زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال هفتم، شماره بیست و ششم، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۵۹-۷۴
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۸
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۷/۱۲

اثر سیلیکون و نانوسیلیکون در کاهش صدمات ناشی از تنش شوری بر گیاهچه ذرت

حمیدرضا زارع، زهره قنبرزاده، آسیه بهداد و ساسان محسن‌زاده *
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده

تنش شوری بازدهی محصولات کشاورزی مانند ذرت به عنوان یکی از غلات مهم را کاهش می‌دهد. با توجه به این که سیلیکون دومین عنصر فراوان در خاک است و موجب کاهش تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان می‌شود، هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر سیلیکون و نانوسیلیکون به عنوان بهبود دهنده تنش شوری در گیاه ذرت (*Zea mays*) است. بدین منظور، بر هم کنش اثر غلظت‌های مختلف شوری (۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، سیلیکون و نانوسیلیکون (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در قالب آزمایش‌های فاکتوریل در سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد که شوری به طور معنی‌داری شاخص‌های رشد ریشه و اندام هوایی، میزان رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید، پروتئین و پتاسیم را نسبت به شاهد کاهش داد و تیمار گیاه با سیلیکون و نانوسیلیکون سبب کاهش آثار منفی تنش شوری و موجب افزایش میزان شاخص‌های رشد شد. همچنین، در اثر تنش شوری افزایش معنی دار میزان پرولین، آنتوسیانین، کربوهیدرات محلول، پراکسیداسیون لیپید و فعالیت کاتالاز مشاهده شد که تیمار با سیلیکون و نانوسیلیکون آثار تنش شوری و در نتیجه میزان شاخص‌های رشد را کاهش داد. بیشترین اثر بهبوددهندگی در تمام شاخص‌های بررسی شده، تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر نانوسیلیکون بود. بنابراین، استفاده از این عنصر به عنوان کاهش‌دهنده آثار منفی تنش شوری ذرت پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، ذرت، سیلیکون، نانوسیلیکون

مقدمه

ذرت یکی از غلات مهم با مصارف غذایی و تولید روغن مورد نیاز انسان و همچنین در سطح جهانی به عنوان تغذیه چهارپایان است، اما تنش شوری کاهش بازدهی این محصول را به دنبال دارد (Hussain *et al.*, 2010). شوری آب و خاک یکی از موانع و

* نگارنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: mohsenzadeh@susc.ac.ir، شماره تماس: ۰۷۱۳۶۱۳۷۳۱۳

Copyright©2015, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت‌های تولید مناسب محصولات کشاورزی است (Behzadifar *et al*., 2013). شوری در سطوح بالا سبب تنش اسمزی و یونی و به دنبال آن تخریب غشا، عدم توازن تغذیه‌ای، تغییر سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد، ممانعت آنزیمی و کاهش فتوسنتز شده که در نهایت مرگ گیاه را به دنبال دارد (Momeni *et al*., 2013). گیاهان تحت تنش، پتانسیل اسمزی را از طریق تجمع آمینو اسیدها، یون‌ها، پرولین، پروتئین محلول و کربوهیدرات کاهش می‌دهند. این اسمولیت‌ها فشار اسمزی سیتوپلاسم را افزایش داده، جریان آب را در اندام‌ها و بافت‌های گیاهی بالا می‌برند (Ghafiyehsanj *et al*., 2013). مهم‌ترین فرآیندی که در گیاهان تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد، فتوسنتز است. تنش شوری به بسته شده روزنه‌ها و به دنبال آن کاهش غلظت درون سلولی CO_2 و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تثبیت CO_2 منجر می‌شود (Saravanavel *et al*., 2011). تنش شوری نیز مانند سایر تنش‌های غیر زیستی، به افزایش رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو منجر می‌شود و می‌تواند باعث سمّیت یونی و عدم تعادل یونی و تخریب غشا شده، در نتیجه باعث کاهش جذب CO_2 و بسته شدن روزنه، کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک و افزایش سطح پراکسیداسیون لیپید شود (Khan and Panda, 2008). گیاهان از سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی که متشکل از آنزیم‌ها نظیر: سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، دهیدرو آسکوربات ردوکتاز، گلوتاتیون‌ردوکتاز و بخش‌های غیر آنزیمی شامل آسکوربات و گلوتاتیون است، برای مهار تجمع بیش از حد رادیکال های آزاد در شرایط تنش استفاده می‌کنند (Shi *et al*., 2007).

