Archiv

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره اول، بهار ۹۸
۱۲۹-۱۴۲
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.15598.2163

# اثر محلول‌پاشی سیلیس در بهبود صفات کمی و کیفی دو رقم چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در تربت حیدریه

**منصوره کرمانی[1*] و شهرام امیرمرادی[1]**

[1]استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸

**چکیده**

**سابقه و هدف:** سیلیس دومین عنصر در پوسته زمین است که می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیرزیستی روی گیاهان داشته باشد. این عنصر باعث افزایش مقاومت گیاه به آفات و بیماری‌ها، مقاومت به ورس، افزایش جذب عناصر غذایی (خصوصا نیتروژن و فسفر) و کاهش تلفات آب می‌شود. کاربرد سیلیس بعنوان کود یک ایده نوین در کشاورزی است. بر اساس گزارش محققان، کاربرد سیلیس باعث افزایش عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد شکر خالص در چغندرقند شده است. در ایران، راه کارهای افزایش تولید چغندرقند بیشتر متکی بر استفاده از کودهای شیمیایی است که اثرات جانبی زیادی بر محیط زیست و انسان دارد. لذا این آزمایش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف کود سیلیس بر صفات کمی و کیفی دو رقم چغندرقند انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در استان خراسان رضوی، شهرستان تربت حیدریه انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل دو رقم چغندرقند ایزابلا و افسوس و محلول‌پاشی سیلیس شامل غلظت‌های صفر، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱/۰، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار بود. محلول‌پاشی در پنج مرحله و از ۶ مرحله برگی چغندرقند آغاز و هر دو هفته یک‌بار تکرار شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که اثر اصلی سیلیس و رقم بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز راندمان استحصال شکر معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱). اما اثر متقابل سیلیس در رقم برای هیچ کدام از صفات معنی‌دار نشد. رقم افسوس در صفات عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، درصد قند ملاس، درصد قند قابل استحصال و عملکرد شکر خالص، برتری معنی‌داری نسبت به رقم ایزابلا داشت. همچنین از نظر میزان ناخالصی‌ها، این رقم میزان سدیم کمتر و نیتروژن و پتاسیم بیشتری در مقایسه با رقم ایزابلا داشت ($P\leq$۰/۰۵). با افزایش غلظت سیلیس عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، درصد قند قابل استحصال و عملکرد شکر خالص افزایش نشان داده و میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در خمیر ریشه کاهش یافت ($P\leq$۰/۰۵). عملکرد ریشه و عملکرد شکر خالص در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس به‌ترتیب ۲۲/۶ و ۳۹/۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. در این تیمار، عملکرد ریشه و عملکرد شکر خالص در رقم افسوس به‌ترتیب ۸۹/۴۵ و ۱۷/۵ تن بر هکتار و در رقم ایزابلا به‌ترتیب ۷۷/۶۵ و ۱۴/۵ تن بر هکتار بود.

**نتیجه‌گیری:** در پژوهش حاضر بهترین تیمار برای بهبود صفات کمی و کیفی چغندرقند، غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس (کراپسیل) بعد از پنج مرحله محلول‌پاشی (از مرحله ۶ برگی، هر دو هفته یک‌بار) معرفی می‌گردد.

***واژه‌های کلیدی:*** سیلیس، عملکرد ریشه، عملکرد شکر خالص، محلول پاشی برگی، نیتروژن مضره.

[*]مسئول مکاتبه: mkermani20@gmail.com



www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه

سیلیس دومین عنصر در پوسته زمین بوده و ۲۸ درصد آن را را شامل می‌شود؛ این عنصر می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیرزیستی روی گیاهان داشته باشد (۲۲). سیلیس باعث افزایش مقاومت گیاه به آفات و بیماری‌ها (۱۰). مقاومت به ورس و کاهش تلفات آب (۲۲) و همچنین افزایش جذب و بهبود متابولیسم فسفر می‌شود (۳۱). نقش سیلیس در گیاهان بطور دقیق شناخته نشده است (۱۱)؛ اما اثرات مفید آن شامل افزایش فتوسنتز، افزایش مقاومت مکانیکی سلول، کاهش پراکسیداسیون غشاء و حفاظت از بافت‌های گیاهی ناشی از خسارت تنش اکسیداتیو، کاهش اثرات سمیت بر، منگنز، آهن و سایر فلزات سنگین توسط محققین گزارش شده است (۱۶ و ۲۷). کاربرد سیلیس باعث افزایش سطح برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، گره‌زایی ریشه، تثبیت نیتروژن، جذب عناصر غذایی (خصوصا نیتروژن و فسفر)، مقدار کل کلروفیل برگ، قندها و پروتئین‌های قابل حل، کل مقدار فنل‌ها در گیاه، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و آبسیزیک اسید و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو و آنزیم نیترات ردوکتاز می‌شود که در افزایش بیوماس و عملکرد گیاه حتی در شرایط بدون تنش نقش موثری دارند (۲، ۱۲ و ۲۳).

در سال‌های اخیر در کشورهای اتحادیه اروپا، تولید چغندرقند افزایش یافته است که دلیل اصلی آن افزایش مصرف کودهای شیمیایی به‌خصوص میکروالمنتها بوده است (۴، ۵، ۱۷ و ۱۸). کاربرد سیلیس بعنوان کود یک ایده نوین در کشاورزی است (۷). برخی از محققان افزایش عملکرد ریشه چغندرقند را با استفاده از دو نوبت محلول پاشی سیلیس گزارش نموده‌اند؛ که این افزایش از ۱۳/۱ الی ۲۱/۸ درصد متغیر بود (۶). لنکا و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که کاربرد سیلیس با منبع کربن در چغندر قند باعث افزایش عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد شکر خالص در هکتار شد (۱۹). بر اساس گزارش فرازی و همکاران (۲۰۱۸) محلول‌پاشی سیلیس با غلظت ۲۰۰ گرم در لیتر به میزان یک لیتر در هکتار در چهار نوبت روی چغندرقند باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه و عملکرد شکر در شرایط آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم تغییر معنی‌دار در محتوای سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره ریشه گردید (۱۳). محلول پاشی سیلیکات کلسیم با غلظت ۵ در هزار بر روی برنج باعث افزایش میزان سیلیس دانه (۵۲ درصد)، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه (۶/۸ درصد) و میزان روی دانه (۲۷ درصد) شد (۱۵). در سیب‌زمینی کاربرد سیلیس باعث افزایش مقدار فسفر در برگ‌ها شد که دلیل آن افزایش دسترسی فسفر خاک تحت تاثیر سیلیس بود (۲۷). کاربرد سیلیس با غلظت نیم در هزار بر روی برگ‌های آفتابگردان باعث افزایش عملکرد دانه و افزایش قطر طبق شد (۸).

