تأثیر افزودن سیلیسیم بر کاهش خسارت ناشی از سمیت کادمیم در خیار (*Cucumis sativus* L.) در مرحله رویشی

سمیه خدارحمی[۱*]، امیرحسین خوشگفتارمنش[۱] و مصطفی مبلی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۸)

چکیده

سیلیسیم یکی از عناصر مفید برای رشد برخی گیاهان از جمله خیار می‌باشد. به نظر می‌رسد سیلیسیم ظرفیت آنتی‌اکسیداتیو گیاه را افزایش داده و باعث کاهش خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی و سمیت فلزات می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش سیلیسیم و کادمیم بر رشد، میزان ماده خشک و فعالیت آنزیم کاتالاز به عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدان، روی خیار اجرا شد. این آزمایش هیدروپونیک در گلخانه مرکز کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها عبارت بودند از دو سطح کادمیم (صفر و ۵ میکرومولار)، دو سطح سیلیسیم (صفر و ۱ میلی‌مولار) و دو رقم خیار (رقم گلخانه‌ای نگین و رقم مزرعه‌ای سوپردامینوس). نتایج نشان داد که کادمیم تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی دو رقم خیار مورد مطالعه نداشت، ولی سبب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه شد. تأثیر سیلسیم بر وزن خشک اندام هوایی بسته به رقم متفاوت بود. تغذیه سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی رقم سوپردامینوس شد، ولی بر وزن خشک اندام هوایی رقم نگین بی‌تأثیر بود. فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر حضور سیلیسیم و کادمیم قرار گرفت به گونه‌ای که کادمیم در هر دو رقم خیار مورد مطالعه فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش داد. در مقابل، با افزودن سیلیسیم به محلول غذایی، فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم نگین افزایش یافت. به نظر می‌رسد که افزودن سیلیسیم به محیط رشد خیار می‌تواند باعث بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه شود، گرچه این اثر بستگی به رقم خیار دارد.

واژه‌های کلیدی: عناصر مفید، فلزات سنگین، آنتی‌اکسیدان، کاتالاز

مقدمه

سیلسیم هنوز جزو عناصر ضروری برای گیاهان شناخته نشده است، ولی برای بهبود رشد بسیاری از گونه‌های گیاهی، به ویژه گندمیان مانند برنج و نیشکر، و بعضی از درختان مفید است و این تأثیر مفید سیلسیم بیشتر در گیاهان تحت تنش گزارش شده است (۸). سیلیسیم در افزایش فتوسنتز و استقامت اندام‌های گیاهی، کاهش تبخیر و تعرق و بهبود تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (۱۰). به نظر می‌رسد سیلسیم ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش داده و باعث کاهش خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی و سمیت فلزات سنگین می‌شود (۱۵). واشیدا و همکاران (۲۲) گزارش دادند که سیلسیم با افزایش استقامت مکانیکی ساقه و برگ‌ها و هم‌چنین بهبود جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی، رشد خیار را بهبود بخشید. در مقابل، کادمیم یکی از زیان‌بارترین فلزات سمی

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: somaye.khodarahmi@yahoo.com

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]

جدول ۱. ترکیب محلول غذایی هوگلند

عناصر پرمصرف	عناصر کم مصرف
2.5 mM KNO_3	2.0 µM $MnSO_4$
2.5 mM $Ca(NO_3)$	5.0 µM $CuSO_4$
1 mM $MgSO_4$	0.05 µM $(NH_4)Mo_7O_{24}$
0.1 mM KH_2PO_4	100 µM FeEDTA 2.0 µM H_3BO_3 1.0 µM N_iCl_2 2.0 µM $ZnSO_4$