سیلیکون (Si) دومین عنصر فراوان در خاک است اما در بسیاری از گیاهان به عنوان یک عنصر ضروری مطرح نیست. به تازگی مطالعات زیادی نشان داده است که افزودن Si به گیاهان تیمار شده می‌تواند به طور چشمگیری تنش‌های زیستی و غیر زیستی نظیر: تنش فلزات سنگین، نمک، خشکی، سرما و یخزدگی را کاهش دهد و آثار مفیدی بر رشد و تولید گیاهان داشته باشد (Liang *et al*., 2007؛ Mohsenzadeh *et al*., 2011؛ Shahrtash and Mohsenzadeh, 2011؛ Mohsenzadeh *et al*., 2012). اخیراً نقش کاهشی سیلیکون در تنش شوری مورد توجه قرار گرفته است. افزون بر این، برخی از مطالعات نشان داده است که سیلیکون در کاهش شوری در گونه‌های گیاهی گوناگون از قبیل: جو (Liang *et al*., 2003)، ذرت (Moussa, 2006) و گندم (Tuna *et al*., 2008) مؤثر است. سیلیکون با افزایش فعالیت فتوسنتزی، بهبود وضعیت آب، تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش جذب سدیم یا افزایش وابسته به H^+-ATPase پتاسیم در اندام هوایی، تحمل به تنش شوری را افزایش می‌دهد (Kiani Chalmardi *et al*., 2012؛ Rahimi *et al*., 2012). همچنین نشان داده شده است که سیلیکون احتمالاً سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز را فعال اما غلظت مالون‌دی‌آلدئید را در گیاهان جو، گوجه‌فرنگی و ذرت کاهش داده است (Liang *et al*., 2003؛ Moussa, 2006).

امروزه استفاده از نانوذرات توسط بسیاری از پژوهشگران کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است، هرچند سازوکار عملکرد آنها به درستی شناخته نشده است (Haghighi *et al*., 2012). گزارش شده است که نانوذرات سیلیکون سبب افزایش فعالیت نیترات

Archive of SID

www.SID.ir

ردوکتاز در سویا می‌شود (Lu *et al.*, 2002). در مطالعات دیگری نشان داده شد که یک میلی‌مولار نانوسیلیکون در کاهش آثار منفی تنش شوری بر ویژگی‌های رشد و جوانه‌زنی دانه‌های گوجه‌فرنگی اثر بهبوددهندگی داشته است. در این گیاه تیمار یک میلی‌مولار نانوسیلیکون تحت ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم ویژگی‌های جوانه‌زنی دانه شامل میزان جوانه‌زنی، طول ریشه و وزن خشک ریشه را افزایش داد اما ۲ میلی‌مولار نانوسیلیکون تحت ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش چشمگیر ویژگی‌های جوانه‌زنی شد (Haghighi *et al.*, 2012).

هدف از پژوهش حاضر، بررسی نقش بهبوددهندگی سیلیکون و نانوسیلیکون بر گیاهچه ذرت در شرایط تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

کشت بذر، تولید گیاهچه و تیمار شوری، سیلیکون و نانوسیلیکون: بذر ذرت (*Zea mays* L.) به نام NS 6010 از شرکت آریا کشت پارس، شیراز تهیه گردید. ابتدا بذرها به مدت چهار روز در آب خیسانده شد و پس از جوانه زدن، بهترین بذرهای جوانه‌زده انتخاب و در پرلیت در عمق سه سانتی‌متری کشت و گیاهچه های یک ماهه تحت تیمار کلرید سدیم (۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) قرار گرفتند. یک روز بعد، تیمار با محلول سیلیکون و نانوسیلیکون (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) اعمال شد. پس از دو هفته، آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر و محلول هوگلند، روز پانزدهم مجدداً تیمار با کلرید سدیم و سپس سیلیکون و نانوسیلیکون بر گلدان‌های مورد نظر صورت گرفت و پس از حدود ده روز گیاهچه‌ها جمع‌آوری و توسط ازت مایع فریز و در یخچال در دمای ۲۰- درجه سانتیگراد نگهداری شدند (Shahrtash and Mohsenzadeh, 2011).