در ایران طی سال‌های اخیرهزینه‌های تولید چغندرقند افزایش یافته است و لذا کشاورزان و کارشناسان در پی افزایش تولید جهت جبران هزینه‌ها و افزایش سود بوده‌اند. چغندرقند یکی از هفت گونه گیاهی است که به‌عنوان گیاه انباشت‌گر سیلیس شناخته شده است (۲۹). اما اطلاعات علمی کافی مبنی بر موثر بودن سیلیس روی عملکرد ارقام مختلف چغندرقند وجود ندارد. لذا تعیین بهترین دوز کاربرد سیلیس در چغندرقند یکی از اهداف مهم می‌باشد. این آزمایش با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف کود سیلیس به‌صورت محلول‌پاشی بر صفات کمی و کیفی دو رقم چغندرقند انجام شد. در این پژوهش برای اولین در ایران از فرمولاسیون سیلیس با بنیان آلی بر روی چغندرقند استفاده گردید.



www.SID.ir

Archive of SID


## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان تربت حیدریه (ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۳ متر، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی) انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. قبل از انجام آزمایش، نمونه برداری از خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی متر انجام و به آزمایشگاه خاکشناسی انتقال داده شد.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه**

Table 1. Physical and chemical characteristics of studied field soil

| بافت خاک Soil texture | هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m) | شاخص واکنش pH | پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون) Available Potassium (ppm) | فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) Available Phosphorus (ppm) | نیتروژن کل (درصد) Total Nitrogen (%) | کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لومی شنی Sandy Lom | 1.5 | 7.6 | 212 | 9.6 | 0.06 | 0.3 |

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است. بذر چغندرقند مونوژرم رقم ایزابلا[1] از شرکت K.W.S آلمان و رقم افسوس[2] از شرکت ماریبو[3] دانمارک تهیه شد. کاشت به‌صورت دستی در ۹۶/۲/۱۱ انجام شد و تاریخ سبز کامل در مزرعه ۹۶/۲/۲۰ بود. هرکرت آزمایشی با ابعاد ۳ در ۱۰ متر شامل ۶ ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۱۸ سانتی‌متر بود. آبیاری مزرعه به‌صورت نشتی و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. محلول سیلیس از شرکت نویاتک[4] با نام تجاری کراپسیل تهیه شد. محلول‌پاشی سیلیس شامل سطوح صفر، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱/۰، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار بود که در مرحله شش برگی آغاز و پنج مرتبه با فواصل دو هفته یک‌بار تکرار گردید. برداشت به‌صورت دستی از چهار ردیف وسط، پس از حذف دو ردیف کناری و یک متر ابتدا و انتهای ردیف در تاریخ ۹۶/۸/۲۰ انجام شد. بوته‌ها پس از برداشت از محل طوقه سرزنی شده و ریشه‌ها به‌صورت جداگانه به کارخانه قند منتقل شد. ریشه‌ها پس از شستشو توزین و سپس از ریشه‌ها ۱۰۰ گرم خمیر تهیه شد و خمیرها در داخل فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. خمیرهای ریشه به آزمایشگاه تجزیه خمیر شرکت تحقیقات و خدمات زراعی چغندرقند خراسان رضوی در مشهد منتقل و بلافاصله جهت اندازه گیری عناصر و ناخالصی‌ها و درصد قند مورد استفاده قرار گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش شامل عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، درصد قند قابل استحصال (مقدار شکر سفید)، مقدار سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در ریشه، درصد قند ملاس، راندمان شکر قابل استحصال و عملکرد شکر قابل استحصال در هکتار بودند. نمونه خمیرها توسط دستگاه‌های اتوماتیک مکنده استخراج و درصد قند در نمونه خمیر از طریق روش پلاریمتری با دستگاه آنالوگ p1000 ساخت آلمان (شرکت کروز) اندازه‌گیری شد. غلظت ناخالصی‌های سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری و غلظت نیتروژن مضره به روش عدد آبی با استفاده از دستگاه بتالایزر اندازه‌گیری شد (۱۴). عملکرد شکر خالص از حاصل‌ضرب درصد قند خالص در عملکرد ریشه و

1. Isabella
2. Efesos
3. Maribo
4. NUVIA Technologies Inc.



www.SID.ir

Archive of SID



درصد قند ملاس از تفاوت درصد قند ناخالص و خالص محاسبه شد (۳). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و مقایسات میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل ترسیم شد.

## نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی سیلیس و رقم بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز راندمان استحصال شکر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل سیلیس در رقم برای هیچ کدام از صفات معنی‌دار نشد (جدول ۲). این نتیجه نشان داد که علیرغم تفاوت معنی‌دار رقم ایزابلا و رقم افسوس در تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز راندمان استحصال شکر (جدول ۳)، روند واکنش این دو رقم به افزایش سطوح سیلیس کم و بیش مشابه بود.

**جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و غلظت‌های مختلف سیلیس بر برخی صفات کمی و کیفی چغندرقند**

Table 2. Results of variance analysis for effects of cultivar and different concentrations of silicon on some quantitative and qualitative traits of sugar beet

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات (mean of square) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد ریشه Root Yield | درصد قند ناخالص Gross sugar percent | محتوای سدیم Na content | محتوای پتاسیم K content | محتوای نیتروژن N content | درصد ملاس Mallase Sugar percent | درصد قند قابل استحصال White Sugar Content | راندمان استحصال شکر Sugar yield efficiency | عملکرد شکر خالص White Sugar Yield |
| بلوک block | 2 | 79.249** | 2.342** | 0.111$^{ns}$ | 0.107$^{ns}$ | 0.390** | 0.275$^{ns}$ | 0.261$^{ns}$ | 8.640$^{ns}$ | 1.164* |
| سیلیس silicon (A) | 6 | 189.810** | 4.953** | 2.139** | 1.034** | 0.899** | 0.434** | 3.987** | 2.193$^{ns}$ | 15.361** |
| رقم cultivar (B) | 1 | 1520.051** | 6.498** | 0.883** | 3.400** | 103.494** | 0.866** | 3.974** | 0.572$^{ns}$ | 69.429** |
| رقم × سیلیس silicon×cultivar (A×B) | 6 | 0.565$^{ns}$ | 0.024$^{ns}$ | 0.002$^{ns}$ | 0.10$^{ns}$ | 0.018$^{ns}$ | 0.043$^{ns}$ | 0.013$^{ns}$ | 0.914$^{ns}$ | 0.028$^{ns}$ |
| خطای آزمایشی Error | 26 | 6.689 | 0.216 | 0.070 | 0.065 | 0.061 | 0.092 | 0.079 | 5.930 | 0.272 |
| ضریب تغییرات(٪) Coefficient of Variations (%) | | 3.51 | 2.26 | 9.41 | 3.79 | 6.05 | 9.83 | 1.60 | 2.86 | 4.02 |

*، ** و ns به ترتیب نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

**عملکرد ریشه:** اثر اصلی سیلیس و رقم بر عملکرد ریشه چغندرقند در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که رقم افسوس از نظر عملکرد ریشه برتری معنی‌داری نسبت به رقم ایزابلا داشت (جدول ۳). با افزایش غلظت سیلیس در محلول مورد استفاده، عملکرد ریشه در چغندرقند بطور معنی‌داری افزایش یافت، بطوریکه بیشترین عملکرد ریشه با ۲۲/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد، در تیمار سیلیس ۱/۵ لیتر در هکتار بدست آمد (جدول ۳).