برای موجودات زنده است. غلظت کادمیم در خاک‌های غیرآلوده معمولاً ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. اما در برخی خاک‌ها با توجه به جنس مواد مادری تا ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است. کادمیم به راحتی توسط گیاه جذب شده و انباشتگی آن در اندام‌های گیاه سبب اختلال در سوخت و ساز می‌شود (۱۱). بر همین اساس، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیداتیو گیاه می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارت ناشی از سمیت کادمیم داشته باشد (۵ و ۶). یکی از ساز و کارهای افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیداتیو گیاه، استفاده از عناصر مفیدی نظیر سیلسیم می‌باشد (۴). لیانگ و همکاران (۱۱) گزارش دادند که سیلیسیم می‌تواند تحمل ذرت در برابر سمیت کادمیم در خاک های اسیدی را افزایش دهد. سونگ و همکاران (۱۹) گزارش دادند که تغذیه سیلیسیم با کاهش جذب و انتقال کادمیم در گیاه، سمیت آن را کاهش داد. سیلیسیم باعث کاهش غلظت مالن‌دآلدهید و آب‌اکسیژنه و افزایش فعالیت سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در برگ‌های گیاهان آلوده به کادمیم شده و از این طریق، خسارت اکسیداتیو ناشی از سمیت کادمیم را کاهش داد. آنزیم کاتالاز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است که نقش مهمی در کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش‌ها از جمله سمیت کادمیم دارد (۴ و ۵). برخی محققین گزارش داده‌اند که تغذیه سیلسیم سمیت کادمیم را در گیاه برنج کاهش داده است (۱۵ و ۱۹).

با توجه به اهمیت سیلیسیم به عنوان عنصر غذایی مفید و حتی ضروری در برخی از گیاهان از یک سو و کمبود اطلاعات در مورد تأثیر کاربرد این عنصر بر تحمل خیار در برابر سمیت ناشی از کادمیم، از سوی دیگر، این پژوهش اجرا شد.

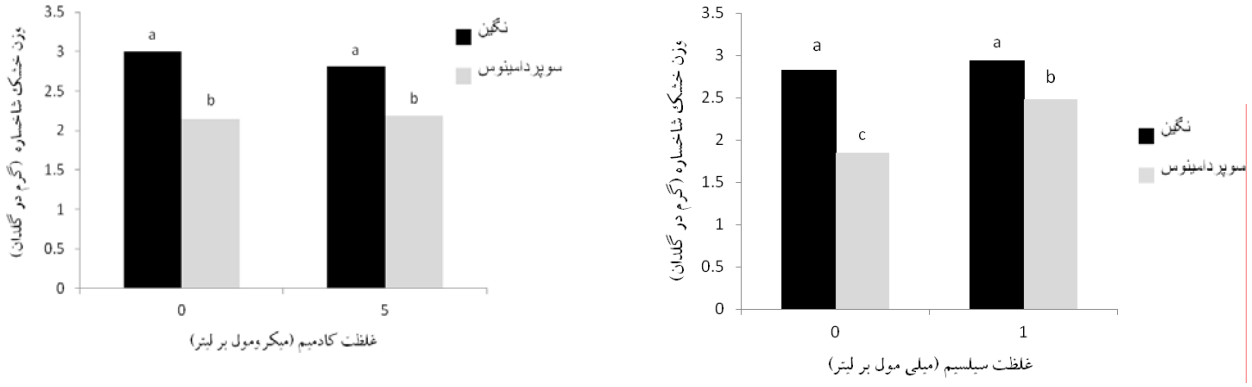
مواد و روش‌ها

این آزمایش، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشی مرکز کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از دو رقم خیار شامل یک رقم رایج خیار گلخانه‌ای (نگین) و یک رقم خیار مزرعه‌ای (سوپردامینوس)، دو غلظت سیلیسیم (صفر و ۱ میلی‌مولار سیلیکات سدیم) و دو غلظت کادمیم (صفر و ۵ میکرومولار کلرید کادمیم). تعداد کل گلدان‌های مورد استفاده در آزمایش ۲۴ عدد بود. ترکیب محلول‌غذایی محیط آبکشت هوگلند کامل بود (جدول ۱).

