

## تأثیر سیلیسیم بر کیفیت و کمیت کاهو پرک در کشت بدون خاک

فاطمه محمدی تازه‌کند<sup>۱</sup>، کامران قاسمی<sup>۱\*</sup> و حمیدرضا روستا<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۸)

### چکیده

نقش بی‌بدیل عنصر سیلیسیم در کاهش انواع تنش‌های زنده و غیرزنده به‌طور گسترده‌ای اثبات شده است ولی پژوهش‌های جامعی در مورد تأثیر این عنصر بر رشد و نمو گیاه کاهو در شرایط کشت هیدروپونیک بدون تنش انجام نشده است. با توجه به اهمیت تجاری کاهو و همچنین عمر پس از برداشت کوتاه آن، در پژوهش حاضر علاوه بر تأثیر سیلیسیم بر کیفیت و کمیت کاهو، عمر انبارمانی آن نیز مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با نه سطح سیلیسیم (شامل سطوح صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۲ میلی‌مولار سیلیسیم از منبع مونوسیلیسیک اسید)، در سه تکرار و در هر تکرار دو بوته، در کشت بدون خاک (کوکوپیت + پرلیت) انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل زیست‌توده، انبارمانی (درصد کاهش وزن و کیفیت خوراکی)، ویژگی‌های بیوشیمیایی (غلظت نیترات و سیلیسیم برگ، آنتی‌اکسیدان‌ها، فنل و فلاونوئیدها) و شاخص‌های فتوسنتزی بودند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن تازه خوراکی، وزن خشک خوراکی و وزن خشک کل کاهو در شاهد به‌دست آمد. اما بیش‌ترین وزن تازه ریشه در غلظت زیاد سیلیسیم (۱ تا ۲ میلی‌مولار سیلیسیم) و بیش‌ترین وزن خشک ریشه در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم دیده شد. بیش‌ترین درصد بخش خوراکی به ریشه در سطح ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم بود. در صفات انباری، کم‌ترین درصد کاهش وزن کاهو در غلظت‌های ۰/۵ و ۱/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم و بهترین کیفیت خوراکی در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم مشاهده شد. بیش‌ترین تعرق و هدایت روزنه‌ای در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار و بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدان در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به‌دست آمد. بیش‌ترین غلظت فنل در سطح ۱/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم و بیش‌ترین غلظت فلاونوئیدها در غلظت ۲ میلی‌مولار سیلیسیم دیده شد. بیش‌ترین غلظت سیلیسیم برگ در سطح ۱/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم و کم‌ترین مقدار نیترات در کاهو در غلظت‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: عمر انبارمانی، عنصر مفید، مونوسیلیسیک اسید، هیدروپونیک.

### مقدمه

برسد (۱۹). بر اساس تخمین سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) برای تغذیه این جمعیت زیاد، تولید مواد غذایی باید تقریباً دو برابر شود و ضروری است سطح زمین‌های زراعی ۰/۰۵ درصد افزایش یابد (۱۴). این اهداف باید بدون

رشد سریع جمعیت جهان و تغییرات اقلیمی، تقاضا برای انرژی و غذا را در سطح جهان افزایش داده است. پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۲ میلیارد نفر

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kamranghasemi63@gmail.com

موجب حفظ ماده تازه و کیفیت پس از برداشت برگ‌ها می‌شود، فرصتی برای تولیدکنندگان و تجار برای دستیابی به بازارهای بیش‌تر و دورتر ایجاد می‌کند. از آنجایی‌که به‌صورت معمول در کشت کاهو در گلخانه و در سیستم هیدروپونیک، از سیلیسیم در محلول‌های غذایی استفاده نمی‌شود لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد گیاه کاهو برگی انجام شد تا نقش این عنصر مفید در کمیت و کیفیت و فیزیولوژی کاهوی تولیدی مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار، در سه تکرار و هر تکرار شامل دو بوته اجرا شد. بذر رقم کاهو برگی اوک لیف قرمز OAKLeaf Lettuce Mondai RZ (خلوص ۹۹ درصد و قابلیت جوانه‌زنی ۹۵ درصد) تهیه شده از شرکت سپاهان رویش اصفهان در سینی کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت کشت شد. بستر کشت مورد استفاده شامل کوکوپیت (۷۰ درصد حجمی) و پرلیت (۳۰ درصد حجمی) بود. نشاهای یکنواخت ۵۰ روزه در گلدان‌های پلاستیکی ۲ لیتری حاوی این بستر در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کاشته شدند. گلخانه مورد استفاده از نوع پاگرما دارای اسکلت شیشه‌ای، سیستم گرمایش آن لوله‌های گرماده و سیستم تهویه آن طبیعی با میانگین دمای گلخانه  $16 \pm 2$  سلسیوس با میانگین رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد بود. سطوح مختلف تیمار سیلیسیم شامل شاهد، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵ و ۲ میلی‌مولار سیلیسیم از منبع اسید مونو-سیلیسیک بود که به محلول غذایی مخصوص کاهو افزوده شد. میزان عناصر غذایی موجود در محلول غذایی در جدول (۱)، آورده شده است. تغذیه و اعمال تیمارها به‌صورت دستی از اولین روز انتقال نشاءها به بستر اصلی هر دو روز یک بار صورت گرفت.

پس از گذشت ۶۰ روز برداشت کاهو انجام شد و پس از اندازه‌گیری صفات عملکردی، برای اندازه‌گیری‌های مختلف به

محدود کردن کیفیت تغذیه‌ای محصولات کشاورزی به‌منظور کمک به حفظ رژیم غذایی سالم صورت گیرد (۷). در راستای تأمین غذای کافی و سالم، نقش برخی عناصر مفید مانند سیلیسیم مورد توجه متخصصان تغذیه گیاه قرار گرفته است (۲۷). سیلیسیم از جمله عناصری است که حتی در غلظت‌های بسیار زیاد برای گیاهان سمی نیست (۲۸). پژوهشگران متعددی تأثیر سیلیسیم بر افزایش عملکرد گونه‌های مختلف زراعی را گزارش کرده‌اند (۲۲، ۳۴، ۴۲، ۴۷ و ۵۰). استفاده از سیلیسیم می‌تواند عملکرد گیاه را افزایش دهد؛ بنابراین بهبود مدیریت تغذیه سیلیسیم برای حفظ بهره‌وری محصول مهم است (۳۰). پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد خارجی سیلیسیم موجب تسریع رشد اکثر گونه‌های گیاهی تحت شرایط معمولی یا تنش می‌شود (۳۵). براین اساس، هاگمن و اسمیت به این نتیجه رسیدند که یکی از مهم‌ترین آثار سیلیسیم، تحریک مستقیم رشد و عملکرد گیاه به دلیل رشد عمودی برگ‌ها و افزایش مقاومت مکانیکی گیاه است (۲۵ و ۴۶). سیلیسیم با افزایش کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو و تعداد و سطح برگ باعث افزایش فتوسنتز در گیاه می‌شود؛ در نتیجه میزان کربوهیدرات و ذخایر فتوسنتزی نیز افزایش می‌یابد (۴۳). افزایش تعداد برگ یکی از راه‌هایی است که گیاه می‌تواند فتوسنتز و کربوهیدرات خود را افزایش دهد (۲ و ۵). سیلیسیم سبب افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ شده، با افزایش غلظت کلروفیل برگ توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور زیاد شده و می‌تواند شدت‌های کم و زیاد نور را بهتر تحمل کند (۲۷).