www.SID.ir

Archive of SID


**جدول۳- مقایسه میانگین اثر رقم و غلظت‌های مختلف سیلیس بر صفات مورد بررسی در چغندرقند**

Table 3. Mean comparison for effect of variety and different concentrations of silicon on measured traits in sugar beet

| تیمارها Treatments | عملکرد ریشه (تن در هکتار) Root Yield (ton.ha$^{-1}$) | درصد قند ناخالص Gross sugar percent (%) | محتوای سدیم (میلی‌مول در ۱۰۰ گرم چغندرقند) Na content (mmol.100 g beet) | محتوای پتاسیم (میلی‌مول در ۱۰۰ گرم چغندرقند) K content (mmol.100 g beet) | محتوای نیتروژن (میلی‌مول در ۱۰۰ گرم چغندرقند) N content (mmol.100 g beet) | درصد قند ملاس Mallase Sugar percent (%) | درصد قند قابل استحصال White Sugar Content (%) | راندمان استحصال شکر Sugar yield efficiency (%) | عملکرد شکر خالص (تن در هکتار) White Sugar Yield (ton.ha$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| افسوس Efesos | 79.674$^{a}$ | 21.001$^{a}$ | 2.668$^{b}$ | 7.022$^{a}$ | 5.653$^{a}$ | 3.232$^{a}$ | 17.866$^{a}$ | 85.104$^{a}$ | 14.273$^{a}$ |
| ایزابلا Isabella | 67.642$^{b}$ | 20.214$^{b}$ | 2.958$^{a}$ | 6.453$^{b}$ | 2.513$^{b}$ | 2.945$^{b}$ | 17.251$^{b}$ | 85.338$^{a}$ | 11.702$^{b}$ |
| شاهد Control | 68.16$^{d}$ | 19.70$^{c}$ | 3.74$^{a}$ | 7.17$^{a}$ | 4.41$^{a}$ | 3.04$^{b}$ | 16.66$^{e}$ | 84.57$^{e}$ | 11.37$^{e}$ |
| ۰/۳ لیتر در هکتار سیلیس 0.3 lit/ha silicon | 67.68$^{d}$ | 19.90$^{c}$ | 3.44$^{a}$ | 7.12$^{a}$ | 4.41$^{a}$ | 2.91$^{b}$ | 16.93$^{de}$ | 85.10$^{a}$ | 11.47$^{e}$ |
| ۰/۵ لیتر در هکتار سیلیس 0.5 lit/ha silicon | 70.22$^{cd}$ | 20.13$^{c}$ | 2.95$^{b}$ | 7.04$^{a}$ | 4.34$^{ab}$ | 2.95$^{b}$ | 17.18$^{d}$ | 85.36$^{a}$ | 12.08$^{d}$ |
| ۰/۷ لیتر در هکتار سیلیس 0.7 lit/ha silicon | 73.78$^{bc}$ | 20.05$^{c}$ | 2.71$^{bc}$ | 6.85$^{a}$ | 4.22$^{ab}$ | 2.82$^{b}$ | 17.23$^{cd}$ | 85.94$^{a}$ | 12.73$^{cd}$ |
| ۱ لیتر در هکتار سیلیس 1 lit/ha silicon | 75.07$^{b}$ | 20.83$^{b}$ | 2.21$^{d}$ | 6.49$^{b}$ | 4.04$^{bc}$ | 3.21$^{ab}$ | 17.62$^{c}$ | 84.61$^{e}$ | 13.25$^{c}$ |
| ۱/۲ لیتر در هکتار سیلیس 1.2 lit/ha silicon | 77.15$^{b}$ | 21.66$^{a}$ | 2.38$^{cd}$ | 6.42$^{bc}$ | 3.78$^{c}$ | 3.63$^{a}$ | 18.37$^{b}$ | 84.90$^{a}$ | 14.19$^{b}$ |
| ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس 1.5 lit/ha silicon | 83.55$^{a}$ | 22.00$^{a}$ | 2.26$^{d}$ | 6.08$^{c}$ | 3.37$^{d}$ | 3.06$^{b}$ | 18.93$^{a}$ | 86.08$^{a}$ | 15.83$^{a}$ |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each trait are not significantly different (P≤0.05) based on LSD test.

در این تیمار عملکرد ریشه در رقم افسوس ۸۹/۴۵ تن بر هکتار و در رقم ایزابلا ۷۷/۶۵ تن بر هکتار بود (شکل ۱). برخی از محققین نیز تاثیر استفاده از محلول‌پاشی با سیلیس را بر عملکرد ریشه چغندرقند مثبت گزارش نمودند (۶). مطالعات نشان داده است که کاربرد سیلیس از طریق کاهش جذب سطحی فسفر توسط کلوئیدهای خاک و در نتیجه افزایش دسترسی فسفر برای گیاه (۲۰)، می‌تواند باعث بهبود جذب فسفر و افزایش رشد ریشه شود (۱۶). همچنین سیلیس از طریق افزایش معنی‌دار تولید تنظیم کننده های رشد گیاهی نظیر اکسین، جیبرلین و سیتوکینین، سبب افزایش رشد و بیوماس گیاه می‌شود (۲۳). بر اساس نظر برخی محققین، تأثیر سیلیس بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق

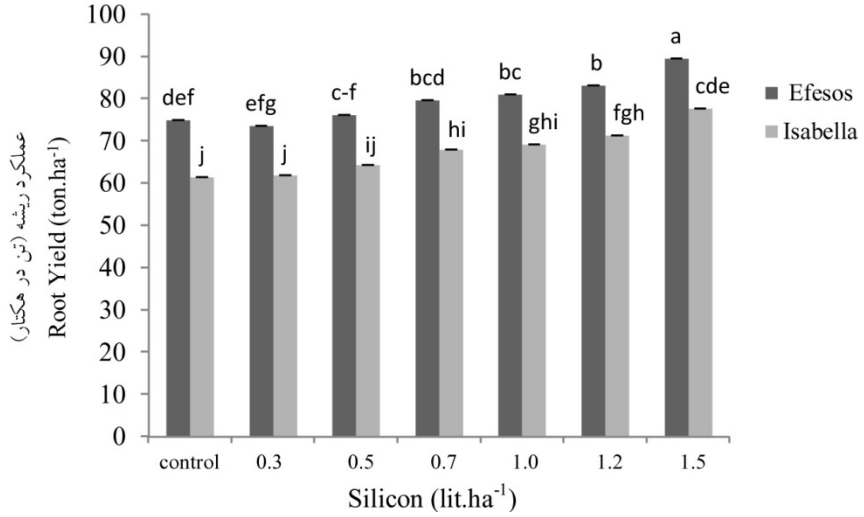


www.SID.ir

Archive of SID



توانایی گیاه را برای استفاده مؤثر از نور بالا می‌برد (۲۱). لذا با افزایش مقدار کلروفیل و فتوسنتز، سنتز مواد در گیاه افزایش و در نتیجه عملکرد گیاه نیز افزایش خواهد یافت.




