چغندرقند/ جلد ۳۹/ شماره ۲/ ۱۴۰۲

بررسی امکان مؤثر بودن کاربرد سیلیس در مقاومت چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) به سس زراعی (*Cuscuta campestris* Yunck.) در شرایط گلخانه

Investigating the possibility of effective application of silicon in the resistance of sugar beet (Beta vulgaris L.) to field dodder (Cuscuta campestris Yunck.) under greenhouse condition

اکبر علی‌وردی[1]* و فرشته جلیلی‌فرد[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱

نوع مقاله: کوتاه

DOI:10.22092/JSB.2024.364918.1345

ا. علی وردی و ف. جلیلی‌فرد. ۱۴۰۳. بررسی امکان مؤثر بودن کاربرد سیلیس در مقاومت چغندرقند (**Beta vulgaris L.)** به سس زراعی (**Cuscuta campestris Yunck.)** در شرایط گلخانه. **چغندرقند، ۳۹(۲): ۲۵۲- ۲۴۳.**

چکیده

پژوهش حاضر جهت بررسی کاربرد سیلیس بر روی چغندرقند به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار در اواخر بهار ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان بر روی «رقم شکوفا» اجرا شد. فاکتور اول شامل غلظت سیلیس در پنج سطح ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ میلی‌مول در شکل سیلیکات سدیم و فاکتور دوم شامل روش کاربرد سیلیس در سه سطح پیش‌تیمار بذر، آبیاری و محلول‌پاشی در مراحل رشد ۱، ۳ و ۵ برگی چغندرقند بود. نتایج حاکی از وجود اثر متقابل میان فاکتورها بر وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی چغندرقند و وزن خشک و تعداد مکینه سس زراعی بود. یک بوته سس زراعی توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی یک بوته چغندرقند را به‌ترتیب ۴۸/۶ و ۴۰/۱ درصد کاهش دهد. صفات اندازه‌گیری شده در چغندرقند و سس زراعی تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر با سیلیس قرار نگرفتند. میان وزن خشک چغندرقند و وزن خشک سس زراعی رابطه‌ای منفی مشاهده شد. کاربرد یک میلی‌مولار سیلیس با هر سه روش کاربرد تأثیری بر صفات اندازه‌گیری شده در چغندرقند و سس زراعی نداشت. با افزایش غلظت سیلیس به‌کار رفته از طریق آبیاری و محلول‌پاشی به‌طور پیوسته وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی چغندرقند افزایش ولی وزن خشک و تعداد مکینه سس زراعی کاهش یافت. کمترین تعداد مکینه با کاربرد پنج میلی‌مولار سیلیس از طریق آبیاری و محلول‌پاشی مشاهده شد که منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی در تعداد میکنه سس زراعی شد. برتری نسبی روش کاربرد سیلیس از طریق آبیاری در مقایسه با روش کاربرد سیلیس از طریق محلول‌پاشی کاملاً مشهود بود. از این‌رو، با اجرای آزمایشات تکمیلی و تایید نتایج حاصل از این آزمایش در مزرعه، کاربرد سیلیس، به‌ویژه از طریق آبیاری، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مفید جهت کاهش خسارت سس در مزرعه باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش، چغندرقند، سس، سیلیکات سدیم، مکینه

۱- دانشیار علوم علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. *- نویسنده مسئول a.aliverdi@basu.ac.ir

۲- کارشناس ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

مقدمه

برخی از علف‌های هرز، گیاهان گل‌داری هستند که زندگی انگلی دارند. گیاهان انگلی تقریباً با ۴۲۰۰ گونه در ۲۷۴ جنس طبقه‌بندی می‌شوند که تقریباً بیش از یک درصد از کل گیاهان گل‌دار را تشکیل می‌دهند. تنها ۳۰ جنس از جنس‌های گیاهان انگلی به‌عنوان انگل گیاهان زراعی در نظر گرفته می‌شوند. با این وجود، خسارت‌زاترین آنها توسط گونه‌هایی از جنس‌های سس (*Cuscuta*)، داروواش کوتوله (*Arceuthobium*)، گل‌جالیز (*Orobanche*) و علف جادو (*Striga*) ایجاد می‌شود (Saric-Krsmanovic *et al.* 2019). جنس سس در تیره‌ی (*Convolvulaceae*) طبقه‌بندی شده و شامل بیش از ۱۷۰ گونه است که ۱۸ گونه از آنها در ایران گزارش شده است. در این میان سس زراعی (*Cuscuta campestris* Yunck.) جزو خسارت‌زاترین گونه سس در ایران محسوب می‌شود (Fallahpour *et al*. 2013).

