Archive of SID

مجله دانش کشاورزی پایدار/ جلد ۱۹/۱ شماره ۱/ سال ۱۳۸۸

تأثیر سیلیسیوم بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری

لیلا سیدلر فاطمی[۱]، سید جلال طباطبایی[۲*] و اسماعیل فلاحی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۸۸/۴/۲۰

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشگاه تبریز
۲- استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه باغبانی، دانشگاه آیداهو آمریکا
* مسئول مکاتبه E-mail: tabatabaei@tabrizu.ac.ir

چکیده

امروزه تنش شوری مهم‌ترین تنش غیرزیستی برای گیاهان است و مطالعات جدید نشان داده که سیلیسیوم نقش بسیار مهمی در مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری دارد. بدین منظور و جهت ارزیابی تاثیر سیلیسیوم و شوری بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت فرنگی(*Fragaria × ananassa* Duch) رقم سلوا، آزمایشی با سه سطح سیلیسیوم (mM 2، 1، 0) و سه سطح کلرید سدیم (mM 40، 20، 0) به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط کنترل شده گلخانه‌ای و به صورت آبکشت انجام شد. بعد از اعمال تیمار و در مرحله گلدهی شدت فتوسنتز گیاه اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش نیز، کل گیاهان از بستر خارج شده و خصوصیات بیوشیمیایی آن‌ها شامل غلظت عناصر غذایی، پرولین و نشت الکترولیت اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین غلظت سیلیسیوم برگ نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شوری تاثیر معنی‌داری بر شدت فتوسنتز، نشت الکترولیت و غلظت پرولین داشت. با افزایش سطوح شوری، نشت الکترولیت و غلظت پرولین افزایش و شدت فتوسنتز کاهش یافت، ولی کاربرد سیلیسیوم در شرایط شوری، شدت فتوسنتز را افزایش داد. نشت الکترولیت و غلظت پرولین نیز با تیمار سیلیسیوم کاهش یافت. تنش شوری، غلظت نیترات، پتاسیم، نیتروژن و نسبت K/Na را کاهش و غلظت سدیم و کلر را افزایش داد. افزودن سیلیسیوم به محلول غذایی، غلظت سدیم و کلر را کم ولی غلظت نیترات ، پتاسیم، نیتروژن و نسبت K/Na اضافه نمود. غلظت فسفر تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سیلیسیوم در محلول غذایی، غلظت آن نیز در برگ افزایش یافت، ولی با افزایش سطوح کلرید سدیم، جذب آن کم شده و غلظت نیز کاهش پیدا کرد. بر اساس نتایج حاصل و با در نظر گرفتن سطوح شوری می‌توان استفاده از یک میلی‌مولار سیلیسیوم را در شرایط شوری، توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: توت فرنگی، سیلیسیوم، شوری، عناصر غذایی، فتوسنتز

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Silicon on the Photosynthesis Rate and Nutrient Concentration of Strawberry Grown Under Saline Conditions

LS Fatemy[1], SJ Tabatabaei[2*] and E Fallahi[3]

[1]PhD Student of Horticultural Science, University of Tabriz, Iran
[2]Professor, Dept of Horticultural Science, University of Tabriz, Iran
[3]Dept of Pomology, University of Idaho, 83660, Idaho, USA
*Corresponding author: Email: tabatabaei@tabrizu.ac.ir

Abstract

Salinity is recently regarded as the major abiotic stress for plant and new studies show that Si plays an important role in plant resistance to environmental stresses such as salinity. An experiment was conducted to study the effect of Si and NaCl salinity on the growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) cvs "Selva" grown hydroponically in the controlled glasshouse. Three levels of NaCl (0, 20 , 40 mM) and three levels of Si (0, 1 , 2 mM) was factorially combined in a completely randomized design with four replicates. The photosynthesis rate was measured in the flowering stage. At the end of the experiment, the plants were totally removed and biochemical properties such as nutrient concentration, proline content and electrolyte leakage were measured. The results showed that increasing the NaCl Levels, increased the proline content and electrolyte leakage, but reduced the photosynthesis rate. Silicon treatments improved photosynthesis rate and reduced the proline content and electrolyte leakage. In the saline conditions, concentration of N, NO^-_3, K and K/Na ratio were reduced, however, concentration of Na and Cl^- increased. Increasing the silicon in the saline condition, reduced concentration of Na and Cl^- in the leaf tissue. Concentration of N, NO^-_3, K and K/Na were increased by silicon application. Concentration of P was not affected by the treatments. The results showed that, the concentration of Si in plant was increased by Si addition into the nutrient solution, but was reduced in the saline condition. Based on the results of this study the application of Si in a concentration of 1mM could be recommended for salinity stress conditions.