**شکل ۱- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر عملکرد ریشه دو رقم چغندرقند**

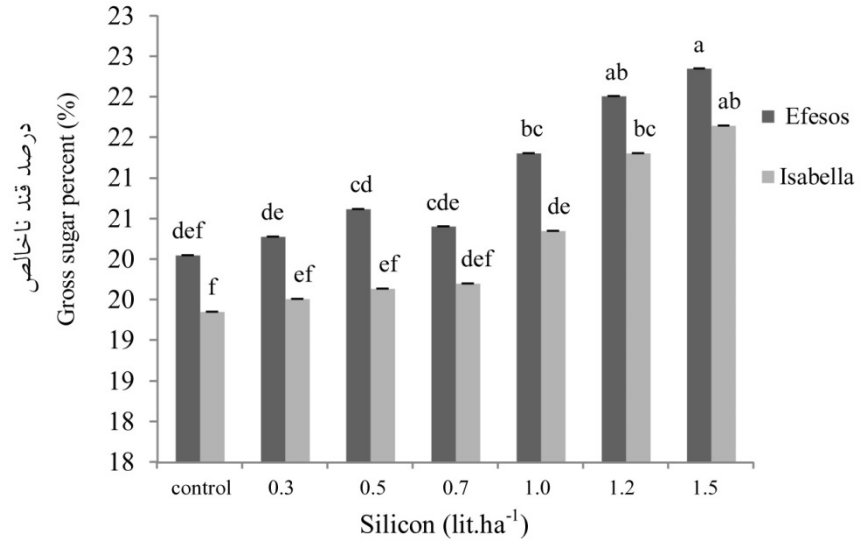
Figure 1. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on root yield of two sugar beet cultivars.

**درصد قند ناخالص:** اثر اصلی سیلیس و رقم بر درصد قند ناخالص (عیار) در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش غلظت سیلیس در محلول مورد استفاده، درصد قند ناخالص در چغندرقند روند افزایشی معنی‌داری داشت، بطوریکه کمترین عیار در تیمار شاهد و بیشترین عیار در تیمار ۱/۵ لیتر بر هکتار بدست آمد که البته با تیمار ۱/۲ لیتر در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در غلظت ۱/۵ لیتر درهکتار، عیار چغندرقند در رقم افسوس ۲۲/۳۵ و در رقم ایزابلا ۲۱/۶۵ بود که هر دو نسبت به تیمار شاهد ۲/۳ عیار افزایش داشتند (شکل ۲). افزایش حدود دو عیار در چغندرقند حائز اهمیت و توجه است. آبادانی و همکاران (۲۰۱۶) درکرمان گزارش نمودند که محلول‌پاشی سیلیس با غلظت‌های ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار باعث افزایش درصد قند ناخالص در چغندر قند شد (۱). لنکا و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که کاربرد سیلیس به فرم کربنی بر روی چغندرقند باعث افزایش درصد قند ناخالص شده است (۱۹). براساس یافته‌های محققان کاربرد سیلیس باعث افزایش کل قندهای محلول در گیاهان دیگری از جمله باقلای مصری (۲)، ذرت (۹) و سویا (۲۸) شده است. کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیوفسفات کربوکسیلاز در برگ مفید است. این آنزیم سوخت و ساز دی اکسید کربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی اکسید کربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به افزایش تولید قندها در گیاه می شود (۱۶).



www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۲- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر درصد قند ناخالص در ریشه دو رقم چغندرقند**

Figure 2. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on gross sugar percent in root of two sugar beet cultivars.

**میزان سدیم در خمیر ریشه**: اثر اصلی سیلیس و رقم بر میزان سدیم ریشه چغندرقند در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج این پژوهش با افزایش غلظت محلول‌پاشی کراپسیل، میزان سدیم در خمیر ریشه رقم ایزابلا و افسوس کاهش یافت (شکل ۳). بیشترین محتوای سدیم در تیمار شاهد و کمترین میزان سدیم در تیمار یک لیتر در هکتار سیلیس بدست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار نداشت (جدول ۳). همچنین محتوای سدیم در رقم افسوس بطور معنی‌داری کمتر از رقم ایزابلا بود (جدول ۳). سدیم یکی از عناصر مضره موجود در ریشه چغندرقند می‌باشد که باعث کاهش ضریب استحصال شکر در کارخانه می‌گردد و نیز تأثیر منفی بر روی عیار دارد. معمولا در چغندرقند تنش‌های محیطی، پاتوژن‌ها و برخی آفات (خصوصا نماتد و ریزومانیا) باعث افزایش مقدار سدیم ریشه و کاهش عیار و استحصال شکر می‌شوند. سیلیس با تأثیر مثبت بر روی دیواره سلولی و ایجاد مقاومت مکانیکی در آن، از ورود عوامل بیماریزا به ریشه جلوگیری می‌نماید (۱۰). همچنین سیلیس می‌تواند با تاثیر بر کانال‌های پروتئینی موجود در غشای سلولی سلول‌های ریشه، از جذب زیاد سدیم جلوگیری نماید (۱۶). آرتیزاک و همکاران (۲۰۱۶) در ترکیه تاثیر سیلیس در کاهش سدیم ریشه در چغندرقند را گزارش نمودند (۷). محققان گزارش نمودند که در شرایط خاک‌های قلیایی، سیلیس از طریق رسوب گذاری در آندودرم و اگزودرم ریشه گیاهان جذب آپوپلاستی سدیم را کاهش می‌دهد (۳۱).

**میزان پتاسیم در خمیر ریشه**: اثر اصلی سیلیس و رقم بر میزان پتاسیم در ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت سیلیس مقدار پتاسیم نیز در ریشه روند نزولی داشت، که البته این کاهش فقط در تیمارهای ۱، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار از لحاظ آماری معنی‌دار بود و سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند(جدول ۳). بیشترین محتوای پتاسیم در تیمار شاهد و کمترین محتوای پتاسیم در رقم ایزابلا و افسوس در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس مشاهده شد (شکل ۴).