پراکنش جغرافیایی بسیار وسیع در دنیا، دامنه‌ی میزبانی بالا از تیره‌های مختلف گیاهی و ناکارآمدی روش‌های کنترل سس زراعی سبب شده است تا این علف‌هرز انگلی به خسارت‌زاترین گونه انگلی تبدیل گردد (Azami-Sardooei *et al*. 2018; Lukacova *et al*. 2019). سس زراعی قادر است بسیاری از گیاهان زراعی (یا حتی علف‌های هرز) از تیره‌های مختلفی را انگلی کند (Najafi *et al*. 2022). آنها فاقد ریشه و برگ هستند و توانایی فتوسنتزی ندارند. در عوض، ساختارهای ریشه‌مانندی به نام مکینه دارند. این اندام به‌عنوان پل ساختاری و فیزیولوژیکی برای سس زراعی عمل می‌کند تا آب، موادمعدنی و مولکول‌های آلی را از سیستم‌های آوندی گیاه میزبان جذب کند که منجر به رشد شدید میزبان و کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Yoshid *et al*. 2016). خسارت ناشی از سس زراعی بر گیاهان زراعی عمدتاً شامل کاهش زیست توده و عملکرد آنها است. محققان کاهش ۵۰ درصدی تولید بذر توسط یونجه بذری (Mishra 2009)، کاهش ۶۰ درصدی در عملکرد علوفه یونجه (Cudney *et al*. 1992)، کاهش ۳۰ درصدی در عملکرد ریشه هویج(Konieczka *et al*. 2009)، کاهش ۴۰ درصدی عملکرد میوه بادمجان (Al-Gburi *et al*. 2019) را با آلودگی مزرعه به سس زراعی گزارش کردند.

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) گیاهی میزبان برای سس مزرعه است که به‌صورت گیاهی یکساله جهت استحصال شکر کشت و کار می‌شود. در سال ۱۴۰۲، تقریباً ۴/۳ میلیون هکتار از اراضی جهان زیرکشت چغندرقند رفته است که نتیجه آن تولید حدوداً ۲۶۱ میلیون تن ریشه چغندرقند بوده است. سهم ایران در همین سال، کشت تقریباً ۹۰ هزار هکتار با برداشت بیش از پنج میلیون تن ریشه بوده است (Anonymous 2022). محققان گزارش کردند که وزن ریشه چغندرقند آلوده به تراکم‌های مختلف سس زراعی بین ۲۳ تا ۴۱ درصد و میزان قند آن بین ۱/۳ تا ۲/۶ درصد کاهش می‌یابد (Stojsin *et al*. 1991). نتایج حاصل از تحقیقی در میاندوآب نشان داد که عملکردریشه چغندرقند و درصد قند آن با آلودگی مزرعه به سس زراعی به‌ترتیب ۳۰ و ۲/۱ درصد کاهش یافت (Sohrabi *et al*. 2001). نتایج حاصل از تحقیقی در چناران نشان داد که سس مزرعه باعث شد تا عملکردریشه چغندرقند به میزان ۱۵ درصد و درصد قند به میزان یک درصد کاهش یابد (Amir Moradi *et al*. 2011). نتایج حاصل از تحقیقی در ارومیه نشان داد که حضور سس مزرعه در مزرعه چغندرقند باعث کاهش ۲۵ درصدی عملکردریشه و ۱/۸ درصدی در محتوی قند ریشه‌های آن شد (Jafarzadeh *et al*. 2015). در تحقیقی دیگر، عملکردریشه چغندرقند در مزرعه غیرآلوده به سس زراعی برابر ۷۹/۵ تن در هکتار ولی در مزرعه آلوده به سس زراعی برابر ۵۷/۳ تن در هکتار اندازه‌گیری شده است (Üstüner 2018).

سیلیس، پس از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در پوسته زمین است ولی برای رشد و نمو گیاهان ضروری نیست. با این

وجود، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سیلیس برای گیاهان، به‌ویژه تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی، مفید است. در واقع، سیلیس اثرات سمّی ناشی از تنش‌های غیرزیستی مثل تنش شوری (AlKahtani *et al*. 2021)، خشکی (Namjoyan *et al*. 2020)، علف‌کشی (Jain *et al*. 2021) و فلزات سنگین (Kabir *et al*. 2021) را کاهش می‌دهد و نیز به‌عنوان یک عامل بازدارنده در برابر گیاهخواری حشرات (Islam *et al*. 2020)، عوامل بیماری‌زا (Wang *et al*. 2017) و علف‌های هرز انگلی (Madany *et al*. 2020) نقش ایفا می‌کند. نقش محافظتی سیلیس در برابر تنش زیستی در ابتدا به‌صورت مانع فیزیکی که دیواره سلولی را تقویت می‌کند، نسبت داده شد ولی مطالعات بیشتر نشان داد که سیلیس مقاومت بیوشیمیایی گیاهان را نیز تقویت می‌کند (Wang *et al*. 2017).