اندازه‌گیری شاخص‌ها: پس از برداشت، بلافاصله وزن تر اندام هوایی و ریشه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. پس از نگهداری اندام هوایی و ریشه گیاهچه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتیگراد وزن خشک آنها نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. مقادیر کلروفیل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم کلروفیل یا کاروتنوئید در گرم بافت تر برگ محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، مقدار قندهای محلول از روش Nelson (۱۹۴۴) و آنتوسیانین برگ از روش Wanger (۱۹۷۹) استفاده شد. پراکسیداسیون لیپید (Heath and Packer, 1968)، فعالیت آنزیم کاتالاز (Aebi, 1984) و پروتئین کل (Bradford, 1976) نیز اندازه‌گیری شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spekol، شرکت Analytic Jena، آلمان) برای اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی استفاده شد. سنجش پتاسیم با روش فلیم فوتومتری (Wang and Zhao, 1995) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل PEP7، شرکت Jenway، انگلستان) انجام گردید.

تحلیل آماری: آزمایش‌ها با طرح بلوک های کاملاً تصادفی در قالب آزمایش های فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۱۶، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج

اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی: بررسی داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش شوری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه‌ها به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) کاهش یافت. استفاده از سیلیکون و نانوسیلیکون، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه را در شرایط تنش جبران کرد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین اثر بهبوددهندگی وزن تر و خشک اندام هوایی در شرایط تنش به ترتیب مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با میانگین ۱۰/۳ و ۲/۳ گرم و ۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر سیلیکون با میانگین ۷/۸۳ و ۰/۶۸ گرم بود. بیشترین اثر بهبوددهندگی وزن تر و خشک ریشه نیز به ترتیب در تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با میانگین ۳/۰۶ و ۱/۰۶ گرم و کمترین آن در تیمار ۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر سیلیکون با میانگین ۱/۱۳ و ۰/۶ گرم مشاهده شد (جدول ۱).

جدول ۱- تغییرات شاخص‌های رشد گیاه ذرت در تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر، میانگین ۳تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.