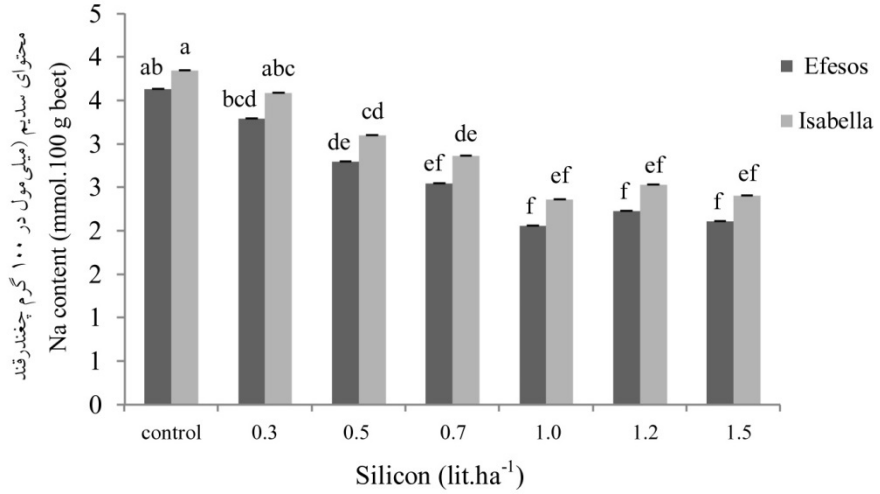


www.SID.ir

Archive of SID

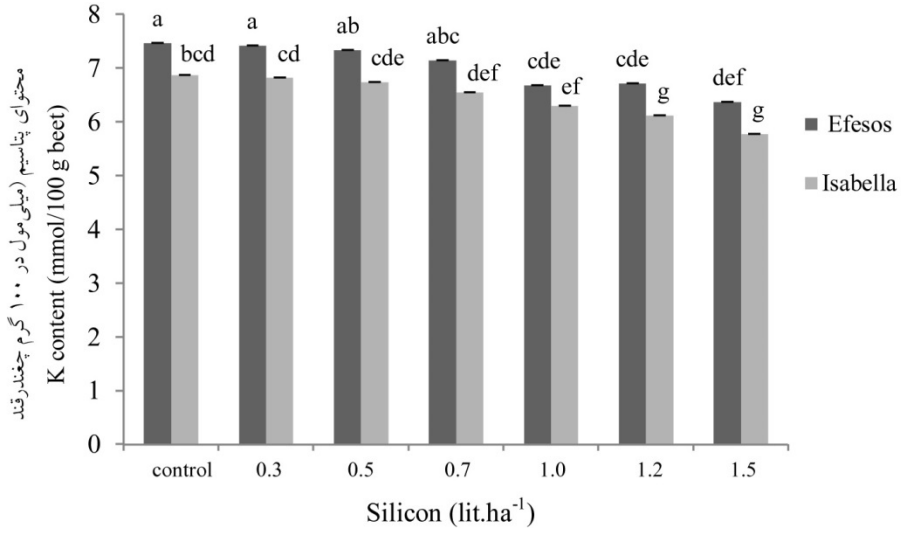


همچنین محتوای پتاسیم در رقم ایزابلا بطور معنی‌داری کمتر از رقم افسوس بود (جدول ۳). آبادانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش نمودند که با افزایش غلظت سیلیس از شاهد به ۴/۵ میلی‌مولار مقدار پتاسیم در ریشه چغندرقند کاهش یافت (۱). پتاسیم نیز یکی از ناخالصی‌های ریشه چغندرقند می‌باشد و افزایش آن در ریشه باعث کاهش مقدار استحصال شکر می‌شود. در یک تحقیق افزایش غلظت سیلیس تا ۱۱۷۶ گرم در هکتار باعث کاهش مقدار پتاسیم در ریشه چغندرقند شد و پس از این غلظت سیلیس، میزان پتاسیم افزایش نشان داد (۶).




**شکل ۳- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر محتوای سدیم در ریشه دو رقم چغندرقند**

Figure 3. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on content of Na in root of two sugar beet cultivars.




**شکل ٤- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر محتوای پتاسیم در ریشه دو رقم چغندرقند**

Figure 4. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on content of K in root of two sugar beet cultivars.



www.SID.ir

Archive of SID


محققان نشان دادند که کاربرد سیلیس در محلول غذایی اثر تنظیم کنندگی در تعادل عناصر غذایی محلول در شرایط بدون تنش در ذرت داشت (۹). لذا به نظر می‌رسد که کاهش میزان پتاسیم تحت تأثیر سیلیس در ارتباط با نقش متعادل سازی این عنصر بر سایر عناصر باشد. برخی از محققان نشان دادند که سیلیس می‌تواند در داخل پیچ خوردگی‌های غشایی و وزیکول‌های واکوئلی در سلول‌های برگی گیاهان تجمع دهنده آن تجمع یابد (۲۴). نتایج نشان داده است که جذب سیلیس در گیاه توسط بازدارنده های تخصصی کانال های ۲ و ۴ دی نیتروفنل و همچنین توسط $HgCl_2$ که یک بازدارنده تخصصی کانال‌های آبی است کاهش می‌یابد. این موضوع در برنج، جو و خیار جذب و انتقال مجدد سیلیس را محدود نموده است؛ اما در سیب‌زمینی هر دوی این بازدارنده‌ها اثر معکوس داشته‌اند (۲۵). لذا تأثیر سیلیس با توجه به گونه گیاهی و حتی نوع رقم آن متفاوت است و واکنش گیاه به جذب بیشتر عناصری مانند پتاسیم به مقدار سیلیس در گیاه و نیز عملکرد ناقلین و بازدارنده‌های سیلیس در گیاه بستگی دارد (۳۱).

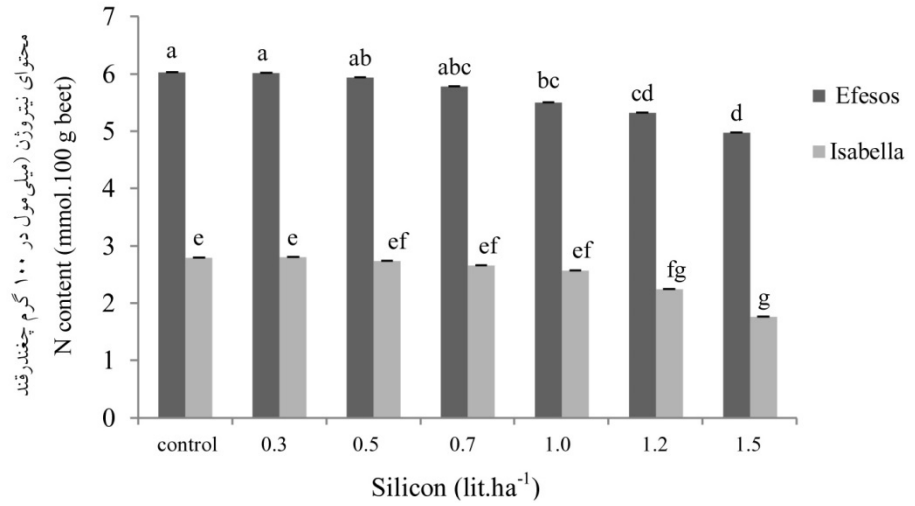
**میزان نیتروژن مضره در خمیر ریشه**: اثر اصلی سیلیس و رقم بر میزان نیتروژن مضره در ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج این پژوهش مقدار نیتروژن فقط در تیمارهای ۱، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار، بطور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد و در سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۳). بیشترین محتوای نیتروژن ریشه در تیمار شاهد و کمترین محتوای نیتروژن ریشه در دو رقم مورد مطالعه در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس مشاهده شد (شکل ۵). همچنین میزان نیتروژن مضره در رقم افسوس بطور معنی‌داری بالاتر از رقم ایزابلا بود (جدول ۳). کاهش نیتروژن ریشه با کاربرد سیلیس به‌صورت محلول پاشی توسط برخی محققان تایید شده است (۱). یکی از ناخالصی‌های ریشه که به علت افزایش میزان کوددهی با کودهای ازته در ریشه چغندرقند افزایش می‌یابد، نیتروژن است که باعث کاهش ضریب استحصال شکر می‌شود. در این پژوهش اگرچه مقدار نیتروژن ریشه در تیمار شاهد از دامنه نرمال (حدود ۳ تا ۶ میلی‌مول در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) بیشتر نبود، اما استفاده از سیلیس سبب کاهش مقدار جذب نیتروژن توسط ریشه در تیمارهای ۱، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار در مقایسه با تیمار شاهد شد. سیلیس در غده سیب زمینی نیز همانند چغندرقند باعث کاهش مقدار نیتروژن ریشه گردید (۱۲). احتمالاً یکی از دلایل اینکه اختلاف بین تیمارها تا تیمار ۷۰۰ سی‌سی در هکتار معنی‌دار نبود این باشد که به‌دلیل مدیریت بهینه کوددهی در مزرعه بتواند دامنه جذب نیتروژن توسط ریشه چندان بالا نبود که سیلیس اختلافات معنی‌داری را بین تیمارها ایجاد نماید. به نظر می‌رسد چنانچه مدیریت کوددهی مطلوب نباشد و جذب نیتروژن ریشه چغندر از حد نرمال افزایش یابد، نقش سیلیس در تعدیل آن به‌عنوان یک ناخالصی مهم در ریشه بارزتر و پررنگ تر گردد. این موضوع توسط برخی از محققان نیز تأیید و عنوان شده است که کاربرد سیلیس تا غلظت ۱۱۷۶ گرم در هکتار باعث کاهش مقدار نیتروژن مضره ریشه شد و بعد از این غلظت، افزایش نیتروژن مشاهده گردید (۷).