Keywords: Nutrient concentration, Photosynthesis rate , Salinity, Silicon, Strawberry

مقدمه

توت فرنگی یکی از گیاهان چند ساله علفی است که امروزه در زمره تولیدات مهم و تجاری قرار گرفته است. این محصول به دلیل عطر ، طعم و محتویات سرشار از ویتامین آن ، جایگاه خود را در رژیم غذایی میلیون ها نفر در جهان پیدا کرده است (کاشی و حکمتی1370 و طباطبایی و همکاران 2006). یکی از عوامل موثر در رشد و عملکرد توت فرنگی کیفیت آب مصرفی و زمین کاشت این گیاه است و چنانچه غلظت کلرید سدیم افزایش یابد، از عملکردآن به شدت کاسته می شود (کایا و همکاران 2002). شوری همواره به عنوان یک معضل در تاریخ مطرح بوده و دوره های فعال نظام کشاورزی را تحت تاثیر قرار داده است. پاسخ همه گیاهان به شوری بالا

www.SID.ir

Archive of SID

بسته به غلظت نمک در بافت آنها، زمان مواجهه با شوری و ترکیب نمک متفاوت است (لیانگ 1999). اثرات زیان آور شوری بالا بر روی گیاه در همه سطوح از کاهش تولید تا مرگ می تواند مشاهده شود. توقف رشد در همه گیاهان رخ می‌دهد، اما سطوح تحمل و میزان کاهش رشد در غلظتهای کشنده نمک در گونه‌های مختلف گیاهی تفاوت‌های زیادی با هم دارند. تغییر وضعیت آبی گیاه باعث توقف رشد، جلوگیری از تقسیم و طویل شدن سلولی و مرگ سلولی می شود. تنش نمک بر همه فرایند های اصلی مثل رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم چربی و انرژی اثر دارد (ما 2004). از طرف دیگر تغذیه بهینه با عناصر مختلف یکی از روش‌های تعدیل کننده اثرات شوری شناخته می‌شود. سیلیسیوم شاید یکی از عناصر مهم در تعدیل استرس شوری باشد. سیلیسیوم دومین عنصر فراوان پوسته زمین (31 درصد) بعد از اکسیژن (49 درصد) است (اسپوسیتو 1989، اپستین 1994، مارشنر 1995 وکورالس و همکاران 1997). در محلول خاک سیلیسیوم به طور عمده به صورت اسید مونو سیلیسیک [1] وجود دارد که حل پذیری آن در دمای 25 درجه سانتی گراد، در حدود دو میلی مول در لیتر است (مارشنر 1995). اصولاً گیاهان سیلیسیوم را به صورت اسید مونو سیلیسیک محلول در آب یا به صورت آنیون Si^{-4} جذب می‌کنند (ماتیچنکوو و کاسبروکوو 2004). گرچه سیلیسیوم برای گیاهان یک عنصر کانی ضروری در نظر گرفته نشده است، ولی در برخی گیاهان به عنوان یک عنصر ضروری است (اپستین 1994 و مارشنر 1995). نقش های متعددی را به سیلیسیوم مرتبط دانسته اند که از آن جمله می توان به بهبود عدم توازن مواد غذایی، کاهش سمیت مواد معدنی ،بهبود خصوصیت مکانیکی بافت های گیاه و افزایش مقاومت به دیگر استرس های زنده و غیر زنده اشاره کرد (چریف و همکاران 1994 و کورالس و همکاران 1997). ماتو و همکاران (1986) نیز گزارش کردند که کاربرد سیلیسیوم در گیاه برنج و تحت شرایط شوری انتقال Na^{+} را به شاخه ها کاهش داده و تولید ماده خشک را افزایش می دهد. به نظر می رسد اثرات مفید سیلیسیوم تحت شرایط مطلوب چندان چشمگیر نبوده وتنها زمانی که گیاهان در معرض شرایط تنش قرار می گیرند، اثرات سودمند سیلیسیوم مشاهده می‌شود (لوین و ریمان 1969، اپستئین 1994 و ایواساکی و همکاران 2000). کاربرد سیلیسیوم اثرات تنش آبی را تعدیل و رشد گیاه را افزایش می دهد.آزمایشی که کایا و همکاران (2006) بر روی گیاه ذرت انجام دادند، نشان داد که در شرایط تنش آبی غلظت کلسیم، پتاسیم، وزن تر، وزن خشک، محتوای کلروفیل و شدت فتوسنتز کاهش می یابد و کاربرد سیلیسیوم در این شرایط منجر به افزایش این پارامترهای فیزیولوژیکی شده، رشد گیاه را بهبود و مقدار تولید را افزایش می‌دهد. اگر چه مطالعات زیادی در مورد نقش سیلیسیوم در کاهش اثرات نا مطلوب شوری در گیاهان متعدد انجام گرفته است، ولی تاکنون هیچ تحقیق جامعی در مورد کاربرد سیلیسیوم در گیاه توت فرنگی تحت تنش شوری انجام نگرفته است. هدف از این آزمایش مطالعه تأثیر کاربرد سیلیسوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه توت فرنگی در شرایط شوری می باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی هایدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. نشا های آماده گیاه توت فرنگی رقم سلوا[2] در اوایل آبان سال 86 به بستر کاشت انتقال یافتند. بستر کاشت مورد استفاده در این آزمایش گلدان‌های پلاستیکی سفید به صورت مکعب مستطیل به طول یک متر و عرض 25 سانتیمتر شامل مخلوطی از پرلایت و ورمیکولایت به نسبت (V/V) 1:1 بود. در هر بستر چهار گیاه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح کلرید سدیم (40 mM، 20، 0) و سه سطح سیلیسیوم (2mM و 1، 0) و با چهار تکرار انجام شد. از محلول هوگلند به عنوان محلول غذایی استفاده شد.