اگرچه در اندک مطالعات قبلی نشان داده شده است که مقاومت بادمجان (Al-Gburi *et al*. 2019) و توتون (Lukacova *et al*. 2019) به سس زراعی با کاربرد سیلیس افزایش می‌یابد، اما تاکنون مطالعه‌ای در این رابطه بر روی سایر گیاهان زراعی ازجمله چغندرقند انجام نگرفته است. با توجه به خلاء علمی ذکر شده در بالا و نیز وجود گزارشی مبنی بر بهبود بیش از ۲۰ درصدی در عملکرد چغندرقند از طریق محلول‌پاشی با سیلیس تحت شرایط بدون‌تنش زیستی و غیرزیستی (Siuda *et al*. 2024)، پژوهش حاضر با هدف بهبود مقاومت چغندرقند در برابر سس زراعی با سیلیس انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار در اواخر بهار ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان، بر روی رقم چغندرقند «شکوفا» انجام شد. عامل نخست شامل غلظت سیلیس در پنج سطح ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ میلی‌مول سیلیس در آب‌مقطر بود. سیلیس به شکل محلول سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) مرک استفاده شد. عامل دوم شامل روش کاربرد سیلیس در سه سطح ۱) پیش‌تیمار بذر، ۲) آبیاری و ۳) محلول‌پاشی بوته بود. از آنجا که در پیش‌تیمار بذر با سیلیس، اثر سیلیس بر بذر توأم با اثر خیساندن بذر در آب است، از اینرو، بذرها در سطح پیش‌تیمار بذر درون محلول آب مقطر + سیلیس ولی بذرهای مربوط به سطوح دیگر (آبیاری و محلول‌پاشی) درون محلول آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگه‌داری شدند. پس از خارج کردن بذرها از محلول‌ها، آنها بر روی کاغذصافی قرار گرفتند تا به‌طور سطحی خشک شوند. تعداد چهار بذر در عمق حدوداً یک سانتی‌متری در هر گلدان پلاستیکی با مقطع مربعی (طول ۱۷ × عرض ۱۷ × ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر) پر شده با سه کیلوگرم خاک کشت شد. خاک استفاده شده از نظر طبقه‌بندی، لوم شنی با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی زیر بود: ۱۲/۲ درصد رس، ۲۷/۲ درصد سیلت، ۶۰/۵ درصد شن، ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر هدایت الکتریکی، ۷/۶ اسیدیته، یک درصد ماده‌آلی، ۲۷/۵ پی‌پی‌ام فسفر، ۳۶۸/۲ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۰/۱ درصد نیتروژن کل. گلدان‌ها در گلخانه تحت نور طبیعی با حدوداً ۱۲ ساعت نور آفتاب قرار گرفتند.

جهت حفظ یکنواختی شرایط در رشد، هر هفته گلدان‌ها تغییر محل داده می‌شدند، هر سه روز یک بار نیز و هر بار به میزان یکنواخت گلدان‌ها آبیاری شدند و بلافاصله پس از سبزشدن، به دو بوته در هر گلدان تنک شدند. در کاربرد سیلیس از طریق آبیاری، ۵۰ میلی‌لیتر از محلول‌های سیلیس ذکر شده در بالا در مراحل رشدی ۱، ۳ و ۵ برگی چغندرقند به هر گلدان اضافه شد. در کاربرد سیلیس از طریق محلول‌پاشی بوته، محلول‌های سیلیس ذکر شده در بالا در مراحل رشدی ۱، ۳ و ۵ برگی چغندرقند با استفاده از سمپاش دستی فشاری مجهز شده به نازل بادبزنی لبه یکنواخت E11002 و تنظیم شده روی فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال به حدی پاشیده شدند که تمام سطوح بوته‌ها

کاملاً خیس گردد. قبل از پاشیدن محلول‌ها، مویان غیریونی (ترند-۹۰) با غلظت یک در هزار به آنها اضافه شد. یک تیمار شاهد شامل چغندرقند بدون‌آلودگی به سس نیز جهت مقایسه در نظر گرفته شدند که در آنها بذرها درون آب مقطر پیش‌تیمار شده بود.

وقتی بوته‌های چغندرقند در مرحله دو برگی بودند، تعداد ۱۰ بذر سس زراعی در هر گلدان در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کشت شد. بذرهای سس زراعی در تابستان سال پیش از مزارع آلوده به این انگل در منطقه همدان جمع‌آوری شده بودند و پیش از کشت، با اسید سولفوریک (۹۸ درصد) به مدت پنج دقیقه تیمار شدند و پس از شستشوی آنها با آب مقطر، بر روی کاغذصافی قرار داده شدند تا به‌طور سطحی خشک شوند. با بازرسی مداوم و بلافاصله پس از سبز شدن گیاهچه‌های سس زارعی، آنها به دو بوته در هر گلدان تنک شدند. در طول آزمایش، دما و رطوبت نسبی گلخانه به ترتیب بین ۱۸ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و ۴۲ تا ۶۱ درصد اندازه‌گیری شد.

شصت روز پس از کاشت، وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی چغندرقند و وزن خشک سس زراعی پس از خشک کردن در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت توزین گردید. همچنین، در هر گلدان، تعداد مکینه سس زراعی رخنه کرده به اندام‌های هوایی چغندرقند در زمان برداشت شمارش شدند.