برای حفظ امنیت غذایی، کاهش تلفات پس از برداشت در طول زنجیره تأمین غذا نیز بسیار با اهمیت است (۳)؛ به‌طوری‌که کاهش تلفات پس از برداشت به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم تضمین امنیت غذایی جهان در آینده مطرح است (۳). از بین رفتن محصولات باغبانی در دوره پس از برداشت عمدتاً به دلیل از دست دادن آب گیاه رخ می‌دهد؛ لذا تجمع سیلیسیم در اپیدرم بافت‌های گیاهی و کاهش تعرق ناشی از آن می‌تواند مانع هدررفت آب و پلاسیدگی گردد. این ویژگی سیلیسیم که

جدول ۱. غلظت عناصر موجود در محلول غذایی کاهو مورد استفاده در این آزمایش.

Table 1. Concentration of elements contained in nutrient solution of lettuce used in this experiment.

N (mg.kg <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	S (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	B (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mo (mg.kg <sup>-1</sup> )
125	31	215	84	24	35	0.94	0.13	0.14	0.16	0.03	0.03

معنی دار شد. دو سطح ۰/۵ و ۱/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم کاهش وزن انباری کم‌تری نسبت به شاهد داشتند و در سطح ۲ میلی‌مولار سیلیسیم درصد کاهش وزن نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۱). کاهش وزن سبزی‌های برگ‌ی علت اصلی پلاسیدگی و از دست دادن کیفیت ظاهری این محصولات است. علاوه بر این کاهش وزن ناشی از هدرروی آب گیاه موجب متضرر شدن اقتصادی فروشندگان سبزی‌های برگ‌ی می‌شود. پژوهشگران دریافته‌اند که رسوب سیلیس بر روی دیواره‌های سلول‌های برگ کاهو باعث محدودیت کاهش آب توسط بافت‌های گیاهی می‌شود (۲۴). افزایش غلظت‌های سیلیسیم ممکن است باعث کاهش وزن کم‌تری در سبزیجات در مقایسه با تیمارهای بدون سیلیسیم شود (۲۱ و ۳۶).

سطوح ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم، به‌طور مشترک بیش‌ترین کیفیت خوراکی را سبب شدند. بنابراین غلظت‌های کم سیلیسیم می‌تواند کیفیت خوراکی کاهو را ارتقا دهد ولی به تدریج با افزایش غلظت سیلیسیم کیفیت خوراکی کاهش یافت (شکل ۱). به‌طور کلی کاربرد سیلیسیم در گیاهان مختلف باعث بهبود بهره‌وری و کیفیت سبزی، افزایش مواد مغذی سبزی‌ها و ضخامت بیشتر برگ‌ها می‌شود. اپیدرم به‌عنوان مانعی برای خروج آب گیاه از طریق تعرق است (۴) و سیلیسیم با افزایش ضخامت و بهبود عملکرد اپیدرم می‌تواند به ممانعت از هدرروی آب از گیاه کمک شایانی کند. پژوهشگران گزارش کردند که استفاده از سیلیسیم در تولید کاهو می‌تواند از طریق آثار مثبت بر جذب کلسیم، منیزیم و پتاسیم، موجب افزایش کمیت و کیفیت محصول شود (۱۳).

آزمایشگاه منتقل شد. اندازه‌گیری غلظت نیترات در نمونه خشک گیاهی به روش کالریتری پس از احیاء (روش دی‌آزو) انجام شد (۴۴). برای ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH (۱۰) استفاده شد. اندازه‌گیری فنل کل به روش فولین سیوکالتیو (۴۵) و سنجش فلاونوئید کل به روش آلومینیوم کلراید انجام شد (۹). برای اندازه‌گیری سیلیسیم گیاه، عصاره‌گیری از نمونه گیاهی با روش اتوکلاو انجام شد (۱۱). سپس ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۲۰٪ و ۱۰ میلی‌لیتر محلول آمونیوم مولیبدات افزوده شد تا بتوان با روش رنگ‌سنجی میزان سیلیسیم را تعیین کرد. جذب عصاره نهایی با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت شد.

صفات انبارمانی (درصد کاهش وزن و کیفیت خوراکی) سنجش شد و برای تعیین کیفیت خوراکی از ۵ نفر درخواست شد از لحاظ ظاهری از (صفر تا ۱۰) عددی را برای هر تیمار کاهو انتخاب کنند که صفر کم‌ترین کیفیت نمره و ۱۰ بیش‌ترین نمره را داشت. شاخص‌های فتوسنتزی به وسیله دستگاه فتوسنتز متر (Portable Gas Exchange & Fluorescence System) پنج روز پیش از برداشت کاهو برگ، در دمای ۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌های این پژوهش با نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار MS Excel انجام شد.

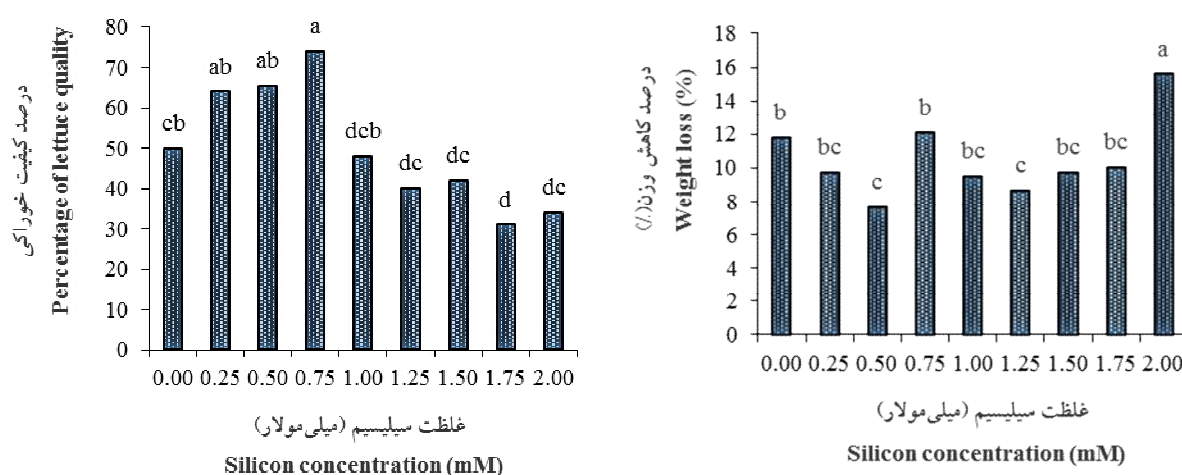
## نتایج و بحث

### صفات انبارمانی کاهو

تأثیر تیمار سیلیسیم بر صفات انبارمانی کاهو شامل درصد کاهش وزن و کیفیت خوراکی آن در سطح احتمال یک درصد