[1] $Si(OH)_4$

[2] Selva

www.SID.ir

Archive of SID

pH محلول ها در محدوده 6/5 تنظیم شد. مقدار EC محلول ها در سه سطح کلرید سدیم (40 mM، 20، 0)، به ترتیب (5/82 ms/cm و 3/82، 1/92) بود. برای تامین سیلیسیوم نیز از منبع اسید سیلیسیک استفاده شد. شدت فتوسنتز در مرحله گلدهی با دستگاه فتوسنتزمتر IRGA[1] (Walz, Da, Model1010, Germany) بین ساعات 9 تا 14 و با شدت نور ثابت در حدود $800\ \mu molm^{-2}s^{-1}$ و غلظت CO_2 در حدود 500 میلی گرم در لیتر اندازه گیری شد. شدت پرولین با استفاده از روش رنگ سنجی (بیتس و همکاران 1973) اندازه گیری شد. بدین منظور 0/5 گرم بافت تازه برگی برداشت و با اسید سولفوسالیسیک و اسید استیک مخلوط گردید. پس از افزودن محلول نین هیدرین، نمونه ها در حمام آب گرم قرار گرفت. در انتها میزان جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Moticm Cl-45240-00,China) در طول موج 520 نانومتر قرائت گردید. جهت اندازه گیری درصد نشت الکترولیت[2] بر اساس روش لوتس و همکاران (1996) نمونه های برگی در اندازه های یک سانتیمتر بریده و جهت پاک شدن آلودگی های سطحی سه بار با آب مقطر شسته شد. نمونه ها بعد از شستشو، در داخل لوله های شیشه ای درپوش دار شامل10 میلی لیتر آب مقطر ، به مدت دو ساعت و در دمای $25^{\circ}C$ قرار داده شد و بعد از آن هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) با استفاده از دستگاه EC متر (EC 215, HANA Instruments) اندازه گیری شد. سپس نمونه ها در حمام آب گرم $95^{\circ}C$ به مدت 15 دقیقه قرار گرفته و بعد از سرد شدن در دمای اتاق ، هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه گیری شد. درصد نشت الکترولیت (ELP) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\text{درصد نشت الکترولیت (ELP)} = \frac{EC_1}{EC_2}\times 100$$

نیتروژن موجود در برگ ها با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد (امامی 1375). نمونه های خشک و آسیاب شده پس از مراحل هضم در دمای $450^{\circ}C$ ، در دستگاه تقطیر با استفاده از NaOH و اسید بوریک و معرف های رنگی تیتره گردیده و مقدار نیتروژن محاسبه شد. برای اندازه گیری فسفر نیز نمونه های خشک گیاهی با اسید نیتریک مخلوط و به مدت 12 ساعت در دمای $100^{\circ}C$ در اجاق هضم شد و محتوای آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 430 نانومترتعیین شد (ماف 1985). برای اندازه گیری پتاسیم و سدیم نیز هضم نمونه ها مشابه فسفر انجام گرفته و مقادیر آنها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر با روش نشر شعله ای اندازه گیری شد. کلر موجود در برگ ها نیز بر اساس روش ماف (1985) با روش تیتراسیون اندازه گیری شد. برای این منظور ابتدا ماده خشک گیاهی با نیترات نقره و اسید نیتریک و پرمنگنات پتاسیم مخلوط و سپس آن را رقیق کرده و استون همراه با محلول فریک آهن به آن افزوده شد و در انتها با محلول تیوسیانات پتاسیم تیتر گردید. غلظت نیترات نیز با استفاده از دستگاه نیترات سنج (HORIBBA, Japan) و در بافت تازه برگی اندازه گیری شد. سیلیسیوم موجود در برگ ها با روش عصاره‌گیری با مخلوط اسیدکلریدریک و اسید فلوریدریک، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و طول موج 650 نانومترتعیین شد (الیوت و سیندر 1991). داده های حاصل از اندازه گیری های فوق توسط نرم افزار آماری SAS نسخه 8/02 تجزیه آماری و میانگین های حاصل با روش LSD[3] باهم مقایسه شدند. نمودارها نیز در برنامه Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که شوری اثر کاهنده معنی داری بر شدت فتوسنتز داشت (شکل1). به طوریکه با افزایش غلظت کلرید سدیم، از میزان فتوسنتز کاسته شد. این یافته توسط محققین دیگر نیز تایید شده است (هاتوری و همکاران 2008). کاهش فتوسنتز بر اثر شوری از چندین بعد قابل تجزیه و تحلیل است. اول اینکه افزایش پتانسیل اسمزی در شرایط شوری ، باعث نشت Na^+ به درون سیتوزول شده و انتقال الکترون فتوسنتزی را غیر فعال