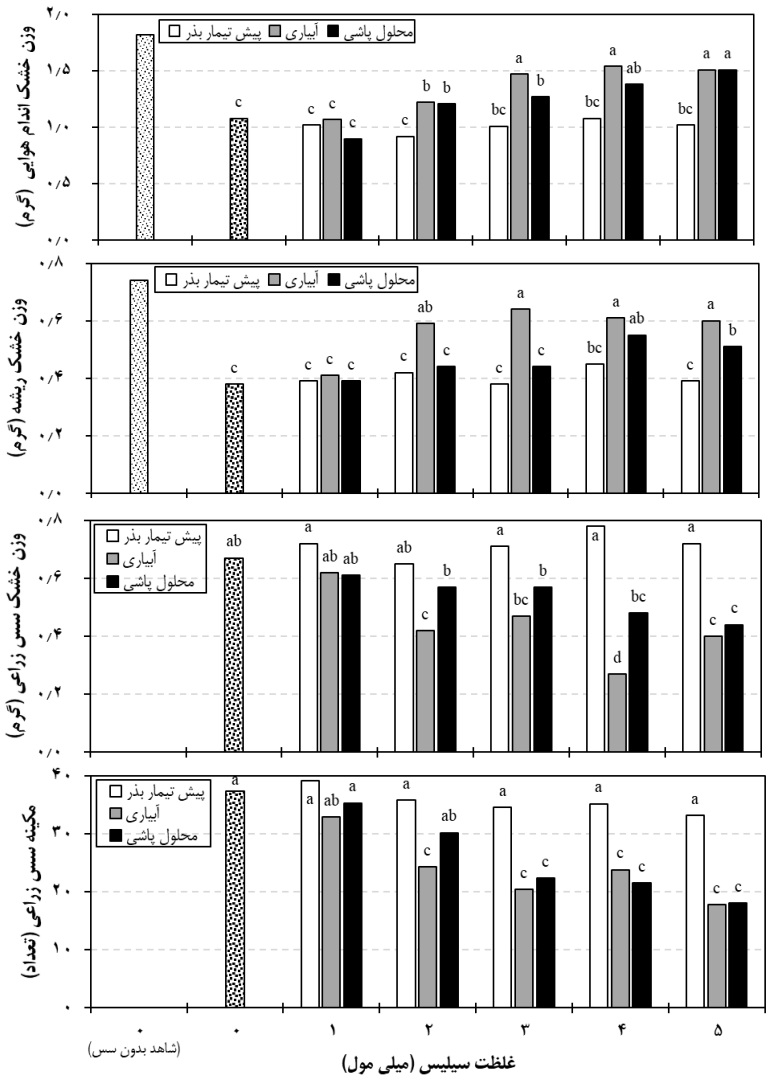
تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تجزیه واریانس در محیط نرم‌افزار SAS انجام گرفت. میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده هر دو فاکتور (غلظت و روش کاربرد سیلیس) و اثر متقابل بین آنها بر صفات اندازه‌گیری‌شده در چغندرقند و سس زراعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). وزن خشک اندام‌هوایی چغندرقند از ۱/۸۲ گرم در شاهد بدون‌آلودگی به سس زراعی به ۱/۰۹ گرم در شاهد با آلودگی به سس زراعی کاهش یافت. این در حالی بود که وزن خشک ریشه چغندرقند از ۰/۷۴ گرم در شاهد بدون‌آلودگی به سس زراعی به ۰/۳۸ گرم در شاهد با آلودگی به سس زراعی کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که یک بوته سس زراعی می‌تواند وزن اندام‌هوایی و ریشه یک بوته چغندرقند را به‌ترتیب ۴۰/۱ و ۴۸/۶ درصد کاهش دهد (شکل ۱).

جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس تاثیر غلظت سیلیس و روش کاربرد آن بر زیست توده چغندرقند و سس

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک اندام هوایی چغندرقند	وزن خشک ریشه چغندرقند	وزن خشک سس	تعداد مکینه سس
غلظت سیلیس (A)	۵	۰/۳۱**	۰/۰۶**	۰/۰۷**	۵۱۱/۹۲**
روش کاربرد سیلیس (B)	۲	۰/۶۸**	۰/۱۴**	۰/۴۳**	۸۷۴/۹۰**
A × B	۱۰	۰/۰۹**	۰/۰۱**	۰/۰۴**	۶۷/۷۳**
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۳۷	۳/۵۵	۲/۵۰	۳/۱۴
** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد طبق آزمون توکی					



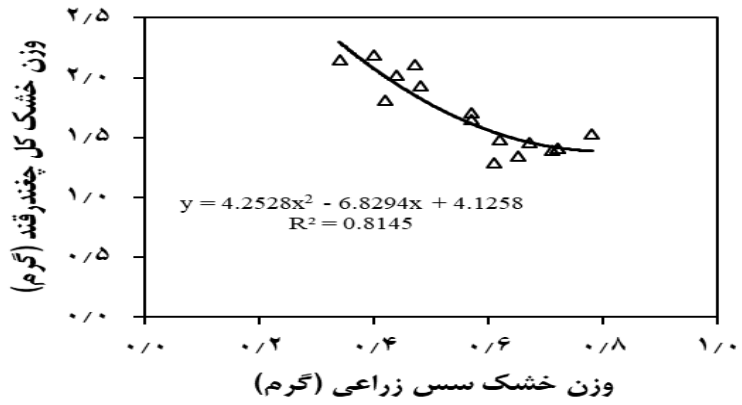
شکل ۱ تأثیر روش و غلظت کاربرد سیلیس بر زیست توده چغندرقند و سس و تعداد مکینه سس رخنه کرده به بافت‌های چغندرقند. در هر شکل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک طبق آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری ندارند.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که صفات اندازه‌گیری‌شده در چغندرقند و سس زراعی تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر با سیلیس قرار نگرفتند. با پیش‌تیمار بذر با غلظت‌های مختلف سیلیس، تغییرات در وزن خشک اندام‌هوایی چغندرقند بین ۰/۹۴ تا ۱/۰۸ گرم، وزن خشک ریشه چغندرقند بین ۰/۳۸ تا ۰/۴۵ گرم، وزن خشک سس زراعی بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۸ گرم و تعداد مکینه بین ۳۳/۲ تا ۳۹/۱ مکینه بود. مقادیر مذکور با شاهد آلوده به سس زراعی نیز تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین، نتایج نشان داد که کاربرد سیلیس در غلظت یک میلی‌مولار با هر سه روش کاربرد تأثیری بر صفات اندازه‌گیری شده چغندرقند و سس زراعی نداشت. کاربرد سیلیس در غلظت ۲ میلی‌مولار از طریق آبیاری و محلول‌پاشی بوته به‌طور معنی‌داری (بیش از ۱۰ درصد) وزن خشک اندام‌هوایی چغندرقند را در مقایسه با غلظت یک میلی‌مولار افزایش داد. با افزایش غلظت سیلیس به‌کار رفته از طریق آبیاری و محلول‌پاشی بوته به‌طور پیوسته وزن خشک اندام‌هوایی چغندرقند افزایش پیدا کرد. در رابطه با صفت وزن خشک اندام‌هوایی چغندرقند، تنها در غلظت ۳ میلی‌مولار، بین روش کاربرد سیلیس از طریق آبیاری و محلول‌پاشی بوته تفاوت معنی‌داری به نفع روش کاربرد از طریق آبیاری مشاهده شد. برتری نسبی روش کاربرد سیلیس از طریق آبیاری در مقایسه با