www.SID.ir

Archive of SID

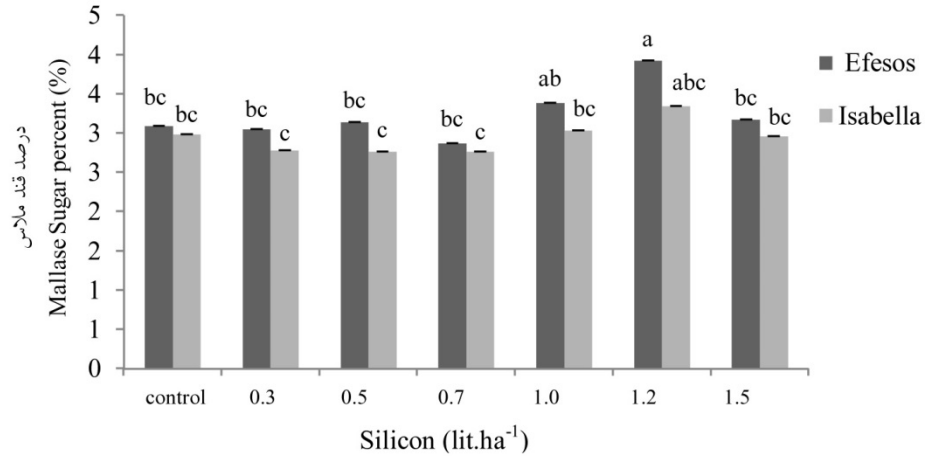





**شکل ۵- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر مقدار نیتروژن مضره ریشه دو رقم چغندرقند**

Figure 5. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on content of harmful N in root of two sugar beet cultivars.

**درصد قند ملاس**: اثر اصلی سیلیس و رقم بر درصد قند ملاس در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). درصد قند ملاس فقط در غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار کراپسیل نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در این تیمار درصد قند ملاس در رقم افسوس ۲۶ درصد و در رقم ایزابلا ۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۶). برخی محققان بیان کردند که تاثیر سیلیس بر درصد قند ملاس معنی‌دار نبود (۷). به نظر می‌رسد یکی از دلایل تاثیر جزئی سیلیس بر درصد قند ملاس این باشد که این پارامتر از تفاضل درصد قند ناخالص از درصد قند خالص بدست آمده و افزایش توأمان درصد قند ناخالص و درصد قند خالص تحت تاثیر سیلیس در این آزمایش، باعث عدم افزایش معنی‌دار درصد قند ملاس در تمام تیمارهای سیلیس غیر از غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار شده است.




**شکل ٦- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر درصد قند ملاس ریشه دو رقم چغندرقند**

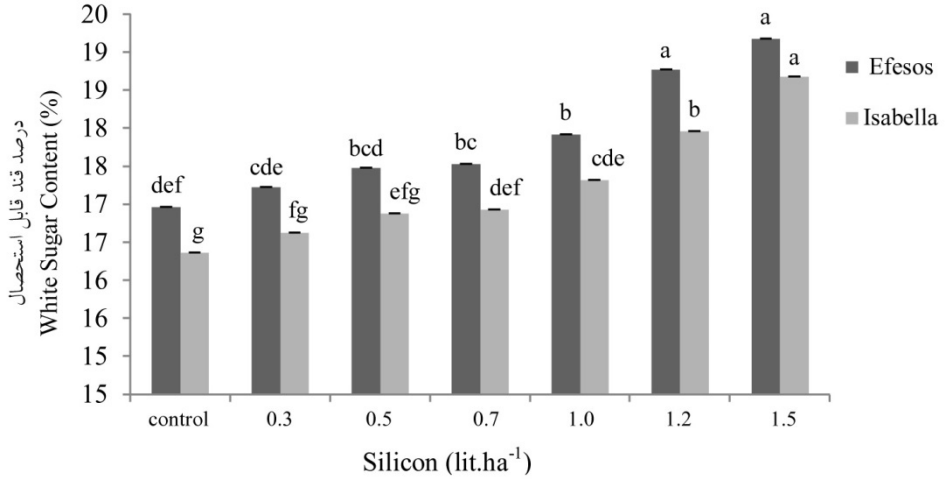
Figure 6. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on Mallase sugar percent in root of two sugar beet cultivars.



www.SID.ir

Archive of SID


**درصد قند قابل استحصال**: اثر اصلی سیلیس و رقم بر درصد قند قابل استحصال یا مقدار شکر سفید ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). درصد قند قابل استحصال با افزایش غلظت سیلیس افزایش معنی‌داری نشان داد، بطوریکه کمترین میزان در تیمار شاهد و بیشترین میزان برای هر دو رقم در تیمار ۱/۵ لیتر بر هکتار مشاهده شد (شکل ۷). همچنین رقم افسوس از نظر درصد قند قابل استحصال برتری معنی‌داری نسبت به رقم ایزابلا داشت (جدول ۳). در یک تحقیق محلول پاشی با سیلیس با غلظت ۴/۳ گرم در لیتر و هشت نوبت بر روی نیشکر باعث افزایش درصد قند قابل استحصال شد (۳۰). کاربرد سیلیس با منبع کربنی نیز باعث افزایش درصد قند قابل استحصال از ۱۷/۷۳ درصد به ۱۸/۴۰ درصد در چغندرقند شد. این نتیجه در شرایط محلول پاشی سیلیس در ۵ مرحله بدست آمد و تعداد پاشش کمتر نتیجه‌ای در افزایش درصد قند نداشت (۱۹). آنچه به نظر می‌رسد این است که سیلیس با تاثیر بر تجمع بیشتر ساکاروز در ریشه در شهریور ماه و کاهش میزان ناخالصی‌های ریشه از قبیل سدیم و پتاسیم و نیتروژن باعث افزایش درصد قند قابل استحصال شده که این نتیجه توسط برخی محققین نیز تایید شده است (۱ و ۷).