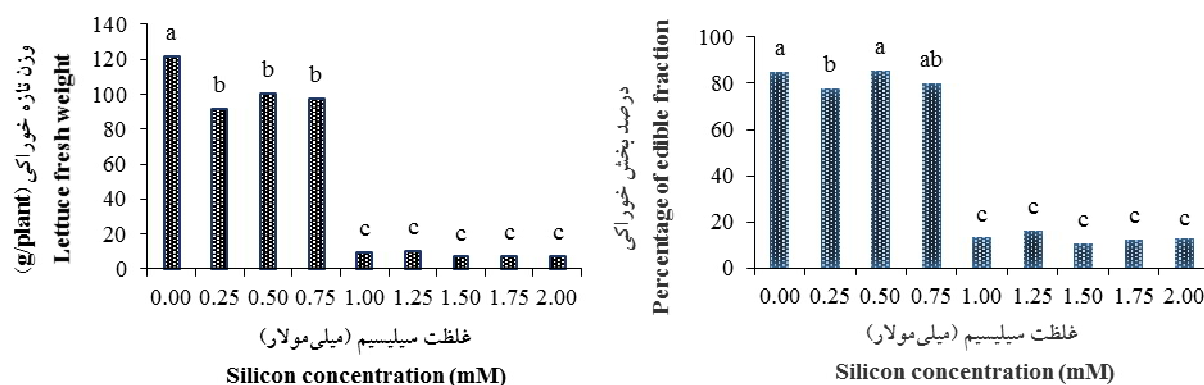
### زیست‌توده کاهو

بیش‌ترین وزن تازه بخش خوراکی کاهو با میانگین ۱۲۱/۶ گرم



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سیلیسیم بر درصد کاهش وزن و کیفیت خوراکی کاهو؛ ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 1. Mean comparisons of the effect of different levels of silicon on lettuce weight loss and quality; Columns with the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05 probability level.

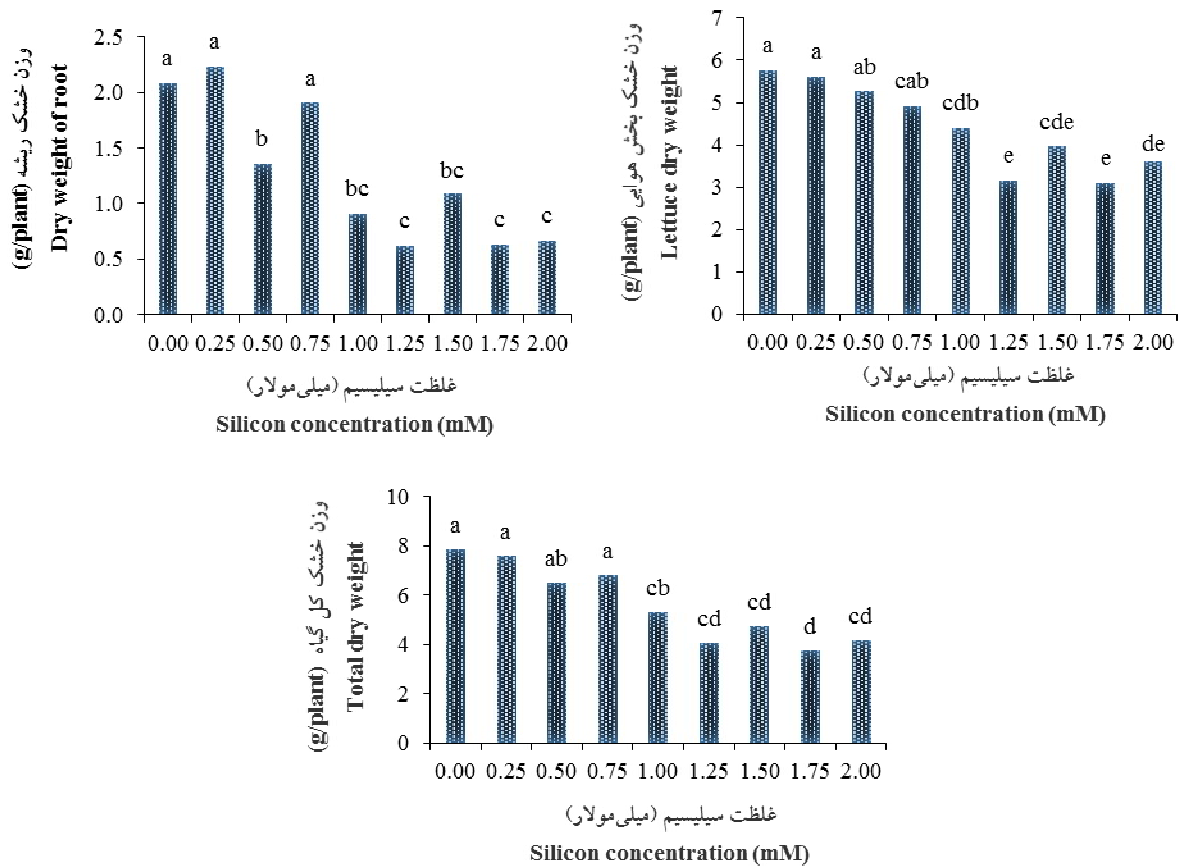


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سیلیسیم بر وزن تازه و درصد بخش خوراکی کاهو؛ ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 2. Mean comparisons of the effect of different levels of silicon on lettuce fresh weight and percentage of edible fraction; Columns with the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05 probability level.

گوجه‌فرنگی تحت شرایط شوری با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت (۲۳ و ۴۱). رومرو آراندا و همکاران (۴۱) مشاهده کردند که در شرایط غیرشور کاربرد سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر وضعیت آبی گیاه نداشت. پژوهشگران به بررسی تأثیر متاسلیکات سدیم بر کاهش آسیب‌های اکسایشی در گیاه کاهو تحت تنش سمیت منگنز پرداخته و گزارش کردند که با کاربرد سیلیسیم وزن تازه و خشک در گیاه کاهو به ترتیب ۱۵ و

در گیاه شاهد مشاهده شد. روند کاهش وزن تازه خوراکی کاهو با افزایش غلظت سیلیسیم کاملاً مشهود بود به طوری که درصد وزن تازه در تیمار شاهد ۱۲۱/۶ درصد بیشتر از تیمار ۲ میلی‌مولار سیلیسیم بود (شکل ۲). هرچند سمیتی از سیلیسیم برای گیاه گزارش نشده است ولی قطعاً مانند هر عنصر دیگری در غلظت‌های زیاد بر جذب و انتقال سایر عناصر تأثیر منفی می‌گذارد. نتایج سایر پژوهشگران در بررسی اثر سیلیسیم بر گیاه



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سیلیسیم بر وزن خشک بخش هوایی، ریشه و کل کاهو؛ ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 3. Mean comparisons of the effect of different levels of silicon on lettuce aerial, root and total dry weight; Columns with the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05 probability level

