and other essential molecules. This parasitic activity significantly reduces the growth and productivity of the host plant. Previous studies have shown that field contamination with *Cuscuta* can reduce crop yields. For example, in sugar beet, root sugar content can decrease by 2.6%, and in eggplant, fruit yield can decline by 40%. Eggplant (*Solanum melongena* L.), an annual plant native to India, is cultivated in tropical and subtropical regions worldwide for its edible fruit. Eggplant is nutritionally comparable to tomatoes. In 2022, global production of eggplant reached 59.3 million tons, harvested from 1.9 million hectares. In Iran, 596 thousand tons of eggplant fruit have been harvested from 20 thousand hectares. Silicon is an essential element in plant nutrition and plays an effective role in tolerance to biotic and abiotic stresses. It is mainly found in the form of silicates in the soil but plants can absorb it in the form of silicic acid. Recently, the ability of silicate-solubilizing bacteria to convert silicates into silicic acid has been proven. While reducing the consumption of silicate fertilizers, they have provided better absorption of silicon and even other nutrients in crops. The study aimed to investigate the affectability of the interaction of eggplant-dodder (biotic stress) using sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria.

Materials and Methods

The pot study was carried out in the research greenhouse of Bu-Ali Sina University in 2022 as a three-factor factorial (2×2×2) based on a completely randomized design with six replications. The first factor included the infection of eggplant with dodder in two levels: with and without infection. The second factor included the application of sodium silicate at two levels, zero and 100 mg of sodium silicate per kg of soil. The third factor included soil inoculation with a commercial silicate-solubilizing bacteria at two levels, zero and 10 ml per kg of soil. Two months after eggplant emergence, some growth and physiological traits of eggplant and dodder were evaluated.

Results and Discussion

The results showed a synergistic effect in the co-application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria. When eggplant was not infected with dodder, the combined application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria significantly increased shoot dry weight (73%), root dry weight (74%), and silicon content (229%), lignin content (108%), phenylalanine ammonia-lyase activity (85%), catalase activity (83%), peroxidase activity (11%), superoxide dismutase activity (84%), and lipoxygenase activity (218%) but decreased the H_2O_2 content (28%) and malondialdehyde (39%). When the soil was treated with sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria, the infection of eggplant with dodder caused a decrease in shoot dry weight (32%), root dry weight (41%), and silicon content (28%) and an increase in lignin content (53%), phenylalanine ammonia-lyase activity (27%), catalase activity (214%), peroxidase activity (202%), superoxide dismutase activity (194%), lipoxygenase activity (156%), H_2O_2 content (58%) and malondialdehyde content (94%). The production of lignin with an increase in the activity of peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase during the interaction of dodder with eggplant leads to an increase in their connection with other cell wall components. These biochemical changes along with the physical changes of the cuticle of the host plant resulted in a modified cell wall, making it resistant to the penetration of the parasite.

Conclusion

The co-application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria synergistically reduced the dodder biomass. So the co-application of sodium silicate and silicate-solubilizing bacteria could compensate for the damage caused by this parasitic weed to eggplant biomass.