[1]Infra Red Gas Analyzer
[2]Electrolyte leakage percentage
[3]Least significant difference

www.SID.ir

Archive of SID

می کند. همچنین ، جذب نمک زیاد با جذب سایر یون های غذایی به ویژه K^+ رقابت کرده و باعث کاهش عملکرد اکسیژن و اختلال در فتوسیستم II می‌شود. از طرف دیگر، سمیت نمک با کاهش هدایت روزنه‌ای، تغییر فعالیت آنزیم‌های موثر در فتوسنتز و پیشرفت عوارض پیری ناشی از شوری منجر به کاهش فتوسنتز می شود. به نظر می رسد در شوری های ضعیف کاهش فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و در شوری‌های بالا به دلیل واکنش های تخریبی و بیوشیمیایی است (پاریدا و داس 2005). همانطور که در شکل 1 مشاهده می شود، با افزودن سیلیسیوم به محلول غذایی در شرایط شوری میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد. زو و همکاران (2004) گزارش کردند که سیلیسیوم با کاهش جذب نمک و افزایش نسبت K/Na میزان فتوسنتز را افزایش می دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز به وضوح ثابت کرد که سیلیسیوم با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، میزان فتوسنتز را در شرایط شوری افزایش می‌دهد (شکل 2 و3).

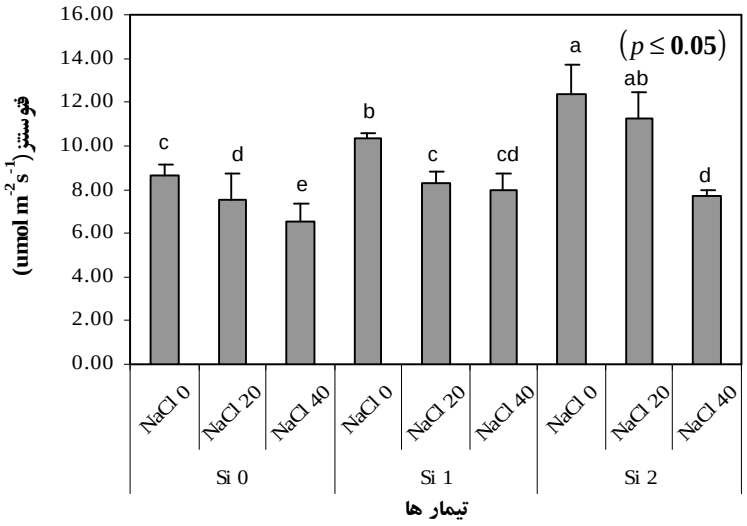
نتایج حاصل نشان داد که اثر شوری بر غلظت عناصر نیز معنی دار بوده است. به طوریکه با افزایش سطوح کلرید سدیم، غلظت نیتروژن و نیترات کاهش و غلظت کلرید افزایش یافت، ولی غلظت فسفر تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفت (جدول 1). طباطبایی (2006) نیز گزارش کرد که با افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی، غلظت نیتروژن و نیترات در برگ های زیتون کاهش یافت. به نظر می رسد کاهش جذب نیتروژن به دلیل جایگزینی کلرید با نیترات است. این نتایج در مورد ذرت و پنبه نیز گزارش شده است (یئو و همکاران 1999). پژوهشگران دیگر نیز این کاهش را به اثرات رقابتی کلر در مقابل نیترات نسبت داده‌اند (فیگین و همکاران 1987). همانطور که در جدول 1 مشاهده می-شود ،سیلیسیوم با کاهش جذب کلرید، رقابت میان کلرید و نیترات را مهار نموده و غلظت نیتروژن و نیترات را افزایش می دهد. تنش شوری بر غلظت سدیم ، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم نیز تاثیر معنی‌داری داشت (جدول 2 و شکل 3).

با افزایش سطوح شوری، غلظت سدیم افزایش یافت، ولی غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت. این یافته با نتایج آزمایشات طباطبایی (2006) نیز مطابقت دارد. به نظر می رسد این نتیجه به دلیل وجود مقدار زیاد یون Na^+ در محیط و جایگزینی این یون به جای یون K^+ باشد. در شرایط شوری ، یون Na^+ با سایر یون های غذایی به خصوص K^+ رقابت کرده و جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد (پاریدا و داس 2005).