		شاخص‌های رشد			
تیمار کلرید سدیم (میلی‌مولار)	تیمار Si و NSi (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
۰	۰ Si	۱۰/۸۷±۰/۰۳ g	۳/۶± ۰/۰۲ g	۳/۶۷± ۰/۰۹ g	۱/۲۱± ۰/۰۰۹ g
	۵۰ Si	۱۱/۷± ۰/۰۶ f	۳/۸۹± ۰/۰۵ f	۴/۰۷± ۰/۰۷ f	۱/۳۲± ۰/۰۰۶ f
	۱۰۰ Si	۱۲/۸۳± ۰/۰۳ d	۴/۴۷± ۰/۰۰۶ d	۵/۱± ۰/۰۶ d	۱/۶۴± ۰/۰۰۹ d
	۱۵۰ Si	۱۳/۷۷± ۰/۰۷ b	۵/۲۶± ۰/۰۳ b	۶/۰۷± ۰/۰۳ b	۲/۰۲± ۰/۰۳ b
	۵۰ NSi	۱۲/۲± ۰/۰۶ e	۴/۱۵± ۰/۰۱ e	۴/۶± ۰/۰۶ e	۱/۴۶± ۰/۰۰۷ e
	۱۰۰ NSi	۱۳/۳۳± ۰/۰۳c	۴/۸۱± ۰/۰۴ c	۵/۵۷± ۰/۰۷ c	۱/۸۱± ۰/۰۳۵ c
	۱۵۰ NSi	۱۴/۴۷± ۰/۱۲ a	۵/۵۲± ۰/۰۴ a	۶/۶۳± ۰/۰۹ a	۲/۱۵± ۰/۰۰۹ a
۱۰۰	۰ Si	۴/۶۷± ۰/۰۹ n	۱/۹۳± ۰/۰۱ n	۰/۹۶± ۰/۰۰۳ n	۰/۴۲± ۰/۰۱۲ n
	۵۰ Si	۶/۸۰± ۰/۰۶ m	۲/۳± ۰/۰۱۸ m	۱/۱۳± ۰/۰۳ m	۰/۶± ۰/۰۰۶ m
	۱۰۰ Si	۸/۳۰± ۰/۰۶ k	۳/۹۳± ۰/۰۲ k	۱/۷۳± ۰/۰۷ k	۰/۷۷± ۰/۰۰۷ k
	۱۵۰ Si	۹/۸۳± ۰/۰۳ i	۳/۲۶± ۰/۰۲ i	۲/۶± ۰ i	۰/۹۱± ۰/۰۰۹ i
	۵۰ NSi	۷/۸۳± ۰/۰۳ l	۲/۶۲± ۰/۰۲ l	۱/۳۸± ۰/۰۲ l	۰/۶۸± ۰/۰۰۷ l
	۱۰۰ NSi	۹/۱۰± ۰/۰۶ j	۳/۱۳± ۰/۰۲ j	۲/۱۳± ۰/۰۷ j	۰/۸۲± ۰/۰۰۹ j
	۱۵۰ NSi	۱۰/۳± ۰/۰۶ h	۳/۴± ۰/۰۱ h	۳/۰۷± ۰/۰۳ h	۱/۰۶± ۰/۰۱ h

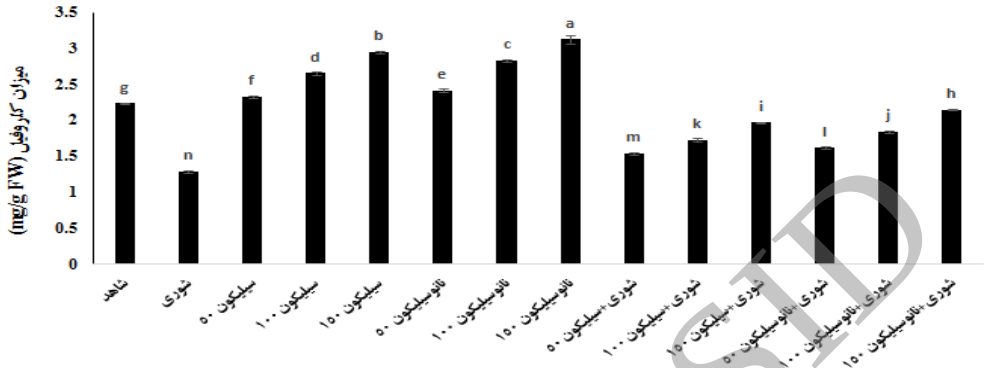
اثر شوری و غلظت های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید: نتایج نشان داد که در شرایط تنش شوری، میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید به ترتیب ۴۲/۴۱ و ۴۹/۹۷ درصد نسبت به شاهد کاهش دارد. تیمار غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون کاهش کلروفیل و کاروتنوئید حاصل از تنش را جبران کرد. بیشترین اثر بهبوددهندگی در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون به ترتیب با افزایش ۳۸/۳۹ و ۴۱/۴۷ درصدی نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید سدیم مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان اسید آمینه پرولین برگ: نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که میزان پرولین در