**شکل ۷- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر درصد قند قابل استحصال دو رقم چغندرقند**

Figure 7. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on white sugar content in root of two sugar beet cultivars.

**راندمان استحصال شکر**: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتورهای آزمایشی بر راندمان استحصال شکر معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به اینکه راندمان استحصال شکر از تقسیم درصد قند خالص بر درصد قند ناخالص بدست می‌آید، در پژوهش حاضر هر یک از فاکتورهای صورت و مخرج کسر به تناسب با یکدیگر افزایش یافته‌اند و لذا راندمان تغییر معنی‌داری نکرده است. این نتیجه با نتایج آبادانی و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر افزایش راندمان استحصال شکر در چغندر قند در تیمار ۴/۵ میلی‌مولار سیلیس (۱) مطابقت نداشت.

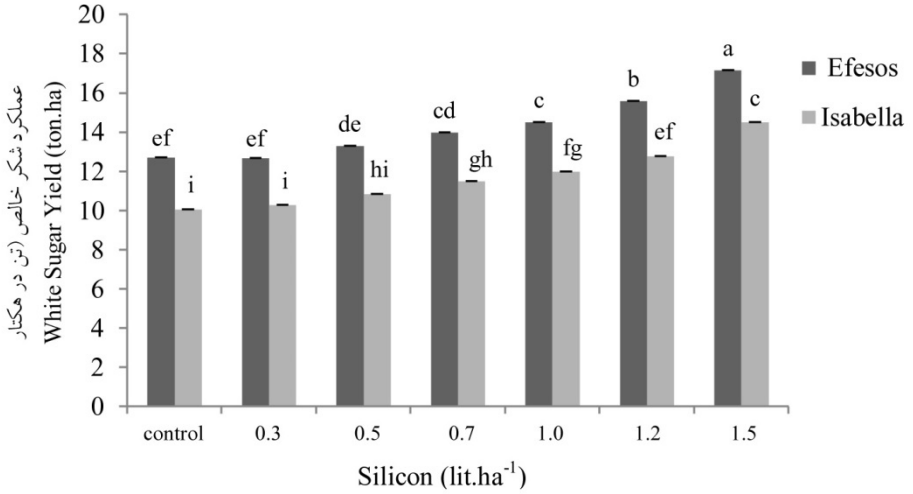
**عملکرد شکر خالص**: اثر اصلی سیلیس و رقم بر عملکرد شکر خالص از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت سیلیس در تیمارهای آزمایشی عملکرد شکر خالص افزایش یافت، بطوریکه کمترین و بیشترین عملکرد


www.SID.ir

Archive of SID



شکر خالص به ترتیب در تیمارهای شاهد و ۱/۵ لیتر در هکتار بدست آمد. در تیمار حداکثر غلظت سیلیس، عملکرد شکر خالص، ۳۹/۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (جدول ۳). در این تیمار، عملکرد شکر خالص در رقم افسوس ۱۷/۱۵ تن بر هکتار و در رقم ایزابلا ۱۴/۵ تن بر هکتار بود (شکل ۸). گزارش شده که با افزایش غلظت سیلیس به‌صورت محلول‌پاشی بر روی چغندرقند عملکرد شکر ناخالص و خالص به ترتیب ۴۵ و ۴۴ درصد افزایش یافت (۶). این افزایش با کاربرد سیلیس با منبع آلی نیز مشاهده شد (۱۹). محققان نشان دادند که کاربرد سیلیس چه به‌صورت خاکی و چه به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش ماده خشک غده‌های سیب زمینی گردید (۲۶). کاربرد سیلیس در افزایش سطح برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش مقدار کل کلروفیل برگ، قندها و پروتئین های قابل حل نقش موثری دارد و از این طریق می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاه شود (۲، ۱۲ و ۲۳). با توجه به اینکه عملکرد شکر خالص حاصل‌ضرب عیار خالص در عملکرد ریشه می‌باشد، از نظر کارخانجات (بدلیل در نظر گرفتن قند خالص) بسیار حائز اهمیت است. لذا سود کارخانجات در نهایت بر اساس این فاکتور محاسبه می‌شود.




**شکل ۸- اثر پنج مرحله محلول‌پاشی سیلیس (از مرحله ٦ برگی، هر دو هفته یک‌بار) بر عملکرد شکر خالص دو رقم چغندرقند**

Figure 7. Effect of five stages of silicon foliar spraying (from 6-leaf stage, once every two weeks) on white sugar yield of two sugar beet cultivars.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محلول پاشی سیلیس توانسته است تاثیر بسیار خوبی بر بهبود صفات کمی و کیفی چغندرقند بگذارد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی سیلیس و رقم بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز راندمان استحصال شکر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل سیلیس در رقم برای هیچ کدام از صفات معنی‌دار نشد که نشان می‌دهد روند پاسخ‌دهی این دو رقم به افزایش سطوح سیلیس کم و بیش مشابه بوده است. رقم افسوس در صفات عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، درصد قند ملاس، درصد قند قابل استحصال و عملکرد شکر خالص، برتری معنی‌داری نسبت به رقم ایزابلا داشت. همچنین از نظر میزان ناخالصی‌ها، این رقم میزان سدیم کمتر و نیتروژن و پتاسیم بیشتری در مقایسه با رقم ایزابلا داشت. افزایش غلظت



www.SID.ir

Archive of SID


محلول‌پاشی سیلیس، باعث افزایش عملکرد ریشه شد، بطوریکه بیشترین عملکرد ریشه با ۲۲/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد، در تیمار سیلیس ۱/۵ لیتر در هکتار بدست آمد. در این آزمایش در غلظت ۱/۵ لیتر درهکتار، عیار چغندرقند ۲۱/۶۵ بود که به نسبت تیمار شاهد ۲/۳ عیار افزایش یافت. نتایج نشان داد که مقدار سدیم ریشه همراه با افزایش غلظت کراپسیل، روند کاهشی معنی‌داری دارد. اما مقدار پتاسیم و نیتروژن ریشه فقط در غلظت‌های ۱، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار بطور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. درصد قند ملاس فقط در غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار کراپسیل نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس عملکرد شکر خالص، ۳۹/۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. عملکرد شکر خالص در این تیمار، ۱۷/۵ تن بر هکتار در رقم افسوس و ۱۴/۵ تن بر هکتار در رقم ایزابلا بود. با توجه به اینکه این فاکتور حاصل‌ضرب عملکرد ریشه در عیار خالص بوده و مهمترین فاکتور از دیدگاه کارخانجات قند می‌باشد، به نظر می‌رسد بهترین تیمار، غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار سیلیس (کراپسیل) در شرایط پژوهش حاضر بود.