ارگانیک مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که رشد کاهو آیسبرگ با مصرف سیلیسیم افزایش یافت. در نتیجه کاهوی آیسبرگ در مقایسه با شاهد دارای ارتفاع و رشد بیش‌تر برگ‌ها بود ولی تأثیر سیلیسیم بر نسبت بخش هوایی به ریشه معنی‌دار نبود (۳۳) که هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر است. روند کلی وزن خشک بخش خوراکی کاهو از وزن تازه تبعیت می‌کرد به طوری که بیش‌ترین مقدار زیست‌توده در شاهد با عدد ۵/۷۷ گرم در گیاه به دست آمد و به تدریج با افزایش غلظت سیلیسیم روند کاهشی داشت، با این تفاوت که سرعت کاهش وزن خشک نسبت به وزن تازه به میزان چشمگیری کم‌تر بود (شکل ۳). تعدادی از پژوهشگران دریافتند که با مصرف سیلیسیم، زیست‌توده

۱۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (۴۰). بیش‌ترین نسبت بخش خوراکی به ریشه به میزان ۸۵/۵ درصد در سطح ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم ثبت شد که اختلاف معنی‌داری با شاهد و سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار نداشت (شکل ۲). این عدم معنی‌داری نسبت به شاهد می‌تواند بیش‌تر به عدم تأثیر منفی این تیمار بر این شاخص اشاره داشته باشد تا این که مزیتی باشد. با این وجود، از آنجایی که زیاد بودن این نسبت بیانگر کاهش باقیمانده گیاهی غیرقابل مصرف است؛ لذا در سامانه‌هایی مانند کارخانه‌های گیاهی که کاهش بقایای اضافی مهم است، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در یک پژوهش که تأثیر سیلیسیم بر رشد و کیفیت کاهوی آیسبرگ در کشت

خاموشی غیرفتوشیمیایی معنی‌دار شدند و سایر شاخص‌ها تحت تأثیر تیمارهای به‌کار رفته قرار نگرفتند. دو شاخص تعرق و هدایت روزنه‌ای کاملاً به هم مرتبط بوده و با باز بودن روزنه‌ها ارتباط دارند. باز بودن روزنه‌ها موجب افزایش تعرق و هدایت روزنه‌ای می‌شود و این مسئله برای عملکرد فیزیولوژیک مناسب گیاه به‌ویژه زمانی که محدودیت آب وجود ندارد (مانند سامانه‌های هیدروپونیک) بسیار اهمیت دارد. با افزایش تعرق، جذب عناصر معدنی بیش‌تر و آسان‌تر صورت گرفته و انتقال آنها از ریشه به برگ‌ها انجام می‌شود. هدایت روزنه‌ای مطلوب نیز تبدلات گازی به ویژه تأمین  $CO_2$  کافی را برای انجام فتوسنتز تضمین می‌کند. براساس نتایج به‌دست آمده (شکل ۴)، بیش‌ترین مقدار تعرق و هدایت روزنه‌ای در سطح سیلیسیم ۰/۲۵ میلی‌مولار به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری از تمامی سطوح به‌کار رفته و شاهد بیش‌تر بود. لذا سطح سیلیسیم ۰/۲۵ میلی‌مولار می‌تواند در سامانه‌های هیدروپونیک که محدودیت آب وجود ندارد به بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه کمک کند.

پژوهشگران به بررسی اثر غلظت سیلیسیم (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) بر تغییرات رویشی، مورفولوژیک و فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی در محیط هیدروپونیک پرداخته و نشان دادند سیلیسیم باعث کاهش هدایت روزنه‌ای گیاه شد که کم‌ترین مقدار آن در غلظت ۲ میلی‌مولار مشاهده شد و سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر نرخ تبخیر و تعرق و غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای گیاه نداشت (۲۳). نتایج بررسی اثر سیلیسیم بر گیاه ذرت در شرایط هیدروپونیک نشان داد که افزودن سیلیسیم به‌طور معنی‌داری تعرق و هدایت روزنه‌ای سطوح رویی و زیرین برگ را کاهش می‌دهد. همچنین، با کاربرد سیلیسیم در گیاه ذرت مشاهده شد که غلظت ۲ میلی‌مولار سیلیسیم به‌طور معنی‌داری تعرق سطح برگ را کاهش می‌دهد (۱۶). علت کاهش تعرق را می‌توان آغشته شدن دیواره سلول‌های اپیدرمی به وسیله لایه‌های مستحکم سیلیسیم دانست (۱۲).

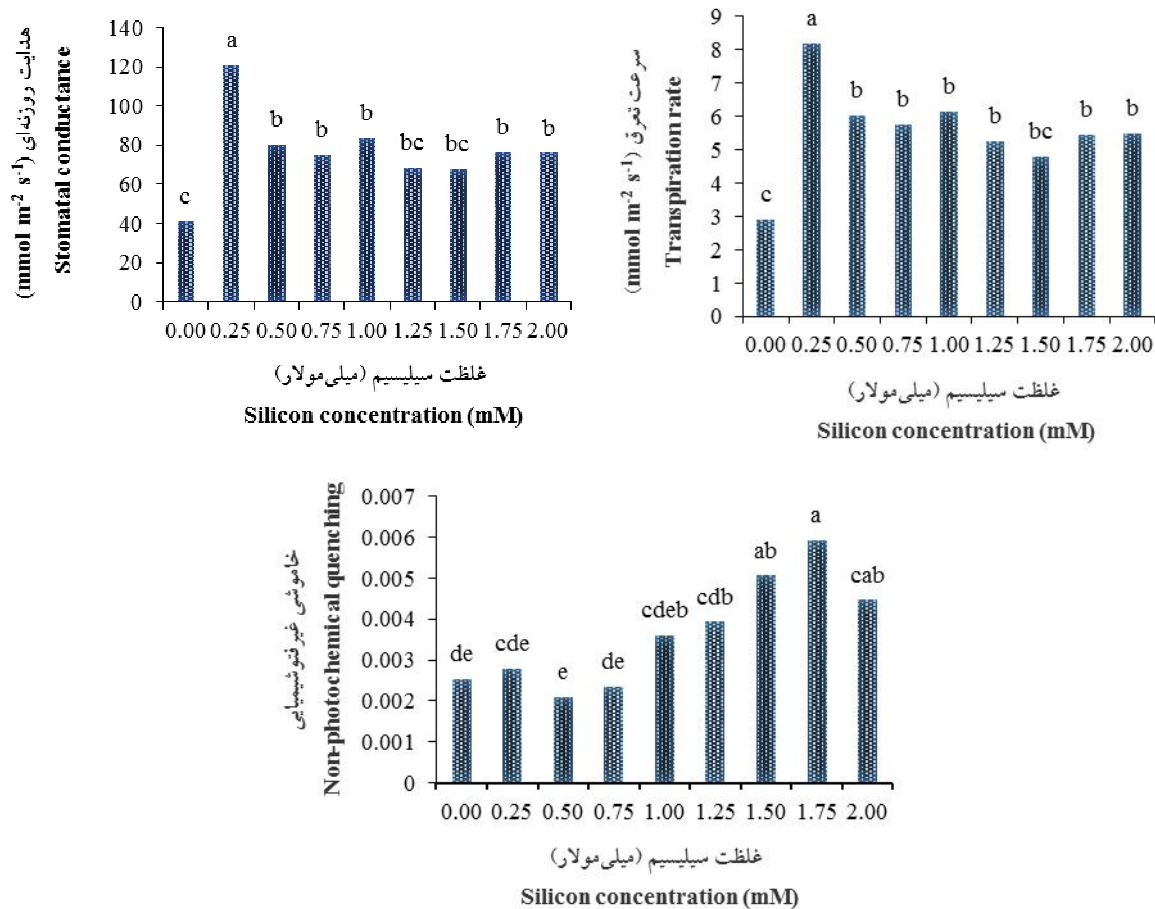
بیش‌ترین میزان عملکرد خاموشی غیرفتوشیمیایی در غلظت ۱/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با غلظت‌های ۲ و ۱/۵ میلی‌مولار نداشت (شکل ۴). این