روش کاربرد سیلیس از طریق محلول‌پاشی بوته بر وزن خشک ریشه کاملاً مشهود بود. به‌طوری که کاربرد سیلیس در غلظت ۲ میلی‌مولار از طریق آبیاری به‌طور معنی‌داری (۳۰/۵ درصد) وزن خشک ریشه چغندرقند را در مقایسه با غلظت یک میلی‌مولار افزایش داد. در حالی که کاربرد سیلیس در غلظت ۴ میلی‌مولار از طریق محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری (۲۹/۱ درصد) وزن خشک ریشه چغندرقند را در مقایسه با غلظت یک میلی‌مولار افزایش داد. کاربرد سیلیس در غلظت ۲ میلی‌مولار از طریق آبیاری و محلول‌پاشی بوته به‌طور معنی‌داری وزن خشک سس زراعی را در مقایسه با غلظت یک میلی‌مولار کاهش داد. بیشترین کاهش در وزن خشک سس زراعی با کاربرد سیلیس در غلظت ۴ میلی‌مولار از طریق آبیاری مشاهده شد؛ به‌طوری که تیمار مذکور باعث کاهش ۵۹/۷ درصدی در وزن خشک سس زراعی در مقایسه با شاهد شد. به‌طور کلی، در این صفت نیز برتری نسبی با روش کاربرد سیلیس از طریق آبیاری بود. با افزایش غلظت سیلیس به کار رفته در روش‌های کاربرد از طریق آبیاری و محلول‌پاشی بوته به‌طور پیوسته تعداد مکینه سس زراعی کاهش یافت. کمترین تعداد مکینه با کاربرد سیلیس ۵ میلی‌مولار مشاهده شد که منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی در تعداد میکنه سس زراعی شد. یک رابطه منفی میان وزن خشک کل چغندرقند و وزن خشک سس زراعی وجود داشت که با کمک تابع چند جمله‌ای (۱):

$$Y = 4.2528x^2-6.8294x+4.1258 \quad (۱)$$

با ضریب همبستگی $R^2 = 0.8145$ قابل توصیف است (شکل ۲).



شکل ۲ رابطه میان وزن خشک کل (ریشه + اندام هوایی) چغندرقند و وزن خشک سس زراعی که براساس داده‌های شکل ۱ رسم شده است

بحث

اگرچه گزارشی مبنی بر افزایش عملکرد چغندرقند با سیلیس وجود دارد (Siuda *et al*. 2024)، اما سیلیس به‌عنوان یک ماده غذایی غیر ضرور برای گیاهان در نظر گرفته می‌شود. سیلیس به شکل $Si(OH)_4$ جذب و با کمک دو ناقل Lsi1 و Lsi2 از غشای پلاسمایی عبور کرده و در گیاه تا حدودی منتقل می‌شود. با این وجود سیلیس جذب شده عمدتاً در دیواره‌های سلولی رسوب می‌کند (Wang *et al*. 2017). سیلیس به بهبود خواص مکانیکی و فیزیولوژیکی گیاهان کمک می‌کند تا بر بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی غلبه کند (Etesami and Jeong 2018). بررسی منابع نشان می‌دهد که سیلیس در کاهش هجوم دو گونه کرم برگخوار چغندرقند (*Spodoptera littoralis* و *Spodoptera exigua*) مؤثر گزارش شده است (Amine *et al*. 2022; Yarahmadi et al. 2022). همچنین، سیلیس در کاهش قدرت عفونت‌زایی عوامل بیماری‌زایی سفیدک پودری (*Erysiphe betae*) (Shabrawy and Rabboh 2020) و مرگ گیاهچه (*Rhizoctonia solani*) (Yassin 2015) در چغندرقند مؤثر گزارش شده است. علاوه بر این،

می‌شود که دیواره سلولی از این طریق اصلاح شده مانع از نفوذ سس به گیاه میزبان می‌شود (Svubova *et al*. 2017).

تحقیقات قبلی بر روی بادمجان نشان داده است که با کاربرد سیلیس تجمع و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع، مانند پلی‌فنول‌اکسیداز، گلوکاناز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و فنیل‌آلانین‌آمونیاک‌لیاز مرتبط افزایش می‌یابد (Al-Gburi *et al*. 2019). از این‌رو، این تغییرات بیوشیمیایی در گیاه میزبان آنرا به صورت مکانیکی در برابر رخنه مکینه گیاهخوار مقاوم می‌سازد.