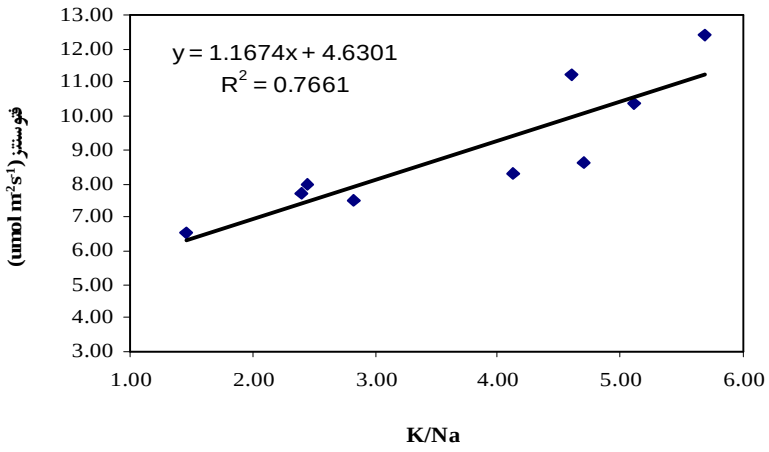
همانطور که نتایج نشان می‌دهد (جدول 2 و شکل 3)، افزودن سیلیسیوم به محلول غذایی، غلظت سدیم را کاهش، ولی غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم را به طور معنی داری افزایش داد. ماتو و همکاران (1986) گزارش کردند که کاربرد سیلیسیوم در گیاه برنج و تحت شرایط شوری، انتقال Na^+ را به شاخه ها کاهش داده و تولید ماده خشک را افزایش می دهد. یئو و همکاران (1999) نیزگزارش کردند که رسوب نانوذره های سیلیسیوم در فضاهای آپوپلاستی منجر به بلوکه کردن انتقال Na^+ به سلول شده، جذب نمک را کاهش داده و همچنین نسبت جذب انتخابی پتاسیم به سدیم را افزایش

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ - اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر شدت فتوسنتز توت فرنگی



شکل ۲- اثر نسبت پتاسیم به سدیم بر شدت فتوسنتز توت فرنگی

می دهد. از طرف دیگر سیلیسیوم، با فعال نمودن پمپ H-ATPase موجود در غشاء، انتقال پتاسیم را افزایش داده و نسبت پتاسیم به سدیم را بهبود می‌بخشد (کایا و همکاران 2006). نتایج محققان نشان داده که ارزیابی نسبت پتاسیم به سدیم یک معیار مهم در تحمل گیاه به شوری است و بر این اساس افزایش مقدار پتاسیم به سدیم می‌تواند تاثیرات سوء سدیم را در گیاه کاهش دهد (طباطبایی 2006). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت پرولین در شرایط شوری افزایش می‌یابد (شکل4). تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیکی به شرایط تنش بوده و از دوجنبه قابل بررسی است. اول اینکه در شرایط تنش شوری ، یون Na^+ در مقادیر بالا در سیتوزول جمع شده ، ایجاد سمیت می کند و باید به واکوئل ها منتقل شود. بنابراین مواد آلی با وزن مولکولی کم، که با عنوان محلول های سازگار نامیده می شوند، برای حفظ تعادل پتانسیل آب، درون سیتوپلاسم تجمع می یابند. پرولین یکی از مهمترین محلول های سازگار بوده و در تعدیل پتانسیل اسمزی بسیار موثر است (کایا و همکاران 2006). از طرف دیگر سمیت نمک،

جدول ۱- اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر غلظت نیترات، کلرید، فسفر و نیتروژن

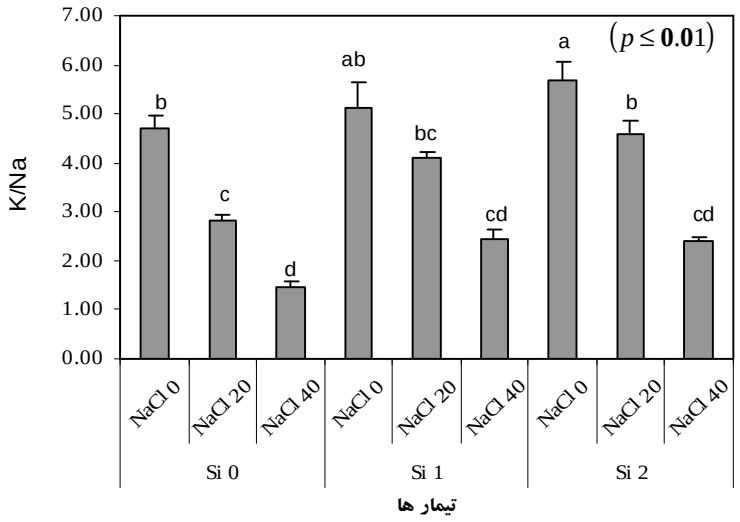
www.SID.ir

Archive of SID

Si (mM)	NaCl (mM)	نیترات (mg Kg^{-1}Dwt)	کلرید (mg g^{-1}Dwt)	فسفر (mg g^{-1}Dwt)	نیتروژن (mg g^{-1}Dwt)
۰	۰	٤۲۳/۳۰^{d}+	۱/۷۵^{bc}	۱/۳۷	۲۳/۱۵^{abc}
	۲۰	٤۱۰/۰۰^{de}	۲/۰۵^{ab}	۱/۳۲	۱۸/۵۹^{bc}
	٤۰	۳٦٦/۷۰^{e}	۲/۱۷^{a}	۱/۲۸	۱۸/۰۷^{c}
۱	۰	۷۵۰/۰۰^{b}	۱/۸٦^{abc}	۱/۲۷	۲۵/۹۱^{a}
	۲۰	۷۹٦/۷۰^{ab}	۱/۵٤^{cd}	۱/۳٤	۲۵/۲۳^{ab}
	٤۰	۷۰۳/۳۰^{bc}	۰/٦۷^{f}	۱/۳۷	۲۳/۸۱^{abc}
۲	۰	۸۷۰/۷۰^{a}	۱/۷۲^{bc}	۱/٤۷	۲۳/۲۹^{abc}
	۲۰	٦۵۰/۰۰^{c}	۱/۲۳^{de}	۱/٤٤	۲٤/۱۹^{abc}
	٤۰	٦٦۳/۳۰^{c}	۰/۹۳^{ef}	۱/٤٤	۲٤/۳٤^{abc}
تیمار					
NaCl		**	**	ns	*
Si		**	**	ns	**
Si×NaCl		**	**	ns	**