کاهو، بدون تغییر در نسبت ریشه به ساقه، افزایش یافته و غلظت نیترات، نیتروژن، فسفر و کلسیم نیز در گیاهان تیمار شده زیاد می‌شود (۲۰). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تیمار سیلیسیم باعث افزایش جذب برخی مواد مغذی مانند کلسیم شده و بر جذب عناصر غذایی دیگر تأثیر نگذاشت (۳۳). محتوای بیش‌تر کلسیم مانع خسارت حشرات و بیماری‌ها و افزایش قابلیت حمل و نقل و کیفیت انبارمانی می‌شود (۳۱ و ۳۲).

روند کاهش وزن خشک ریشه با افزایش غلظت سیلیسیم نیز محسوس و معنی‌دار بود (شکل ۳). نتایج یک پژوهش در بررسی اثر سیلیسیم و تنش شوری بر رشد کاهویپچ (*Lactuca sativa L. Var. Capitata f. Butterhead*) در شرایط کشت هیدروپونیک نشان داد که سطوح مختلف سیلیسیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک و طول ریشه می‌شود (۳۷). این پژوهشگران گزارش کردند که علت کاهش رشد ریشه در تیمارهای سیلیسیم در شرایط غیرشور، وجود مقادیر زیاد سیلیسیم و اختلالات ناشی از مقادیر زیاد سیلیسیم در گیاه و یا بلوغ زود هنگام سلول‌ها است (۳۷). اختلالات ناشی از سیلیسیم زیاد می‌تواند مربوط به رقابت این عنصر با سایر عناصر غذایی در جذب و انتقال باشد که قاعدتاً در گیاهان غیرانباشت‌کننده سیلیسیم مانند کاهو شدیدتر خواهد بود. پژوهشگران گزارش کردند اثر سیلیسیم بر وزن خشک ریشه گوجه‌فرنگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد، اما سیلیسیم بر وزن خشک بوته تأثیر معنی‌داری نداشت (۲۶). بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به سطح صفر سیلیسیم با میانگین ۲/۳۵ گرم در گیاه به‌دست آمد. این نتیجه با نتایج پیوست و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی داشت (۳۷). با افزایش غلظت سیلیسیم، روند کاهشی معنی‌داری در وزن خشک کل مشاهده شد (شکل ۳). ولی در پژوهش دیگری، سیلیسیم تأثیری بر وزن خشک گوجه‌فرنگی نداشت (۱).

### شاخص‌های فتوسنتزی

از بین شاخص‌های فتوسنتزی تنها تعرق، هدایت روزنه‌ای و



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سیلیسیم بر شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای و خاموشی غیرفتوشیمیایی کاهو؛ ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

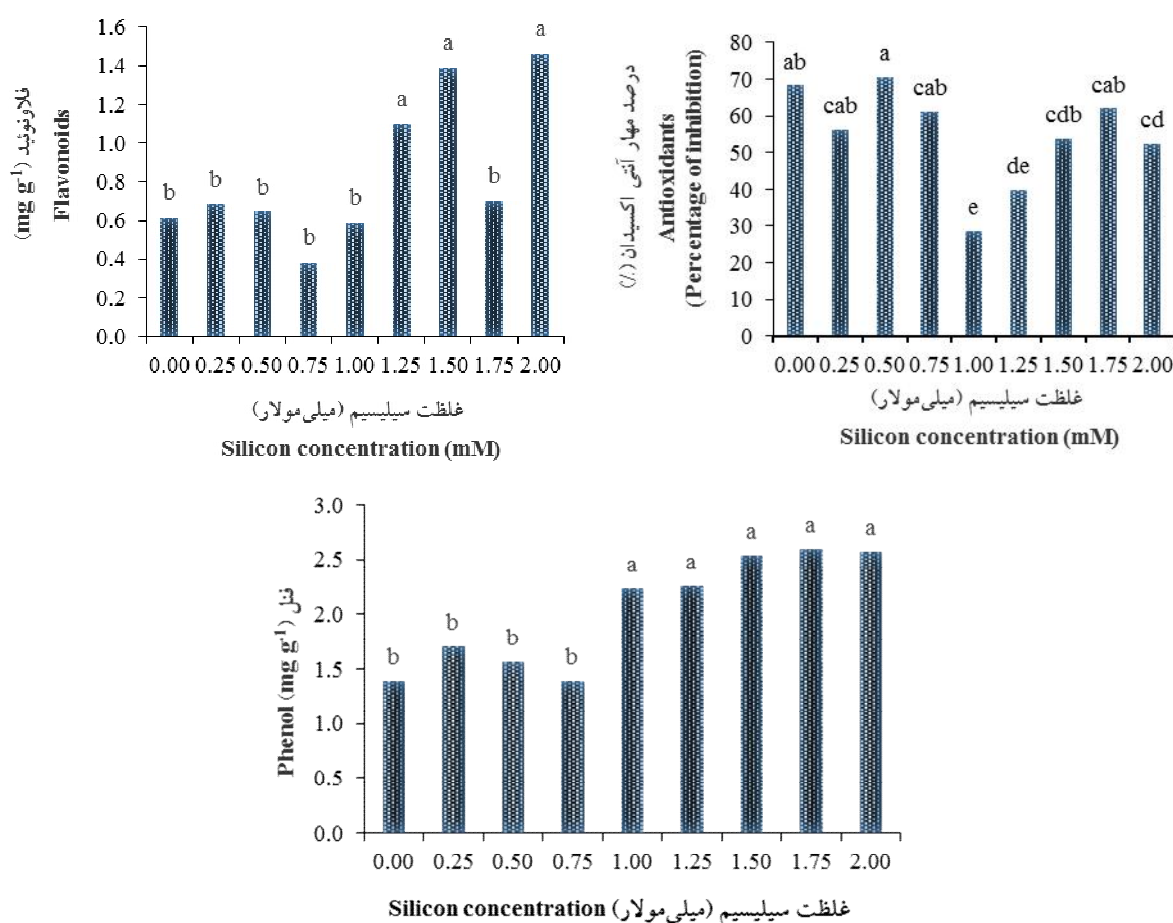
Fig. 4. Mean comparisons of the effect of different levels of silicon on lettuce transpiration, stomatal conductance and non-photochemical quenching; Columns with the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05 probability level.