تیمارهای سیلیسیم و کادمیم ۲ تا ۳ روز بعد از استقرار بوته‌های خیار در محیط اصلی رشد اعمال شد. حدود ۳۰ تا ۴۵ روز بعد از انتقال بوته‌ها به محلول غذایی، بوته‌ها از ۲ سانتی‌متری بالای طوقه، به وسیله تیغ برداشت شدند. سپس ریشه و شاخساره پس از چند بار شستشو با آب مقطر توزین شده و درون پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های گیاه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس درون خشک‌کن قرار داده شدند. سپس وزن خشک شاخساره و ریشه تعیین شد. نمونه‌های گیاهی خشک شده، آسیاب شدند. یک گرم از پودر خشک نمونه‌ها درون کروزه‌های سرامیکی قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در کوره در دمای

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]



شکل۱. تأثیر سیلیسیم (الف) و کادمیم (ب) بر وزن خشک شاخساره دو رقم خیار مورد مطالعه

۵۵۰ درجه سلسیوس، خاکستر شد. ده میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار به نمونه‌های خاکستر شده اضافه شد و نمونه‌ها روی گرم‌کن قرار داده شد تا حجم اسید به یک سوم اولیه برسد. بعد از هضم نمونه‌های گیاهی، محلول هضم شده از کاغذ صافی واتمن (شماره ۴۲) عبور داده شد و با استفاده از آب مقطر میعان شده به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت عناصر آهن و کلسیم عصاره ریشه و شاخساره به وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المر (مدل AA200) اندازه‌گیری شد. مراحل استخراج آنزیم کاتالاز در دمای ۰-۴ درجه سلسیوس صورت گرفت. برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز از روش کک مک و مارشنر (۱۹۹۲) با کمی تغییر استفاده شد. به این منظور، ۰/۲۵ گرم گیاه تازه از هر تیمار با ۱ میلی‌لیتر بافر ۱٪ ترایتون همگن شده، به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ با دور g ۱۳۰۰۰ قرار داده شد. سپس محلول صاف رویی جدا شده و در ظرف دیگری قرار داده شد. صد میکرولیتر از این محلول با ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات حاوی آب اکسیژنه مخلوط و شدت جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در این محلول توسط دستگاه طیف‌سنج (Jenway 5310) در زمان‌های صفر و ۷۰ ثانیه قرائت شد. در نهایت، فعالیت کاتالاز با استفاده از ضریب تصحیح ۳۹/۴×۱۰۰۰ بر حسب میکرومول آب اکسیژنه تجزیه شده در گرم وزن مرطوب در دقیقه محاسبه شد.

تجزیه آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار(SAS (SAS V8 و رسم شکل‌ها با EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD انجام شد.