کاربرد سیلیس در گیاهان تنظیم سیگنال‌های سیستمیک، مانند اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و اتیلن را نیز به همراه دارد (Ghareeb *et al*. 2011; Ye *et al*. 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 فنوکساپروپ‌پی‌اتیل روی گندم (Saudy and Mubarak 2015)، پندیمتالین روی زنجبیل (Li *et al*. 2022)، گلایفوسیت روی گوجه‌فرنگی (Soares *et al*. 2021)، بوتاکلر روی برنج(Tripthi *et al*. 2020) و مت‌سولفورون متیل روی گندم (Jain *et al*. 2021) را کاهش دهد. این ایمنی افزایش یافته 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 سیلیس می‌تواند تا حدی خسارت سس زراعی بر چغندرقند را کاهش دهد، اما لازم است با اجرای آزمایش تکمیلی در مزرعه اطلاعات بیشتری در ارتباط با اثرات سیلیس به‌دست آورد. همچنین، ممکن است کاربرد سیلیس باعث کاهش کارایی علف‌کش‌های اختصاصی چغندرقند علیه سایر 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. به‌طور مشابه، در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که سیلیس به‌کار رفته از طریق آبیاری و محلول‌پاشی توانست باعث بهبود مقاومت چغندرقند به سس زراعی شود. اما استفاده از طریق پیش‌تیمار کردن بذر، تأثیری در این رابطه نداشت. علت این عدم‌تأثیر روش پیش‌تیمار بذر با سیلیس می‌تواند، عدم حضور مقدار کافی از سیلیس در سلول‌های اپیدرمی برگ باشد (Wang *et al*. 2017). به همین دلیل، کاربرد سیلیس در روش‌های آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت مستمر در چند مرحله رشدی چغندرقند انجام گرفت.

تأثیر سیلیس به‌عنوان یک عامل بازدارنده در برابر گیاهخواری را می‌توان با دو ساز وکار 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 (Ma and Yamaji 2008) می‌شود. به‌طور کلی، این تغییرات فیزیکی در گیاه میزبان آنرا به‌صورت مکانیکی در برابر رخنه مکینه گیاهخوار مقاوم می‌سازد. محققان یک برنامه دفاعی در گیاه میزبان در برابر گیاه انگل را شناسایی کردند. وقتی گیاه میزبان مورد حمله سس قرار گیرد، شروع به ترشح فنیل پروپانوئیدهای محلول می‌کند و تجمع و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع را نیز افزایش می‌دهد. این آنزیم‌ها برای پیوند فنیل پروپانوئیدها با سایر اجزای دیواره سلولی مانند پروتئین‌ها، پکتین‌ها یا رشته‌های سلولزی حائز اهمیت هستند، زیرا تصور

که منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی در تعداد میکنه سس زراعی شد. برتری نسبی روش کاربرد سیلیس از طریق آبیاری در مقایسه با روش کاربرد سیلیس از طریق محلول‌پاشی کاملاً مشهود بود. از اینرو، کاربرد سیلیس، به‌ویژه از طریق آبیاری، به‌منظور کاهش آلودگی چغندرقند به سس زراعی نتیجه‌بخش بود که پس از تأیید نتایج در بررسی‌های مزرعه‌ای و در صورتی که سیلیس به‌عنوان ایمن‌ساز برای علف‌های هرز در برابر علف‌کش‌های اختصاصی عمل نکند، می‌تواند قابل توصیه باشد.

علف‌های هرز نیز شود. لذا، ضرروی است این موضوع نیز در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش غلظت سیلیس از یک به ۵ میلی‌مول به‌کار رفته از طریق آبیاری و محلول‌پاشی به‌طور پیوسته وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی چغندرقند افزایش ولی وزن خشک و تعداد مکینه سس زراعی کاهش یافت. کمترین تعداد مکینه با کاربرد ۵ میلی‌مولار سیلیس از طریق آبیاری و محلول‌پاشی مشاهده شد

منابع مورد استفاده:

References:

Al-Gburi BKH, Al-Sahaf FH, Al-fadhal FA, Mohammed AE, Del-Monte JP. Effect of different control methods on *cuscuta campestris*, and growth and productivity of eggplant (*solanum melongena*). Plant Archives. 2019; 19: 461–469. **doi:10.1016/j.jssas.2021.01.007.**

AlKahtani MDF, Hafez YM, Attia K, Rashwan E, Husnain LA, AlGwaiz HIM, Abdelaal KAA. Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. Antioxidants. 2021; 10: 398. **doi:10.3390/antiox10030398.**

Amine HM, Hamed SA, Anbar HA, Shalaby GA, Khazal NM, Abd ElRahman HA. 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. 2022; 10: 55–60. **doi:10.22271/j.ento.2022.v10.i3a.9011.**

Amir Moradi S, Rezvani Moghaddam P, Abdollahian-noghabi M. Effect of *Cuscuta* (*dodder*) on quality and quantity traits of sugar beet in Chenaran, Khorasan Razavi province. Iranian Journal of Field Crops Research. 2011; 8: 965–974. **doi:10.22067/GSC.V8I6.8044.** [In Persian]

Azami- Sardooei Z, Shahreyarinejad S, Rouzkhosh M, Fekrat F. The first report on feeding of Oxycarenus hyalinipennis and Aphis fabae on dodder Cuscuta campestris in Iran. Journal of crop Protection. 2018; 7: 121-124. [In Persian]

Cudney DW, Orloff SB, Reints JS. An integrated weed management for the control of dodder (*Cuscuta indecora*) in alfalfa (*Medicago sativa*). Weed Technology. 1992; 6: 603–606. **doi:10.1017/S0890037X00035879.**

Etesami H, Jeong BR. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018; 147: 881–896. **doi:10.1016/j.ecoenv.2017.09.063.**