سیلیسیم (۱ تا ۲ میلی‌مولار) نداشت. بیش‌ترین فلاونوئیدها در غلظت سیلیسیم ۲ میلی‌مولار به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با غلظت‌های ۱/۲۵ و ۱/۵ میلی‌مولار نداشت. به‌طور کلی استفاده از غلظت‌های زیاد سیلیسیم محرک بیوسنتز فلاونوئید بوده است (شکل ۵). از آنجایی که روند تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدان کل با میزان فنل کل متفاوت بود، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت آنتی‌اکسیدان گیاه کاهو به ترکیبات غیرفنلی وابسته است. تأثیر سیلیسیم بر ترکیبات فنولیک در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است (۲۹). همچنین از آنجایی که سیلیسیم به‌عنوان عنصری ضد تنش مطرح است لذا یک مکانیسم احتمالی آن تحریک بیوسنتز فلاونوئیدها بیان شده است (۱۸).

موضوع بیانگر آن است که در غلظت زیاد سیلیسیم گیاه تحت تنش بوده، قابلیت استفاده از نور در بخش فتوشیمیایی را نداشته و به‌صورت غیرفتوشیمیایی به هدر داده است.

#### ارزش غذایی

بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در تیمار سیلیسیم ۰/۵ میلی‌مولار به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با شاهد و سایر غلظت‌های کم سیلیسیم (۰/۲۵ تا ۰/۷۵ میلی‌مولار) نداشت (شکل ۵). میزان فنل کل تفاوتی آشکار با روند فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در کاهو داشت به‌طوری که بیش‌ترین مقدار فنل کل در تیمار سیلیسیم ۱/۷۵ میلی‌مولار ثبت شد (شکل ۵) که اختلاف معنی‌داری با غلظت‌های زیاد



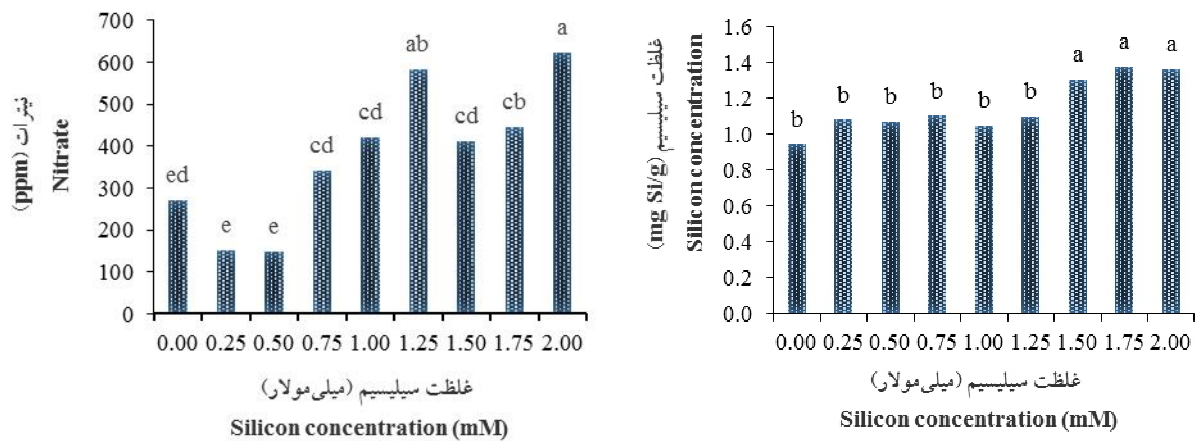
شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم بر آنتی‌اکسیدان، فنل و فلاونوئید کاهو؛ ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

**Fig. 5.** Mean comparisons of the effect of different levels of silicon on lettuce antioxidants, phenol and flavonoids; Columns with the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05 probability level.

پژوهشگران با کشت کاهو در محیط هیدروپونیک با جریان ثابت محلول غذایی با سیلیسیم، مشاهده کردند که جذب سیلیسیم در کاهو آمریکایی اندک بود، و میزان سیلیسیم در گیاهانی که تیمار شده بودند در مقایسه با تیمار بدون سیلیسیم اندکی بیش‌تر بود (۴۹). غلظت سیلیسیم در برگ‌های پیر و جوان کاهوی کریسپ هد با افزایش سیلیسیم در محلول غذایی افزایش یافته است (۱۵). میزان انباشت سیلیسیم در گیاهان غیرانباشت‌گر مانند گوجه فرنگی حدود ۳ میلی‌گرم بر گرم گزارش شده است؛ لذا کاهو نسبت به گیاهی مانند گوجه فرنگی میزان کمتری سیلیسیم انباشت می‌کند.

بیش‌ترین غلظت سیلیسیم برگ، بدون اختلاف معنی‌دار، در سه سطح ۱/۵، ۱/۷۵ و ۲ میلی‌مولار (به ترتیب ۱/۳۰، ۱/۳۸ و ۱/۳۶) به‌دست آمده که به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارهای به‌کار رفته بیش‌تر بود (شکل ۶). از آنجا که غلظت سیلیسیم برگ گیاهان شاهد با گیاهان تیمار شده با غلظت‌های کم این عنصر (۰/۲۵ تا ۱/۲۵ میلی‌مولار) اختلاف معنی‌داری نداشت؛ لذا آثار مشاهده شده را می‌توان به آثار غیرمستقیم این عنصر نسبت داد. بیش‌ترین غلظت‌های سیلیسیم در گیاه در اندام‌هایی مشاهده می‌شود که بیش‌ترین تبخیر و تعرق را دارند (۱۷). تعدادی پژوهشگران دریافته‌اند اعمال سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار غلظت این عنصر در برگ گیاه چغندر لبویی شد (۶).





شکل ۶. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سیلیسیم بر غلظت سیلیسیم و نیترات در برگ کاهو؛ ستون‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Fig. 6. Mean comparison of the effect of different levels of silicon on the silicon and nitrate concentrations in lettuce leaves; Columns with the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05 probability level.

موارد صرفاً کمیت تولید نمی‌تواند تنها شاخص با اهمیت در نظر گرفته شود؛ به‌ویژه برای بازارهای صادراتی که شاخص‌های کیفی می‌توانند اهمیت قابل توجهی داشته باشند تا جایی که اندکی کاهش در عملکرد در ازای افزایش کیفیت محصول مورد پذیرش قرار گیرد؛ مانند سطح ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم که دارای آنتی‌اکسیدان زیاد و نیترات کمی بود و عملکرد آن نیز اختلاف کمی با شاهد داشت. تأثیر مثبت سیلیسیم در غلظت‌های کم بر کاهش تجمع نیترات و در غلظت‌های زیاد بر افزایش میزان فنل و فلاونوئید کل می‌تواند برای تولیدکنندگانی که تمایل به تولید محصولات با ارزش غذایی زیاد دارند مورد توجه قرار گیرد. از نظر تأثیر بر عمرانباری، هرچند غلظت زیاد سیلیسیم از هدرروی آب گیاه جلوگیری کرد ولی با توجه به اثر منفی این تیمار بر عملکرد، قابل توصیه نیست.

### سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند کمال تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به دلیل حمایت مالی این پژوهش به عمل آورند.