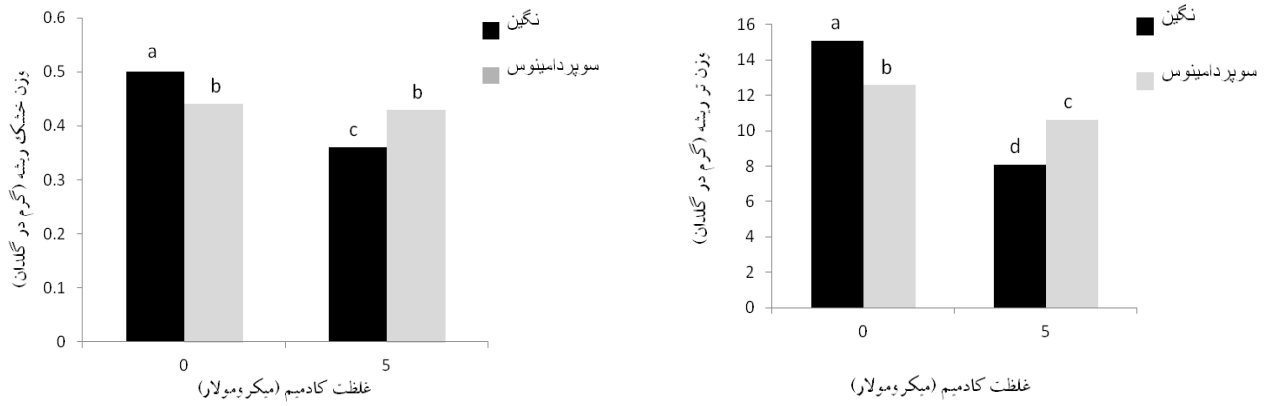
نتایج و بحث

تأثیر کاربرد سیلیسیم بر وزن خشک شاخساره، با توجه به نوع رقم، متفاوت بود. به طوری که تغذیه سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار (در سطح ۱٪) وزن خشک شاخساره رقم سوپردامینوس شد. اما بر وزن خشک شاخساره رقم نگین تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل۱- الف). در رقم سوپردامینوس، با افزایش سیلیسیم به محلول غذایی، وزن خشک شاخساره حدود ۲۵٪ افزایش یافت. ژو و همکاران (۲۳) نیز به نتایج مشابهی در مورد افزایش وزن خشک شاخساره دو رقم خیار با کاربرد سیلیسیم دست یافتند. اختلاف ارقام مختلف گیاهی از لحاظ پاسخ به کاربرد سیلیسیم توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۲۱). یکی از دلایل این تفاوت، اختلاف گیاهان از لحاظ نیاز به سیلسیم می‌باشد. آدتینا و بیسفورد (۱) نیز نشان دادند که بهبود رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیسیم از طریق افزایش توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها، بهبود جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی می‌باشد. در این آزمایش، غلظت ۵ میکرومولار کادمیم در محلول غذایی تأثیری بر وزن خشک شاخساره ارقام مورد مطالعه نداشت (شکل۱- ب).

تأثیر سیلیسیم بر وزن خشک و تر ریشه در هر دو رقم معنی‌دار نبود (شکل۲- الف و ب). در مقابل، غلظت ۵ میکرومولار کادمیم در محلول غذایی باعث کاهش معنی‌دار (در سطح ۱٪) وزن خشک و تر ریشه رقم نگین شد. اگرچه کادمیم باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه در رقم سوپردامینوس شد،

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]



شکل۲. تأثیر کادمیم بر وزن تر (الف) و خشک ریشه (ب) دو رقم خیار مورد مطالعه

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل رقم، سیلیسیم و کادمیم بر آهن شاخساره، کلسیم شاخساره، آهن ریشه و کلسیم ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آهن شاخساره	آهن ریشه	کلسیم شاخساره	کلسیم ریشه
رقم	۱	۲۴۶۷۷/۳**	۱۹۹/۰^{ns}	۱۹۰۷۹۷۵۱۵/۴**	۲۱۷۸۰۱۰/۲^{ns}
سیلیسیم	۱	۷۷۸/۸^{ns}	۲۳۴۸۷۶/۲**	۱۱۸۹/۱^{ns}	۳۵۷۸۶۰/۸^{ns}
کادمیم	۱	۷۱۳/۱^{ns}	۱۳۵۶۳۱*	۱۶۰۹۳/۳^{ns}	۲۵۶۰/۳*
رقم×سیلیسیم	۱	۲۳۳۸/۳^{ns}	۵۵۱۳۲/۷^{ns}	۱۲۷۲۵۰۸۷/۶^{ns}	۴۸۹۷۹۷۳/۵^{ns}
رقم×کادمیم	۱	۲۸۷۲/۹^{ns}	۱۴۰۵۲۳/۶^{ns}	۲۵۲۴۴۰۳/۵^{ns}	۱۵۵۳۸۳۶۵/۸*
سیلیسیم×کادمیم	۱	۵۷۷۱/۸^{ns}	۹۰۶/۴^{ns}	۴۹۹۱۵۷۷/۶^{ns}	۹۱۳۵۰۶۹/۱^{ns}
رقم×سیلیسیم×کادمیم	۱	۵۴۸۵/۸^{ns}	۵۰۴/۳^{ns}	۱۲۵۱۷۷۰۶/۵^{ns}	۳۰۰۶۷/۷^{ns}
خطای آزمایش	۱۴	۴۵۶۲/۳	۲۱۵۱۲/۴	۲۶۲۷۳۴۳۹/۶	۲۴۲۸۸۲۷/۸