Anonymous. 2024. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (accessed 21 Jan. 2024)

Fallahpour F, Koocheki A, Nasiri Mahalati M, Falahati Rastegar M. Evaluation of tolerance in sugar beet varieties to dodder. Iranian Journal of Field Crops Research. 2013; 11: 208–214. **doi:10.22067/GSC.V11I2.26130.** [In Persian]

Ghareeb H, Bozsó Z, Ott PG, Repenning C, Stahl F, Wydra K. Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. Physiological and Molecular Plant Pathology. 2011; 75: 83–89. **doi:10.1016/j.pmpp.2010.11.004.**

He CW, Ma J, Wang LJ. A hemicellulose-bound form of silicon with potential to improve the mechanical properties and regeneration of the cell wall of rice. New Phytologist. 2015; 206: 1051–1062. **doi:10.1111/nph.13282.**

Islam W, Tayyab M, Khalil F, Hua Z, Huang Z, Chen HYH. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. Pesticide Biochemistry and Physiology. 2020; 168: 104641. **doi: 10.1016/j.pestbp.2020.104641.**

Jafarzadeh N, Hadi H, Pirzad A, Bagestani MA, Maleki R. Effect of field dodder (*Cuscuta campestris*) on some physiological and yield traits of sugar beet (*Beta vulgaris*). Iranian Journal of Weed Science. 2015; 11: 105–115. [in Persian]

Jain S, Rai P, Singh J, Singh VP, Prasad R, Rana S, Deshmukh R, Tripathi DK, Sharma S. Exogenous addition of silicon alleviates metsulfuron methyl induced stress in wheat seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 2021; 167: 705–712**. doi:10.1016/j.plaphy.2021.07.031**.

Kabir AH, Das U, Rahman MA, Lee KW. Silicon induces metallochaperone-driven cadmium binding to the cell wall and restores redox status through elevated glutathione in Cd-stressed sugar beet. Physiologia Plantarum. 2021; 173: 352–368. **doi:10.1111/ppl.13424.**

Konieczka CM, Colquhoun JB, Rittmeyer RA. Swamp dodder (*Cuscuta gronovii*) management in carrot production. Weed Technology. 2009; 23: 408–411. **doi:10.1614/WT-08-177.1.**

Li Y, Wang K, Kong Y. Lv Y, Xu K. Toxicity and tissue accumulation characteristics of the herbicide *pendimethalin* under silicon application in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). Environmental Science and Pollution Research. 2022; 29: 25263–25275. *doi:10.1007/s11356-021-17740-8.*

Lukacova Z, Svubova R, Janikovicova S, Volajova Z, Lux A. Tobacco plants (*Nicotiana benthamiana*) were influenced by silicon and were not infected by dodder (Cuscuta europaea). Plant Physiology and Biochemistry. 2019; 139: 179–190. *doi:10.1016/j.plaphy.2019.03.004.*

Ma JF, Yamaji N. Functions and transport of silicon in plants. Cellular and Molecular Life Sciences. 2008; 65: 3049–3057. **doi:10.1007/s00018-008-7580-x.**

Madany MMY, Saleh AM, Habeeb TH, Hozzein WN, AbdElgawad H. Silicon dioxide nanoparticles alleviate the threats of broomrape infection in tomato by inducing cell wall fortification and modulating ROS homeostasis. Environmental Science: Nano. 2020; 7: 1415–1430. **doi:10.1039/C9EN01255A.**

Mishra JS. Biology and management of Cuscuta species. Indian Journal of Weed Science. 2009; 41: 1–11. https://www.semanticscholar.org/

Najafi H, Miqani F, Kerminjad MR. Evaluation of propizamid and ethofumesate herbicides efficiency and their combination with common sugar beet herbicides in the control of narrow-leaf and broad-leaf as well as dodder (Cuscuta campestris) weeds. Journal of Sugar Beet. 2022; 38: 95-107. **doi:10.22092/JSB.2022.358854.1306**. [In Persian]

Namjoyan S, Sorooshzadeh A, Rajabi A, Aghaalikhani M. Nano-silicon protects sugar beet plants against water deficit stress by improving the antioxidant systems and compatible solutes. Acta Physiologiae Plantarum. 2020; 42: 157. **doi:10.1007/s11738-020-03137-6.**

Saric- Krsmanovic M, Bozic D, Radivojevic L, Umiljendic JG, Vrbnicanin S. Response of alfalfa and sugar beet to field dodder (*Cuscuta campestris* Yunck.) parasitism: a physiological and anatomical approach. Canadian Journal of Plant Science. 2019; 99: 199–209**. doi:10.1139/cjps-2018-0050.**

Saudy HS, Mubarak M. Mitigating the detrimental impacts of nitrogen deficit and fenoxaprop-p-ethyl herbicide on wheat using silicon. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2015; 46: 897–907. **doi:10.1080/00103624.2015.1011753.**

Shabrawy E, Rabboh M. Effect of foliar spraying with micronutrients, elicitors, silicon salts and fertilizers on powdery mildew of sugar beet. Menoufia Journal of Plant Protection. 2020; 5: 123–141. **doi: 10.21608/MJAPAM.2020.122567.**

Siuda A, Artyszak A, Gozdowski D, Ahmad Z. Effect of form of silicon and the timing of a single foliar application on sugar beet yield. Agriculture. 2024; 14: 86. **doi:10.3390/agriculture14010086.**

Soares C, Nadais P, Sousa B, Pinto E, Ferreira IMPLVO, Pereira R, Fidalgo F. Silicon improves the redox homeostasis to alleviate glyphosate toxicity in tomato plants–are nanomaterials relevant? Antioxidants (Basel). 2021; 10: 1320. **doi:10.3390/antiox10081320.**

Sohrabi M, Ghalavand A, Rahimian Mashhadi HR, Fotuhi K. Chemical control of dodder (*Cuscuta Compestris*) in sugar beet and evaluation of the phytotoxicity effects on wheat in rotation. Iranian Journal of Crop Sciences. 2001; 3: 26–33. [In Persian]

Stojsin V, Maric A, Jocic B. Harmfulness *Cussuta compestris*, on sugar beet under varigmiral. Plant Protection. 1991; 42: 357–303.