کم‌ترین میزان نیترات در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۶). کاهو نیترات زیادی را در برگ‌ها ذخیره می‌کند. معمولاً خطر نیترات زیاد زمانی آشکار می‌شود که کاهو در گلخانه‌ها با کمبود نور پرورش یابند (۳۸). تجمع نیترات در اندام‌های هوایی گیاهان نگران‌کننده است و در بیش‌تر محصولات به‌عنوان یک مشکل شناخته می‌شود (۸). تغذیه سیلیسیم باعث کاهش ضعف فیزیکی ناشی از نیتروژن زیاد شده و رشد و عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (۴۸). علت افزایش غلظت نیترات در غلظت‌های زیاد سیلیسیم، احتمالاً به افزایش جذب کاتیون‌ها مرتبط است زیرا نیترات به‌عنوان آنیون همراه با کاتیون‌هایی مانند پتاسیم، چه در جذب و چه در انتقال در آوند چوبی نقش اساسی دارد (۳۸).

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، سیلیسیم در شرایط بدون تنش تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد کاهو گلخانه‌ای نداشت و حتی در غلظت‌های زیاد موجب کاهش معنی‌دار عملکرد نیز شد. البته باید در نظر داشت که در برخی

## منابع مورد استفاده

1. Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F., Kaufman, P.B., 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza stiva*). *Crop Production and Improvement Technology* 34: 225–234.
2. Amador, B.M., Yamada, S., Yamaguchi, T., Puente, E.R., Serrano, N.A., Hernandez, J.L., Aguilar, R.L., Dieguez, E.T., Garibay, A.N., 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Sciences* 193: 413–421.
3. Aulakh, J., Regmi, A., Fulton, J.R., Alexander, C.E., 2013. Estimating Post-Harvest Food Losses: Developing a Consistent Global Estimation Framework. Available from: <https://ageconsearch.umn.edu/record/150363?ln=en4>. 8. 2014.
4. Barker, A., Pilbeam, D., 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Boca Raton, FL.
5. Bayat, H., Nemati, S.H., Selahvarzi, Y., 2012. Effect of silicon on growth and some physiological characteristics of Persian petunia (*Petunia hybrida*). *HortScience* 26(1): 10–16.
6. Behtash, F., Tabatabai, S.J. Malakouti, M.J. Sarvaroodin, M.H., Ostaan, S.H., 2010. Effect of cadmium and silicon on growth and some physiological properties of beetroot. *Journal of Sustainable Agricultural Knowledge* 20(1): 53–67.
7. Block, G., Patterson, B., Subar, A., 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer* 18(1): 1–29.
8. Cárdenas-Navarro, R., Adamowicz, S., Robin, P., 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *Journal of Experimental Botany* 50: 613–624.
9. Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., Chern, J.C., 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10: 178–182.
10. Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M., 2009. Antioxidant activity of leaves and in florescence of *Eryngium caucasicum* Trautv at flowering stage. *Pharmacognocoy Research* 1(6): 435–439.
11. Elliot, C.L., Snyder, G.H., 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Agriculture and Food Chemistry* 39: 1118–1119.
12. Epstein, E., 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641–664.
13. Ferreira, R.L.F., Souza, R. J., Carvalho, J.G., Araújo Neto, S.E., Mendonça, V., Wadt, P.G.S., 2010. Avaliação de cultivares de alface adubadas com silicato de cálcio em casa-de-vegetação. *Ciência e Agrotecnologia* 34(5): 1093–1101.
14. Food and Agriculture Organization, 2009. FAO's Director-General on how to feed the world in 2050. *Population and Development Review* 35: 837–839.
15. Galati, V.C., 2015. Silicon in the turgidity maintenance of American lettuce. *African Journal of Agricultural Research* 10(51): 4699–4705.
16. Gao, X., Zou, C., Wang, L., Zhang, F., 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1637–1647.
17. Gerdakaneh, M., Mozafarin, A.A., Khalighi, A., Sioseh-mardeh, A., 2009. The effect of carbohydrate source and concentration on somatic embryogenesis of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch). *Amer-Euras. Journal of Agricultural and Environmental Science* 6(1): 76–80.
18. Ghasemi, K., Ghajar sepanlou, M., Haddadinejad, M., 2019. The effect of silicon on nutrient concentration, photosynthetic pigments and quality of Kamarosa strawberry fruit. *Scientific Journal of Horticultural Nutrition* 2(1): 85–98. (in Persian with English abstract)
19. Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327(5967): 812–818.
20. Greger, M., Landberg, T., Vaculik, M., Lux, A., 2011. Silicon influences nutrient status in plants. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Silicon in Agriculture, Beijing, China, September 13–18, pp. 57–58.
21. Guimarães, A.A., Finger, F.L., Guimarães, A.A., Souza, P.A.D.E., Linhares, P.C.F., 2010. Fisiologia pós-colheita de *Heliconia* spp. *Revista Verde Agroecologia Desenvolvimento Sustentável* 5: 38–49.
22. Haghghi, M., Afifipour, Z., Mozafarian, M., 2012. The alleviation effect of Silicon on seed germination and seedling growth of tomato under salinity stress. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76: 119–126.
23. Haghghi, M., Mozaffariyan, M., 2014. Investigation of vegetative, morphological and photosynthetic changes of tomatoes due to silicon and nanosilicon added to the nutrient solution. *Journal of Soil and Plant Interactions* (former: *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*) 5(19): 37–47. (in Persian with English abstract)
24. Haghghi, M., Pessarakli, M., 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae* 161(24): 111–117.
25. Heckman, J., 2013. Silicon: A beneficial substance. *Better Crops* 97(4): 14–16.
26. Javadi Moghadam, S., 2013. The Effect of Silicon Nutrition on Reducing The Damage of Comfrey (*Phelipanche* spp.) in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). MSc Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract)