** و* به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪

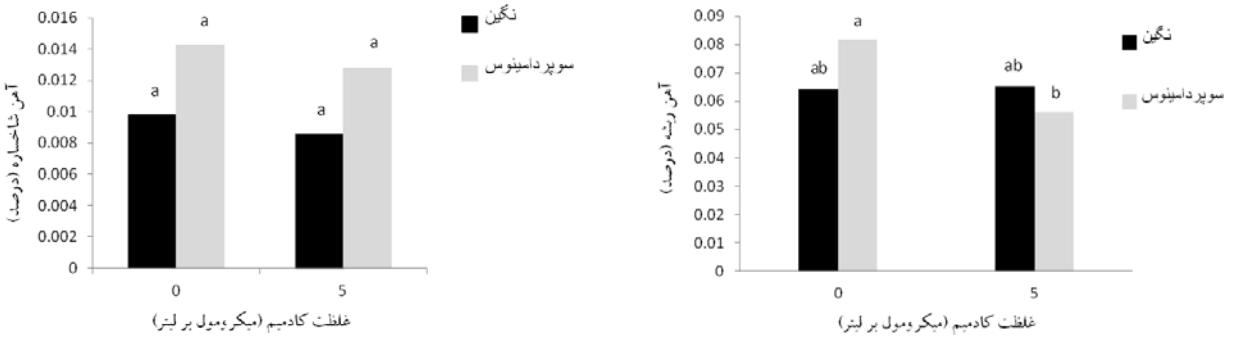
ولی اثر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه این رقم نداشت. هم‌چنین شدت کاهش وزن تر ریشه با کادمیم در رقم نگین بیشتر از رقم سوپردامینوس بود. لیانگ و همکاران (۱۱) نیز کاهش وزن خشک ریشه ذرت را با افزایش ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم به خاک گزارش دادند. لیو و همکاران (۱۲) گزارش دادند که افزودن ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم به کشت خاکی برنج، وزن خشک شاخساره را ۷۹-۹۲ درصد کاهش داد. کاهش رشد در حضور کادمیم به دلیل بهم خوردن تعادل عناصرغذایی و کاهش تولید کربوهیدرات می‌باشد (۹).

کادمیم با Fe^{2+}، Al^{3+} ، Cu^{2+} و Zn^{2+} دارای کانال‌های انتقال مشابه است. بنابراین اثر کادمیم بر این گروه فلزات اثر بازدارندگی رقابتی (Competitive inhibition) است و باعث کاهش جذب این عناصر می‌شود (۱۷).

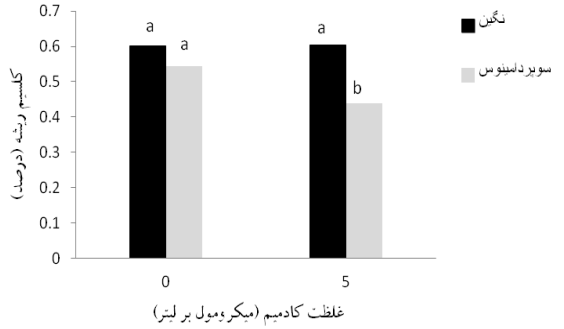
با افزودن سیلیسیم و کادمیم به محلول غذایی، کاهش معنی‌دار غلظت آهن در ریشه خیار مشاهده شد (جدول ۲). نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های اکادو و تاکاهاشی (۱۳) که روی برنج انجام شد همخوانی دارد. این پژوهشگران بیان کردند که سیلیسیم با کاهش جذب آهن و اکسایش آن در سطح ریشه

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]