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیر معنی دار

+ در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد دارند



شکل ۳- اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر نسبت پتاسیم به سدیم در توت فرنگی

جدول ۲- اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر غلظت سدیم و پتاسیم

www.SID.ir

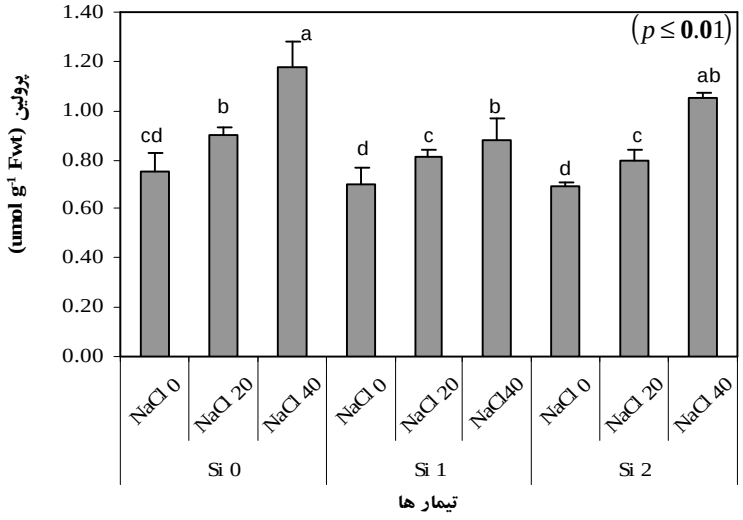
Archive of SID

Si (mM)	NaCl (mM)	پتاسیم (mg g^{-1}Dwt)	سدیم (mg g^{-1}Dwt)
۰	۰	۳۱/۰۶$^{ab+}$	۶/۴۳^{fg}
	۲۰	۳۰/۰۲^{bc}	۱۰/۹۶^{cd}
	۴۰	۲۶/۹۰^{c}	۱۸/۵۶^{a}
۱	۰	۳۳/۴۰^{ab}	۶/۶۶^{fg}
	۲۰	۳۳/۱۴^{ab}	۸/۰۶^{ef}
	۴۰	۳۳/۱۴^{ab}	۱۳/۶۶^{b}
۲	۰	۳۲/۸۸^{ab}	۵/۸۲^{g}
	۲۰	۳۳/۶۶^{a}	۹/۴۶^{de}
	۴۰	۳۰/۵۴^{ab}	۱۲/۷۳^{bc}
تیمار			
NaCl		**	**
Si		**	**
Si×NaCl		**	**

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

+ در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد دارند

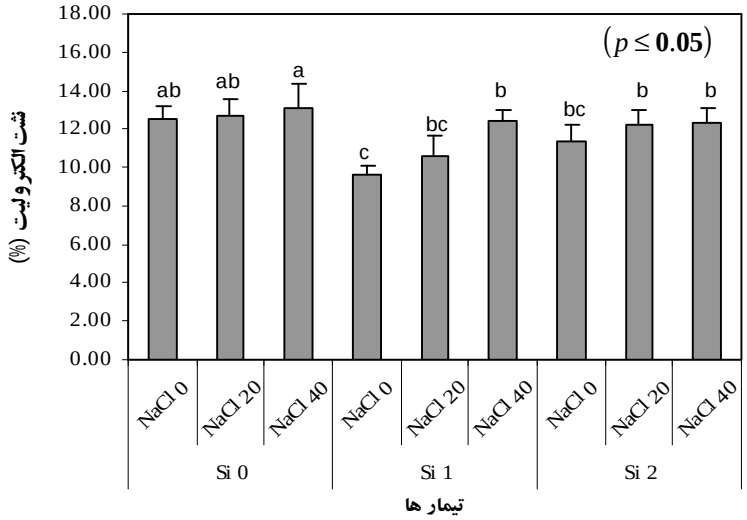
با تحریک فعالیت آنزیم گلوتامین کیناز که اولین آنزیم مسیر بیوسنتز پرولین است، تجمع پرولین را افزایش می‌دهد (دیلی وهمکاران 1993). همانطور که در شکل 4 مشاهده می شود ، کاربرد سیلیسیوم در شرایط شوری، تجمع پرولین را به طور کاملاً معنی داری کاهش داد کایا و همکاران (2006) نیز گزارش کردند که تیمار سیلیسیوم با کاهش جذب نمک و تحریک رشد رویشی، تجمع پرولین را در گیاه ذرت کاهش داد. اثرشوری بر درصد نشت الکترولیت نیز معنی دار بود. بطوریکه با افزایش سطوح کلرید سدیم درصد نشت الکترولیت افزایش یافت (شکل 5).