## سپاسگزاری

نویسندگان، از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه پیام نور به‌دلیل حمایت مالی از پژوهش حاضر، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

## منابع


1. Abadani, M., Naser Alavi, M., Arvin, M.J., and Farahbakhsh, H. 2016. The effect of silicon on qualitative and quantitative characteristics of sugar beet. M.Sc. thesis. Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, 95 p. (In Persian)
2. Abdalla, M.M. 2011. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. Agric. Biol. J. North America., 2: 207-220.
3. Abdollahian noghabi, M., Shikholeslami, R., and Babaee, B. 2005. Technical terms of sugar beet quantity and quality. J. Sugar beet. 21(1): 101-104. (In Persian)
4. Amin, G.A., Badr, E.A., and Afifi. M.H.M. 2013. Root yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in response to biofertilizer and foliar application with micronutrients. World Appl. Sci., J., 27(11): 1385-1389.
5. Armin, M., and Asgharipour, M. 2012. Effect of time and concentration of boron foliar application on yield and quality of sugar beet. Am-Euras. J. Agri. and Environ. Sci., 12(4): 444-448.
6. Artyszak, A., Gozdowski, D., and Kucinska, K. 2015. The effect of silicon foliar fertilization in sugar beet *Beta vulgaris* L. ssp. vulgaris conv. crassa (Alef.) prov. altissima (Döll). Turk. J. Field Crops., 20(1): 115-119.
7. Artyszak, A., Gozdowski, D., and Kucińska, K. 2016. Effect of foliar fertilization with silicon on the chosen physiological features and yield of sugar beet. Fragm. Agro., 33(2): 7–14.
8. Asadzadehs, N., Moosavi S.Gh., and Seghatoleslami. M.j. 2017. Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and $SiO_2$ fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L.). Appl. Field Crops Res., 30(1): 1-17. (In Persian)
9. Bakhat, H.F.S.G. 2012. Role of silicon in plasmalemma H-ATPase hydrolytic and pumping activity in maize (*Zea mays* L.). Ph.D. thesis. Justus Liebig University, Giessen, Germany, 136 p.
10. Cai, K., Gao, D., Chen, J., and Luo, S. 2009. Probing the mechanisms of silicon – mediated pathogen resistance. Plant Signal Behav., 4: 1-3.
11. Casey, W.H., Kinrade, S.D., Knight, C.T.G., Rains, D.W., and Epstein, E. 2003. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. Plant Cell Environ., 27: 51-54.
12. Crusciol, C.A.C., Pulz, A.L., Lemos, L.B. Soratto, R.P., and Lima, G.P.P. 2009. Effects of silicon and drought




www.SID.ir

Archive of SID



stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. Crop Sci., 49: 949-954.
13. Farazi, M., Goldani, M., Nasiri Mahallati, M., Nezami, A., and Rezaei, J. 2018. Investigating the effect of silicon and potassium foliar spraying and additional soil application of potassium on quantitative and qualitative yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under moisture stress conditions. Appl. Field Crops Res., 31(3): 1-19. (In Persian)
14. Flavy, A., and Vukou. K. 1977. Physics and Chemistry of Sugar Beet in Sugar Manufacture. Elsiviere scientific pub. Co. Hungry, 595 p.
15. Ghasemi, M., Mobasser, H.R., Asadimanesh, H., and Gholizadeh, A. 2014. Investigating the effect of potassium, zinc and silicon on grain yield, yield components and their absorption in grain rice (*Oryza sativa* L.). E. J. Soil Manage. Sustain. Prod., 4(2): 1-24. (In Persian)
16. Guntzer, F., Keller, C., and Meunier, J-D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. Agron. Sustain. Dev., 32: 201-213.
17. Hellal, F.A., Taalab A.S., and Safaa, A.M. 2009. Influence of nitrogen and boron nutrition balance and sugar beet yield grown in calcareous Soil. Ozean J. Appl. Sci., 2: 1-10.
18. Kristek, A., Stojić, B., and Kristek, S. 2006. Effect of the foliar boron fertilization on sugar beet root yield and quality. Agri., 12(1): 22-26.
19. Lenka, M., Ludek, H., Joany lizet, H.K., and Ondrej, S. 2015. Yield and technological quality of sugar beet after Ext radical nutrition. Mendel. Net., 356-361.
20. Lee, Y.B., and Kim, P.J. 2007. Reduction of phosphate adsorption by ion competition with silicate in soil. Korean J. Environ. Agric., 26: 286-293.
21. Lu, Y.G. Ma, J., Teng, Y., He, J.Y., Christie, P., Zhu, L.J., Ren, W.J., Zhang, M.Y., and Deng, S.P. 2018. Effects of silicon on the growth, physiology and cadmium translocation of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) in cadmium contaminated Soil. Pedosphere., 28(4): 680-689.
22. Ma J.F., and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Sci., 11(8): 392-397.
23. Mali, M., and Aery, N.C. 2009. Effects of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 40: 1041-1052.
24. Neumann, D., and De Figueiredo, C. 2002. A novel mechanism of silicon uptake. Protoplasma., 220: 59–67.
25. Nikolic. M., Nikolic, N., Liang, Y., Kirkby, E.A., and Romheld, V. 2007. Germanium-68 as an adequate tracer for silicon transport in plants. Characterization of silicon uptake in different crop species. Plant Physiol., 143: 495–503.
26. Pilon, C., Soratto R.P., and Moreno, L.A. 2013. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. Crop Sci., 53: 1605-1614.
27. Pulz, A.L., Crusciol, C.A.C., Lemos L.B., and Soratto, R.P. 2008. Silicate and limestone effects on potato nutrition, yield and quality under drought stress. (In Portuguese, with English abstract). Rev. Bras. Cienc. Solo., 32: 1651-1659.
28. Shen, X., Li, J. Duan, L. Li, Z., and Eneji, A.E. 2009. Nutrient acquisition by soybean treated with and without silicon under ultraviolet-B radiation. J. Plant Nut., 32: 1731-1743.
29. Tubana, B.S., Babu T., and Datnoff, L.E. 2016. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. Soil Sci., 181: 1-19.
30. Wijaya, K.A. 2016. Effects of si-fertilizer application through the leaves on yield and sugar content of sugarcane grown in soil containing abundant N. Agric. Agric. Sci. Procedia., 9: 158-162.
31. Zandi, P., Kumar Basu, S., and Jing, R. 2015. A review for importance of Silicon in plants "Assimilation, transportation and its impact on mineral stress under acidic condition". New Find. Agric., 10(2):119-142. (In Persian)



www.SID.ir