شکل۳. تأثیر کادمیم بر غلظت آهن ریشه (الف) و شاخساره (ب) دو رقم خیار مورد مطالعه



شکل۴ . تأثیر کادمیم برغلظت کلسیم ریشه دو رقم خیار مورد مطالعه

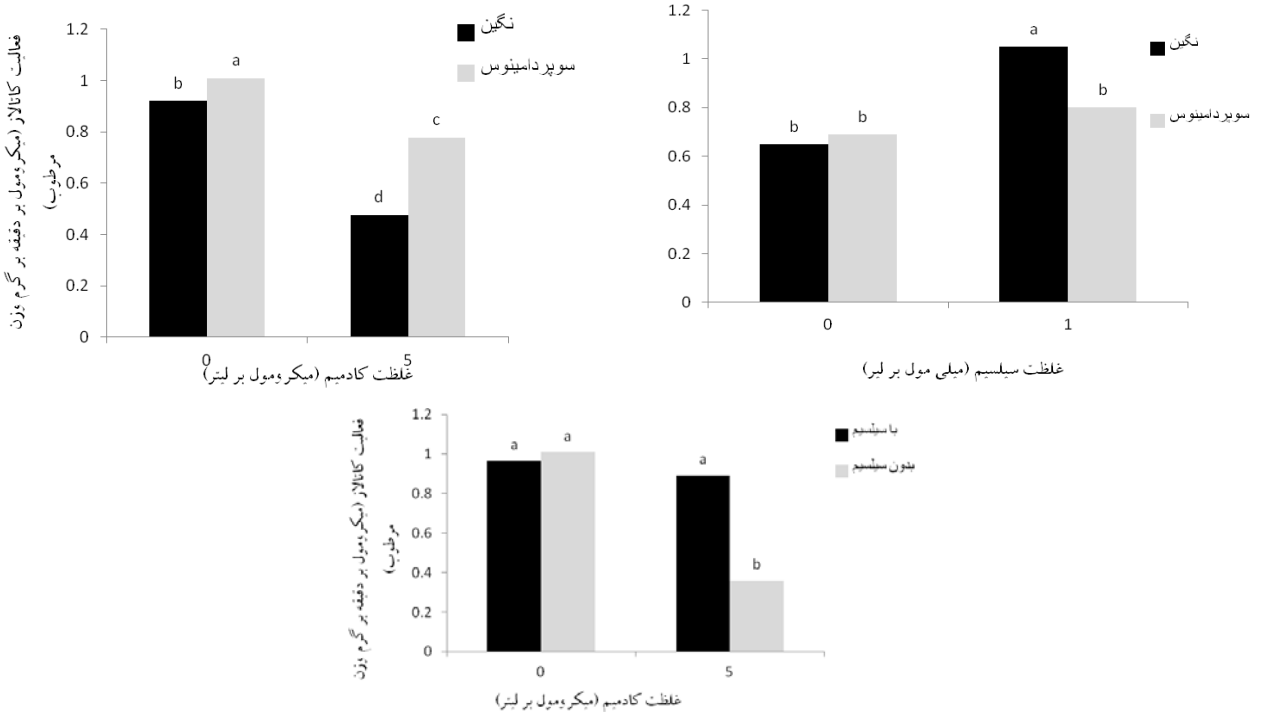
گیاه سبب کاهش غلظت آهن در بافت‌های گیاه می‌شود. برهمکنش سیلیسیم و رقم بر غلظت آهن ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۲)، در حالی که تأثیر افزودن کادمیم در محلول غذایی بر غلظت آهن ریشه بسته به نوع رقم متفاوت بود. به طوری که در رقم سوپردامینوس، افزودن کادمیم به محلول غذایی، غلظت آهن ریشه را به طور معنی‌داری (در سطح ۵٪) کاهش داد، اما تأثیری برغلظت آهن ریشه در رقم نگین نداشت (شکل ۳). اسمیت و همکاران (۱۶) با ارقام مختلف سویا در محیط آبکشت، کاهش غلظت آهن شاخساره در کلیه ارقام در حضور کادمیم را گزارش کردند. سولتی و همکاران (۱۷) نیز بیان داشتند که در حضور کادمیم، آهن در ریشه گیاه صنوبر انباشته شده و کادمیم از انتقال آهن از ریشه به شاخساره جلوگیری کرد. غلظت آهن ریشه رقم سوپردامینوس در هردو سطح کادمیم با رقم نگین تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵٪) داشت (شکل ۳). در هر دو رقم مورد مطالعه، افزودن کادمیم و سیلیسیم به محلول‌غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن شاخساره نداشت (جدول ۲ و شکل ۳- ب).

تأثیر سیلیسیم برغلظت کلسیم ریشه در هر دو رقم خیار مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ۲). در مقابل، همچنان که در شکل ۴ نشان داده شده، تأثیر افزودن کادمیم بر غلظت کلسیم ریشه بسته به رقم متفاوت بود. به طوری که در رقم سوپردامینوس افزودن کادمیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت کلسیم ریشه شد. اما تأثیری برغلظت کلسیم ریشه رقم نگین نداشت. برخی از محققین گزارش داده‌اند که سیستم جذب Ca^{2+} و Cd^{2+} مشابه هم است و رقابت بین این دو یون برای جذب، بستگی به میزان شوری دارد. تأثیر یون Ca^{2+} بر جذب Cd^{2+} بسته به نوع و رقم گیاه متفاوت است (۳). جیو و همکاران (۷) افزایش غلظت کلسیم شاخساره را با افزایش کادمیم گزارش دادند. به طور کلی، غلظت کلسیم ریشه در رقم نگین بیشتر از رقم سوپردامینوس بود. افزودن کادمیم و سیلیسیم در هر دو رقم مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلسیم شاخساره ایجاد نکرد. اگرچه غلظت کلسیم شاخساره رقم سوپردامینوس بیشتر از رقم نگین بود (جدول ۲).