شکل ۴- اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر غلظت پرولین در توت فرنگی

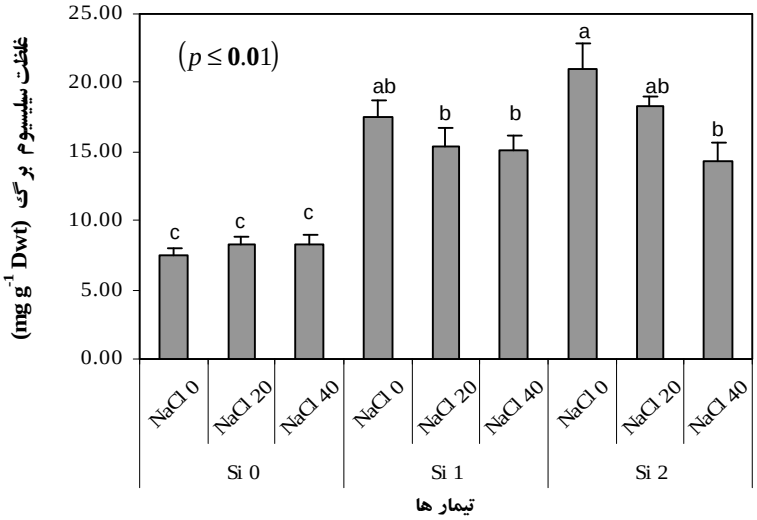
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر در صد نشت الکترولیت در توت فرنگی

در شرایط شوری، بـه دلیـل پراکـسیداسیون لیپیـدها، غشاء آسیب دیده و در نتیجه، میزان نفوذپذیری و نـشت الکترولیت ها افزایش می‌یابد (ملکوتی و همکاران 1382 و کایـا و همکـاران 2006). تیمـار سیلیـسیوم در شـرایط شوری نشت الکترولیت را کاهش داد. این کاهش اول بـه دلیل کاهش جذب نمک و دوم به خاطر رسوب سیلیسیوم در دیواره سلولی و افزایش پایداری آن می باشد (زو و همکـاران 2004 و کایـا و همکـاران 2006). نتـایج ایـن تحقیـق نـشان داد کـه بـا افـزایش غلظـت سیلیـسیوم در محلول غذایی، غلظت آن نیزدر برگ افزایش می یابد، ولی افزایش سطوح کلرید سدیم، جذب آن را کـاهش مـی‌دهـد (شکل 6). این یافته توسـط کایـا و همکـاران (2006) نیـز تائید شده است.



شکل ۶- اثرات متقابل سیلیسیوم و کلرید سدیم بر غلظت سیلیسیوم برگ

انتقـال سیلیـسیوم در گیاهـان از درون آونـد چـوبی انجام می گیرد. بنابراین توزیع آن در شاخه و بـرگ هـا و اندام های هوایی، بوسیله میـزان تعـرق در انـدام هـا ، تعیین می‌شود (پاری و وینـسلو 1977 و مارشـنر 1995). در واقع بیشترین غلظت سیلیسیوم در گیاه در محل هـایی مشاهده می شود که بیشترین تبخیر را دارنـد (هنرییـت و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران 2006). در نوعی خیزران هندی[1] نیز ثابت شده که تجمع سیلیسیوم در برگ ها بیشتر از اندام‌های دیگر بوده و مقدار آن با افزایش سن برگ افزایش می‌یابد. این نتایج نقش اساسی تبخیر و تعرق را در تجمع سیلیسیوم تایید می‌کند (موتومورا و همکاران 2002). به نظر می رسد کاهش شدت تبخیر و تعرق در شرایط شوری، دلیل اصلی کاهش جذب سیلیسیوم در حضور نمک باشد.

نتایج حاصل از این تحقیق، نشانگر اثرات سودمند کاربرد سیلیسوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه توت فرنگی در شرایط شوری می باشد. اگر چه اثرات مفید سیلیسیوم تحت شرایط مطلوب نیز محسوس بود ، ولی به نظر می رسد زمانی که گیاه در معرض شرایط تنش قرار می گیرد، اثرات سودمند سیلیسیوم چشمگیر تر است. از این دیدگاه مصرف سیلیسیوم ، خصوصاً زمانی که گیاه در معرض انواع تنش های مختلف قرار گرفته، شایسته توجه بیشتری است.