27. Khoshgoftarmanesh, A.H., 2010. Advanced Topics in Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Publishing Center, Isfahan.
28. Ma, J., Miyake, Y., Takahashi, E., 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndörfer, G.H. (Eds.), *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science, Book Series*, Elsevier, pp. 17–39.
29. Maksimovic, J.D., Bogdanovic, J., Maksimovic, V., Nikolic, M., 2007. Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus L.*) grown at excess manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences* 170: 739–44.
30. Meena, V.D., Dotaniya, M.L., Cumar, F., Rajendiran, S., Ajay, Kundu S., Rao, A.S., 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 84(3): 505–518.
31. Olle, M., 2013. The effect of effective microorganisms (EM) on the yield, storability and calcium content in swede. In: XVII International Plant Nutrition Colloquium and Boron Satellite Meeting Proceedings Book, Istanbul/Turkey, pp. 714–715.
32. Olle, M., 2015. Methods to avoid calcium deficiency on greenhouse grown leafy crops. LAP LAMBERT, Academic Publishing, 118 pp.
33. Olle, M., 2017. The effect of silicon on the organically grown iceberg lettuce growth and quality. *Journal of Agricultural Science* 2: 82–86.
34. Olle, M., Narits, L., 2015. The effect of silicon on the field peas quality. In: 1<sup>st</sup> International Conference on Food and Biosystems Engineering, Mykonos, Island, May 28–31, pp. 98–102.
35. Parveen, N., Ashraf, M., 2010. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maizes (*Zea mays L.*) cultivars grown hydroponically. *Pakistan Journal of Botany* 42: 1675–1684.
36. Paulino, A.S., Albuquerque, A.W., Moura Filho, G., Pereira, F.R.S., 2013. Helicônia "Golden Torch": Produtividade e qualidade pós-colheita sob diferentes fontes e doses de silício. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(6): 615–621.
37. Peyvast, G.H., Zaree, M.R., Samizadeh, H., 2008. Interaction of different levels of silicon and salinity stress on the growth of lettuce under culture conditions in NFT system. *Journal of Agricultural Sciences and Industries, Especially Horticultural Sciences* 22: 79–88.
38. Peyvast, G.H., 2009. Vegetable. *Daneshpazar Publications* 1(5): 224–230.
39. Raddatz, N., Morales de los Rios, L., Lindahl, M., Quintero, F.J., Pardo, J.M., 2020. Coordinated transport of nitrate, potassium, and sodium. *Frontiers in Plant Science* 11: 247.
40. Rafiei Kashksarai, D., Behtash, F., Mousavi, S.B., Aqaei, A., 2019. The effect of sodium metasilicate on the reduction of oxidative damage in lettuce (*Lactuca sativa cv. Siahoo*) under manganese toxicity stress. *Journal of Vegetable Sciences* 3(6): 93–107.
41. Romero Aranda, M.R., Jurado, O., Cuartero, J., 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163: 847–855.
42. Roohizadeh, G., Majd, A., Arbabian, S., 2015. The effect of sodium silicate and silica nanoparticles on seed germination and growth in the *Vicia faba L.* *Tropical Plant Research* 2(2): 85–89.
43. Savvas, D., Ntatsi, G., 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulture* 196: 66–81.
44. Singh, J.P., 1998. A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extract. *Plant and Soil* 110: 137–139.
45. Slinkard, K., Singleton, V., 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 28: 49–55.
46. Smith, A., 2011. Silicons key role in plant growth. Australian Grain, March-April, pp. 35.
47. Torabi, F., Majd, A., Enteshari, S., 2012. Effect of exogenous silicon on germination and seedling establishment in *Borago officinalis L.* *Journal of Medicinal Plants Research* 6(10): 1896–1901.
48. Vasanthi, N., Saleena Lilly, M., Raj, S.A., 2014. Silicon in crop production and crop protection: A review. *Agricultural Reviews* 35(1): 14–23.
49. Voogt, W., Sonneveld, C., 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G.H. (Eds.), *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science B.V., London, pp. 115–131.
50. Zhu, Y., Gong, H., 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development* 34(2): 455–472.



## Effect of Silicon on The Quantity and Quality of Batavia Lettuce in Soilless Culture Conditions

F. Mohammadi Tazekand<sup>1</sup>, K. Ghasemi<sup>1</sup> and H. R. Roosta<sup>2</sup>

(Received: 11 June 2022; Accepted: 30 July 2022)

### Abstract

Nutrient solutions used in the production of lettuce in soilless culture do not contain silicon (Si) as a beneficial element. Therefore, this experiment aimed to evaluate the role of Si in lettuce growing hydroponically. Results showed that the highest fresh weight, dry weight and total dry weight of lettuce were obtained in the control. The highest percentage of the edible part to root was observed in 0.5 mM silicon treatment. In the shelf life aspect, the lowest percentage of lettuce weight loss was recorded in 0.5 and 1.25 mM silicon concentrations and the best food quality was obtained in the treatment of 0.75 mM silicon. The highest stomatal conductance and transpiration rate were observed at the Si concentration of 0.25 mM and the highest antioxidant activity was observed at a concentration of 0.5 mM. The highest phenol and flavonoids were recorded in the treatments of 1.75 and 2 mM silicon, respectively. The highest leaf silicon concentration was found in the treatment of 1.75 mM silicon and the lowest amount of nitrate in lettuce was obtained in the concentrations of 0.25 and 0.5 mM silicon.

**Keywords:** Postharvest, Beneficial element, Monosilicic acid, Hydroponic.

**Background and Objective:** Although the unique role of silicon (Si) in reducing biotic and abiotic stresses has been widely proven (1, 2), no comprehensive research has been done on this element's positive and possibly negative role in hydroponic lettuce cultivation under non-stress conditions. It is reported that Si can increase chlorophyll, rubisco enzyme and leaf surface resulting in more carbohydrate synthesis and a stronger physiological source (3). In addition to the effect of Si on the quality and quantity of lettuce, the current study also examines its storage life due to its commercial importance and short shelf life.

**Methods:** This experiment was conducted in a completely randomized design with nine treatments (including levels of 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75 and 2 mM Si from a monosilicic acid source) with three replications and two sub-samples. The evaluated traits included biomass related traits, storage traits (weight loss percentage and dietary quality), biochemical traits (leaf nitrate, leaf silicon concentration, total antioxidants, phenol and flavonoids), and photosynthetic parameters.

1- Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Arak, Arak, Iran.

\*: Corresponding author, Email: kamranghasemi63@gmail.com

**Results:** The highest fresh weight of lettuce head ( $121.6 \text{ g plant}^{-1}$ ) was recorded in control and a decreasing trend was observed aligning with the rising Si concentration. Similar to the fresh weight of the head, the head dry weight was shown to be the highest in control and Si treatments caused a decrease in this parameter. The highest head-to-root ratio was obtained in the plants treated with 0.5 mM of Si, which was not significantly different from control and 0.75 mM of Si. Although the highest yield and biomass were recorded in the control, the low concentrations of Si in nutrient solution showed some benefits, including better shelf life traits and dietary values (i.e., higher antioxidants and lower nitrate). Total antioxidant activity, as an essential criterion for dietary value evaluation, was significantly higher in the treatment of 0.5 mM Si when compared with control and all other treatments except Si at 0.25 and 0.75 mM concentrations. Moreover, the addition of Si in nutrient solution at low rates (i.e., 0.25 and 0.5 mM Si) could significantly decrease the nitrate accumulation in lettuce leaves. In addition, low concentrations of Si positively affected some photosynthesis parameters like stomatal conductance and transpiration rate which were recorded at the significantly highest level in plants treated with 0.25 mM Si.

**Conclusions:** On the whole, Si could not positively influence the yield and yield component of lettuce and even had adverse impacts, specifically in high Si concentrations. These results do not contradict the released positive effects of Si under stressful conditions because the current study was carried out in normal conditions. On the other hand, the positive effects of Si in the post-harvest period, such as lower nitrate accumulation and higher antioxidant activity, should not be overlooked.

#### References:

1. Ghasemi, K., Ghajar sepanlou, M., Haddadinejad, M., 2019. The effect of silicon on nutrient concentration, photosynthetic pigments and quality of Kamarosa strawberry fruit. *Scientific Journal of Horticultural Nutrition* 2 (1): 85–98. (in Persian with English abstract)
2. Ma, J., Miyake, Y., Takahashi, E., 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndörfer, G.H. (Eds.), *Silicon in Agriculture*. Studies in Plant Science, Book Series, Elsevier, pp. 17–39.
3. Savvas, D., Ntatsi, G., 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulture* 196: 66–81.