تأثیر تغذیه سیلیسیم بر فعالیت آنزیم کاتالاز بسته به رقم خیار متفاوت بود. به گونه‌ای که تأثیر سیلیسیم بر فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم نگین (در سطح ۱٪) معنی‌دار بود. در حالی که سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر فعالیت کاتالاز در رقم سوپردامینوس نداشت (شکل ۵ – الف). ژو و همکاران (۲۳) بیان کردند که اثر تغذیه سیلیسیم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان به گونه گیاهی و نوع تنش وارد شده به گیاه بستگی دارد. کاتالاز و گوآکول پراکسید، پراکسید هیدروژن تولید شده که یکی از

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]



شکل ۵ . برهمکنش سیلیسیم و رقم (الف)، کادمیم و رقم (ب) و سیلیسیم و کادمیم (ج) بر فعالیت آنزیم کاتالاز در دو رقم خیار مورد مطالعه

اکسیدان‌های سمی برای گیاه است را بـه آب و اکـسیژن تبـدیل می‌کند (۳). در هر دو رقم خیـار، افـزایش کـادمیم بـه محلـول غذایی سبب کاهش فعالیت آنـزیم کاتـالاز شـد (شـکل۵- ب). سوماشکاریاه و همکاران (۱۸) در لوبیا و گالگو و همکاران (۶) در آفتابگردان کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز را در حضور کـادمیم گزارش کردند کـه بـا نتیجـه بـه دسـت آمـده در ایـن تحقیـق هم‌خوانی دارد. در غلظت ۵ میکرومولار کادمیم، نبود سیلیـسیم سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز شـد (شـکل ۵- ج). سونگ و همکاران (۱۹) نیز به نتایج مشابهی دسـت یافتنـد. بـه گونه‌ای که با افزایش ۵ میلـی‌گـرم در لیتـر کـادمیم بـه محلـول غذایی گیاه براسیکا، فعالیت آنـزیم کاتـالاز کـاهش معنـی‌داری یافت. در حالی که با افزایش ۱/۵ میلی‌مولار سیلیـسیم، فعالیـت آنزیم کاتالاز به طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

کادمیم تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خـشک شاخـساره دو رقـم خیار نداشت، ولی سبب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه شد. در مقابل، سیلیسیم بسته به رقم، سبب افزایش وزن خـشک شاخساره شد. ولی اثر معنی‌داری بـر وزن خـشک و تـر ریـشه نداشت. با توجه به ایـن کـه غلظـت کلـسیم و آهـن ریـشه در حضور کادمیم در رقم سوپردامینوس کاهش یافت ولی بـر رقـم نگین بی‌تأثیر بود، می‌تـوان گفـت کـه رقـم سـوپردامینوس بـه سمیت کادمیم حساس‌تـر از رقـم نگـین اسـت. فعالیـت آنـزیم کاتالاز تحت تأثیر حضور سیلیسیم و کـادمیم قـرار گرفـت. بـه گونه‌ای که در هر دو رقـم در حـضور کـادمیم، فعالیـت آنـزیم کاهش یافت. در مقابل با افزودن سیلیسیم، فعالیت آنزیم در رقم نگین گلخانه‌ای افزایش یافت. ولی سیلیسیم بـر فعالیـت آنـزیم کاتالاز در رقم سوپردامینوس تأثیر معنی‌داری نداشـت. یکـی از خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از سمیت کادمیم، کـاهش فعالیـت آنزیم کاتالاز بوده که موجـب کـاهش ظرفیـت اکـسیدانی و در نهایت، کاهش توان گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شود. تغذیه سیلیسیم توانست اثر منفی کادمیم بر رشد ریـشه

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]

را کاهش داده و هم‌چنین موجب افزایش فعالیت کاتالاز در شاخساره خیار شود. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، اثرهای مفید سیلیسیم بر خیار به نوع رقم بستگی دارد.