پیشنهادات

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد سیلیسیوم در شرایط شوری کلرید سدیمی، به طور معنی‌داری بر میزان فتوسنتز و غلظت عناصر اثر گذار بود، بطوریکه میزان فتوسنتز وغلظت نیتروژن، نیترات، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم را افزایش داد. غلظت سدیم، کلرید، پرولین و درصد نشت الکترولیت نیز همانطور که انتظار می‌رفت، با تیمار سیلیسیوم کاهش یافت. در این تحقیق با در نظر گرفتن سطوح شوری ، شرایط و نوع گیاه و به منظور بهبود شرایط رشد و نموی و تغذیه‌ای، تیمار یک میلی مولار سیلیسیوم به عنوان بهترین تیمار معرفی می گردد. مطالعات و آزمایش‌های مختلف نشان داده که سیلیسیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را نیز افزایش می‌دهد. آنزیم-های آنتی اکسیدانی عامل بسیار مهمی برای محافظت بافت‌های گیاهی در مقابل سمیت سلولی است و از آنجا که تاکنون هیچ تحقیقی در این زمینه انجام نگرفته است، لذا می‌توان تحقیقات بعدی را در مورد تاثیر کاربرد سیلیسیوم بر فعالیت های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه توت فرنگی تحت شرایط تنش شوری، توصیه کرد.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای مهندس مهدی اورعی دانشجوی دکتری علوم باغبانی دانشگاه تبریز، به دلیل همکاری‌های بی دریغشان در مراحل مختلف انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

[1] *Sasa veitchii*

www.SID.ir

Archive of SID

منابع مورد استفاده

امامی ع، 1375. روش های تجزیه گیاه. نشریه شماره 928، موسسه تحقیقات خاک و آب.

کاشی ع و حکمتی ج، 1370. پرورش توت فرنگی. انتشارات احمدی. تهران

ملکوتی م ج، کشاورز پ، سعادت س و خلدبرین ب، 1382. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا. تهران.

Bates LS, Waldern RP and Teare, 1973. Rapid determination of free prolinew for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Cherif M, Asselin A and Belanger RR, 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. Phytopathology 84: 236- 242.

Corrales I, Poschenrieder C and Barcello J, 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. Plant and Soil 199: 203- 209.

Dily FL, Biliard JP, Saos JL and Huauit C, 1993. Effects of NaCl and gabaculin on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. Plant Physiol Biochem 31: 303-310.

Elliot CL and Synder GH, 1991. Autoclave induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. J Agricultural Food Chemistry 39: 1118-1119.

Epstein E, 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proc Natl Acad Sci USA 91: 11-17.

Feigin A, Rylski I, Meiri A and Shalhevet J, 1987. Response of melon and tomato plants to chlorid-nitrate in saline nutrient solutions. Journal of Plant Nutrition 10: 1787-1794.

Hattori T, sonobe K, Inanaga SH, An P and Morita SH, 2008. Effect of silicon on photosynthesis of young cucumber seedlings under osmotic stress. Journal of Plant Nutrition 31: 1046-1058.

Henriet C, Draye X, Oppitz I, Swennen R and Delvaux B, 2006. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled condition. J Plant Soil 287 : 359-374.

Iwasaki K, Maier P, Fecht M and Horst WJ, 2000. Leaf apoplastic silicon enhances manganese tolerance of cowpea. Plant Physiol 159: 167-173.

Kaya C, Kirnak H , Higgs D and Saltali K, 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. J Scientia Horticulturae 93: 65-74.

Kaya C, Tuna L and Higgs D, 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water - stress condition. Journal of Plant Nutrition 29 : 1469- 1480

Lewin L and Reimann BEF, 1969. Silicon and plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol 20: 289-304.

Liang YC, 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium , potassium and calcium concentration in barely under salt stress. Plant Physiol 29: 217-224.

www.SID.ir

Archive of SID

Lutts S, Kinet JM and Bouharmont J, 1996. NaCl – induced senescence in leaves of rice cultivar differing in salinity resistance.Ann Bot 78: 389-398.

Ma JF, 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. Soil Sci 50: 11-18.

MAFF, 1985. The analysis of agricultural materials. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK.

Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plant. Academic Press, London.

Matichenkov V and Kosobrukhov A, 2004. Si effect on the plant resistance to salt toxicity. 13th International Soil Conservation Organisation Conference Brisbane, Australia.

Matoh E, Kairusmee P and Takahashi E, 1986. Salt – induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. Soil Sic 32: 295- 304.

Motomura H, Mita N and Suzuki M, 2002. Silica accumulation in long- lived leaves of *Sasa veitchii*. Ann Bot 90: 149- 152.

Parida AK and Das AB, 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: Areview. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Parry DW and Winslow A, 1977. Electron – probe microanalysis of silicon accumulation in the leaves and tendrils of *Pisum sativum*. Annuals of Botany 41: 275-278.

Sposito G, 1989. The Chemistry of soils. Oxford University Press, New York.

Tabatabaei SJ, 2006. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive *(Olea europaea* L.) trees. Scientia Horticulturae 108: 432- 438.

Tabatabaei SJ, Fatemi LS and Fallahi E, 2006. Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration and photosynthesis rate in strawberry. Journal of Plant Nutrition 29: 1273-1285.

Yeo AR, Flowers SA, Rao G and Welfare K, 1999. Silicon reduces sodium uptake in rice in saline condition and this is accounted for by a reduction in transpirational bypass flow. Plant Cell Environ 22: 559- 565.

Zhu Z, Wei G, Li J, Qian Q and Yu J, 2004. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt- stressed cucumber (*Cucumis sativus*). J Plant Science 167: 527-533.

www.SID.ir