Svubova R, Lukacova Z, Kastier P, Blehová A. New aspects of dodder–tobacco interactions during *haustorium* development. Acta Physiologiae Plantarum. 2017; 39: 66. **doi:10.1007/s11738-016-2340-2.**

Tripthi DK, Varma RK, Singh S, Sachan M, Guerriero G, Kushwaha BK, Bhardwaj S, Ramawat N, Sharma S, Singh VP, Prasad SM, Chauhan DK, Dubey NK, Sahi S. Silicon tackles butachlor toxicity in rice seedlings by regulating anatomical characteristics, ascorbate-glutathione cycle, proline metabolism and levels of nutrients. Scientific Reports. 2020; 10: 14078. **doi:10.1038/s41598-020-65124-8.**

Üstüner T. 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. 2018; 42: 348–353. **doi: 10.3906/tar-1711-108.**

Van BJ, Steppe K, Bauweraerts I, Kikuchi S, Asano T, De VD. Primary metabolism plays a central role in molding silicon-inducible brown spot resistance in rice. Molecular Plant Pathology. 2015; 16: 811–824. **doi:10.1111/mpp.12236.**

Wang M, Gao L, Dong S, Sun Y, Shen Q, Guo S. Role of silicon on plant–pathogen interactions. Frontiers in Plant Science. 2017; 8: 701**. doi:10.3389/fpls.2017.00701.**

Yarahmadi F, Dinarvan N, Farkhari M. Induction of sugar beet resistance to *Spodoptera exigua* (*Lepidoptera: Noctuidae*) under field conditions. Sugar Tech. 2022; 24: 1845–1850. **doi:10.1007/s12355-022-01156-w.**

Yassin MA. Efficacy of some silicon compounds on the sugar beet pathogen, *Rhizoctonia solani*. Fresenius Environmental Bulletin. 2015; 24: 3189–3196.

Ye M, Song YY, Long J, Wang RL, Baerson SR, Pan Z, Zhu-Salzman K, Xie J, Cai K, Luo, S, Zeng R. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS). 2013; 110: 3631–3639. **doi:10.1073/pnas.1305848110.**

Yoshida S, Cui S, Ichihashi Y, Shirasu K. The haustorium, a specialized invasive organ in parasitic plants. Annual Review of Plant Biology. 2016; 67: 643–667. **doi:10.1146/annurev-arplant-043015-111702.**

Investigating the possibility of effective application of silicon in the resistance of sugar beet (Beta vulgaris L.) to field dodder (Cuscuta campestris Yunck.) under greenhouse condition

A. Aliverdi[1*] and F. Jalilifard[2]

(Received 4 Feb. 2024 ; Accepted 20 Jun. 2024)

A. Aliverdi and F. Jalilifard. 2024. Investigating the possibility of effective application of silicon in the resistance of sugar beet (Beta vulgaris L.) to field dodder (Cuscuta campestris Yunck.) under greenhouse condition**. J. Sugar Beet. 39(2): 243- 252 (in Persian).**

Abstract

Despite the previous reports on increased resistance of some crops to field dodder due to the application of silicon, this issue has not been studied on sugar beet. The current research was conducted in a factorial completely randomized design with five replicates in the late spring of 2023 in the Research Greenhouse of Bu-Ali Sina University, Hamedan, on sugar beet cultivar Shokofa. The first factor included silicon concentration at five levels: 1, 2, 3, 4, and 5 mM in sodium silicate. The second factor included the method of silicon application in three levels: seed pre-treatment, irrigation, and foliar application at 1, 3, and 5-leaf stages. Results revealed an interaction between the factors on the root and shoot dry weight of sugar beet and the dry weight and haustoria of field dodder. Each field dodder plant reduced each sugar beet plant's root and shoot weight by 48.6 and 40.1%, respectively. The traits measured in sugar beet and field dodder were not affected by seed pre-treatment with silicon. A negative relationship was observed between sugar beet dry weight and field dodder dry weight. Applying 1 mM silicon via all three application methods did not affect the traits measured in sugar beet and field dodder. By increasing the concentration of silicon irrigated and sprayed, the root and shoot dry weight of sugar beet increased, but the dry weight and haustoria of field dodder decreased. The lowest haustorium was observed by irrigating and spraying 5 mM silicon, resulting in a 50% reduction in the haustoria of field dodder. The irrigation application method had a relative superiority to the foliar application method. Therefore, by conducting additional experiments and confirming the results of this study under field conditions, the application of silica, especially through irrigation, can be a useful method to reduce the damage of dodder in the field.

Keywords: dodder, haustorium, sodium silicate, stress, sugar beet

۱ Associate Professor in Weed Science, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran **-Corresponding author contact information email: a.aliverdi@basu.ac.ir.

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