منابع مورد استفاده

1. Adtina, M. H. and R. T. Beasford. 1986. The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. Ann. Bot. 58: 343-351.
2. Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress and signaling transduction. Annu. Rev. Plant Biol. 55: 373-399.
3. DeWolf, H., T. Backeljau and R. Blust. 2004. Sensitivity to cadmium along a salinity gradient in populations of the periwinkle, *Littorina littorea*, using time-to-death analysis. Aquat. Toxicol. 66: 241-253.
4. Epstein, E. 1999. Silicon. Ann Reu. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 641-644.
5. Foyer, H. C. and G. Noctor. 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: A metabolic interface between stress perception and physiological responses. Plant Cell 17: 1866-1875.
6. Gallego, S. M., M. P. Benavides and M. L. Tomaro. 1996. Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: Evidence for involvement of oxidative stress. Plant Sci. 121: 151-159.
7. Guo, T. R., G. P. Zhang, M. X. Zhou, F. B. Wu and J. X. Chen. 2007. Influence of aluminum and cadmium stresses on mineral nutrition and root exudates in two barley cultivars. Pedosphere 17: 505-512.
8. Hayward, H. E. A. 1948. A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observation on several crops. Plant Sci. 13: 224-226.
9. Huang, C. Y., F. A. Bazzaz and L. N. Vanderhoef. 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. Plant Physiol. 54: 122-124.
10. Liang, Y. C., Q. Chen, Q. Liu, W. H. Zhang and R. X. Ding. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt–stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Plant Physiol. 160: 1157-1164.
11. Liang, Y. C., J. W. C. Wong and L. Wei. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere 58: 475-483.
12. Liu. J., M. Qian, G. Cai, Q. Zhu and M. H. Wong. 2007. Variation between rice cultivars in root secretion of organic acids and the relationship with plant cadmium uptake. Environ. Geochem. Health 29: 189-195.
13. Okado, A. and E. Takahashi. 1962. Studies on the physiological role of silicon in crop plant. Part 6. Effect of silicon supply on the iron uptake by rice plant from ferrous sulphate solution and the oxidation power of the root. J. Sci. Soil Manure 33: 59-64.
14. Shalata, A. and M. Tal. 1998. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon penncllii.* Physiol. Plant. 104: 169-174.
15. Shi, X. H., C. C. Zhang, H. Wang and F. S. Zhang. 2005. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. Plant Soil 272: 53-60.
16. Smith, G. C., E. G. Brennan and B. J. Greenhalgh. 1985. Cadmium sensitivity of soybean related to efficiency in iron utilization. Environ. Exp. Bot. 25: 99-106.
17. Solti, Á., É. Sárvári, B. Tóth, B. Basa, L. Lévai and F. Fodor. 2008. Cd affects the translocation of some metals either Fe-like or Ca-like way in poplar. Plant Physiol. Biochem. 49: 494-498.
18. Somashekaraiah, V., K. Padmaja, and A. R. K. Prasad. 1992. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. Physiol. Plant. 85: 85-89.
19. Song, A., Z. Li, J. Zhang, G. Xeu, F. Fan and Y. C. Liang. 2009. Silicon-enhanced resistance to cadmium toxicity in *Brassica chinensis* L. is attributed to Si-suppressed cadmium uptake and transport and Si-enhanced antioxidant defense capacity. J. Hazard. Mater. 172: 74-83.
20. Tawaha, K. F., Q. Alali, M. Gharaibeh, M. Mohammad and T. El-Elimat. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. Food Chem. 104: 1372-1378.
21. Vaculik, M., A. Lux, M. Luxova, E. Tanimoto and I. Lichtscheidl. 2009. Silicon mitigates cadmium inhibitory effects in young maize plants. Environ. Exp. Bot. 62: 52-58.
22. Voshida, S., S. A. Nsavero and E. A. Ramirez. 1969. Effect of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. Plant Soil 31: 48-56.
23. Zhu, Z., G. Wie, J. Li, Q. Qian, and G. Yu. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Sci. 167: 527-533.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1391.3.3.10.2]