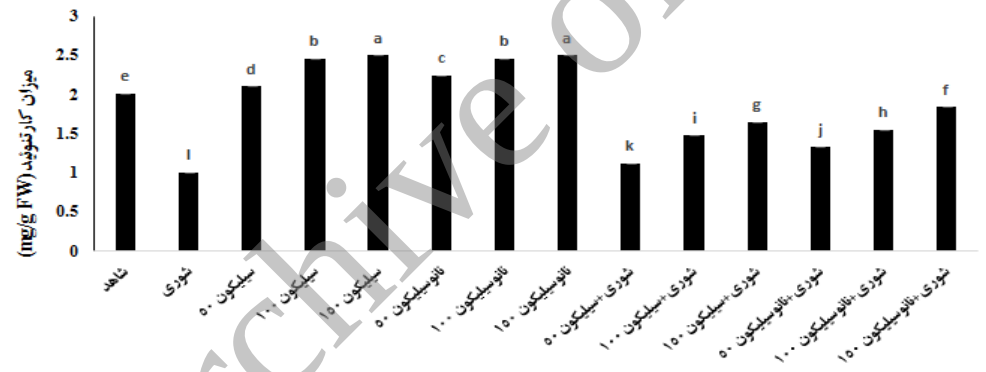
Archive of SID

www.SID.ir

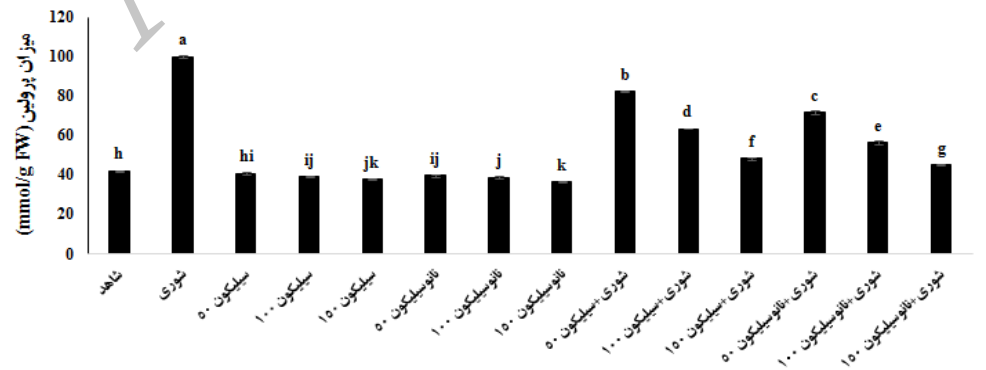
شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) افزایش یافت و تیمار گیاه تحت تنش شوری با سیلیکون و نانوسیلیکون سبب کاهش پرولین (در سطح ۵ درصد) شد. بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با میانگین ۴۵/۱۸ میکرومول بر گرم وزن تر بود (شکل ۳).



شکل ۱- تغییرات کلروفیل گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.



شکل ۲- تغییرات کاروتنوئید گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.



شکل ۳- تغییرات پرولین گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.

Archive of SID

www.SID.ir

اثر شوری و غلظت های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان کربوهیدرات محلول: نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد کربوهیدرات محلول در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد (در سطح ۵ درصد) افزایش یافت. تیمار گیاه تحت تنش شوری با سیلیکون و نانوسیلیکون سبب کاهش معنی‌دار کربوهیدرات (در سطح ۵ درصد) شد و بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی لیتر نانوسیلیکون با ۵۱/۵۱ درصد بود (شکل ۴).

اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر آنتوسیانین: بررسی و تحلیل داده‌ها نشان داد که تیمار غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون اثر تنش شوری را کاهش (در سطح ۵ درصد) و میزان تجمع آنتوسیانین را کاهش می‌دهد. بیشترین کاهش اثر تنش شوری در تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با ۴۳/۷ درصد کاهش مشاهده شد. تیمار گیاه با سیلیکون و نانوسیلیکون بدون اثر شوری میزان آنتوسیانین را نسبت به شاهد کاهش داد و بیشترین اثر کاهشی مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون بود (شکل ۵).

اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان پراکسیداسیون لیپید: بررسی داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش شوری میزان پراکسیداسیون لیپید به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نسبت به شاهد افزایش یافت. تیمار گیاه تحت تنش با سیلیکون و نانوسیلیکون سبب کاهش اثر شوری شد و بیشترین اثر کاهشی مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با ۵۸/۴ درصد کاهش بود. کمترین میزان پراکسیداسیون لیپید در تیمار ۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر سیلیکون و نانوسیلیکون بود و تفاوت معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نشد (شکل ۶).

اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز: بررسی نتایج نشان داد که تنش شوری سبب افزایش (در سطح ۵ درصد) میزان فعالیت کاتالاز شده، تیمار گیاهچه تحت تنش شوری با سیلیکون و نانوسیلیکون میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش داد. بیشترین و کمترین میزان فعالیت کاتالاز در گیاهچه تحت تنش شوری تیمار شده با سیلیکون و نانوسیلیکون به ترتیب در تیمار ۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر سیلیکون با ۶/۵۲ درصد و تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با ۲۲/۱۷ درصد مشاهده شد (شکل ۷).

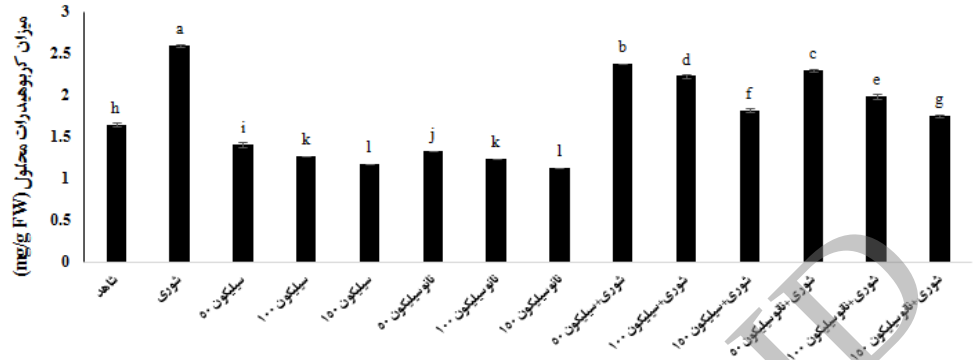
اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان پروتئین: بررسی‌ها نشان داد که تنش شوری نسبت به شاهد سبب کاهش (در سطح ۵ درصد) میزان پروتئین در گیاهچه ذرت شد و تیمار با سیلیکون آثار تنش شوری را کاهش داد. بیشترین و کمترین اثر بهبوددهندگی تنش شوری به ترتیب در غلظت ۱۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر نانوسیلیکون با ۹۲/۵۵ درصد و غلظت ۵۰ میلی گرم بر میلی‌لیتر سیلیکون با ۱۷/۴۳ درصد مشاهده شد (شکل ۸).

اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان پتاسیم: نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که میزان پتاسیم در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) کاهش یافت. تیمار گیاه تحت تنش شوری با سیلیکون و نانوسیلیکون سبب افزایش میزان پتاسیم شد، به طوری

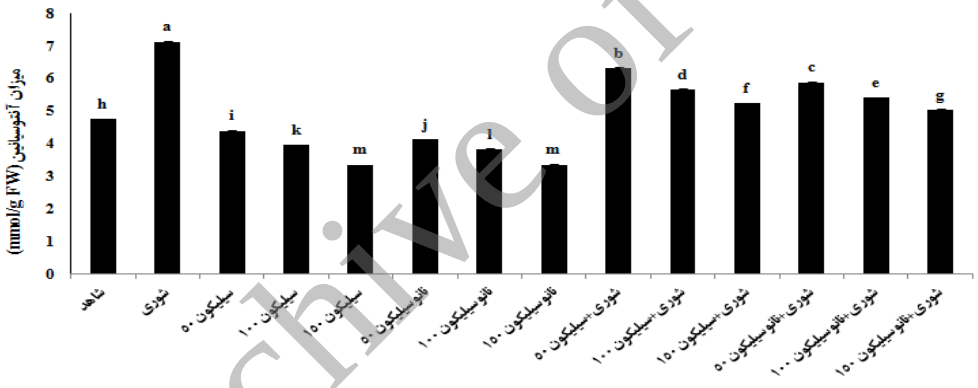
Archive of SID

www.SID.ir

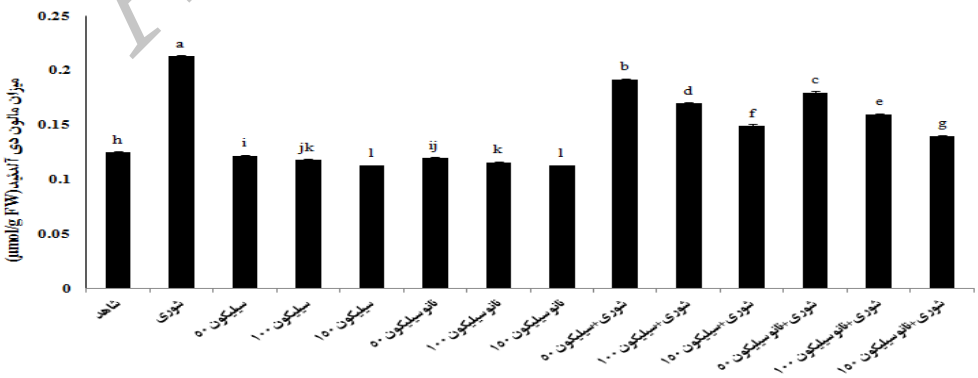
که بیشترین و کمترین اثر بهبوددهندگی تنش شوری در تیمار ۱۵۰ میلی گرم بر میلی لیتر نانوسیلیکون با ۸۱/۸ درصد افزایش و ۵۰ میلی گرم بر میلی لیتر سیلیکون با ۱۸/۱۸ درصد مشاهده شد (شکل ۹).



شکل ۴- تغییرات کربوهیدرات محلول گیاه ذرت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.



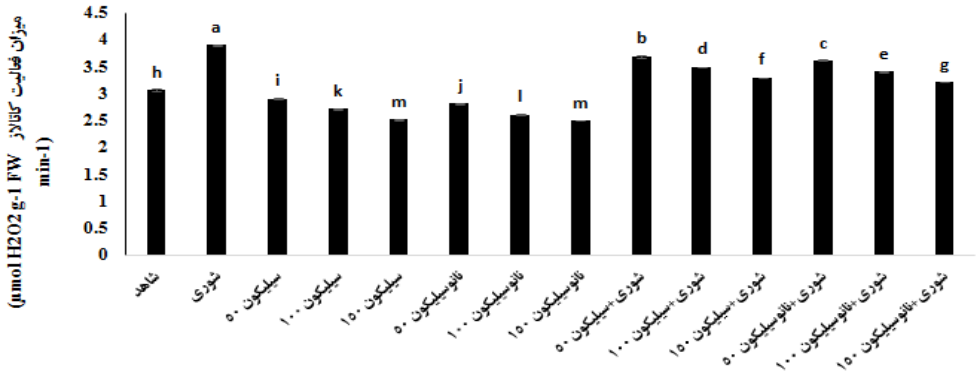
شکل ۵- تغییرات آنتوسیانین گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.



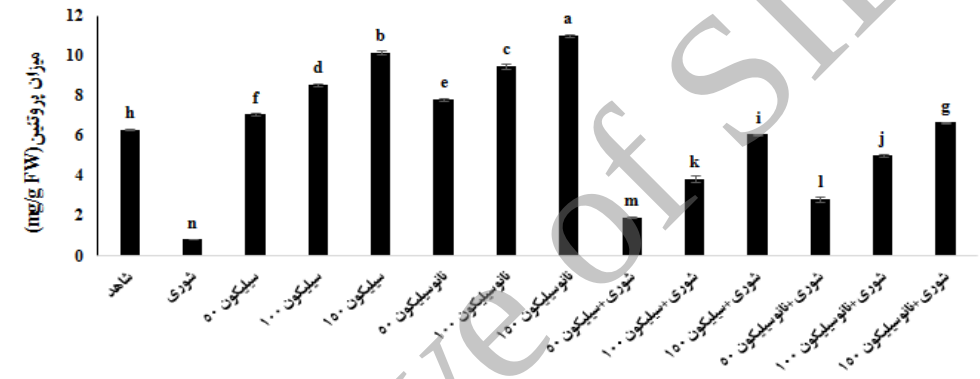
شکل ۶- تغییرات مالون دی آلدئید گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.

Archive of SID

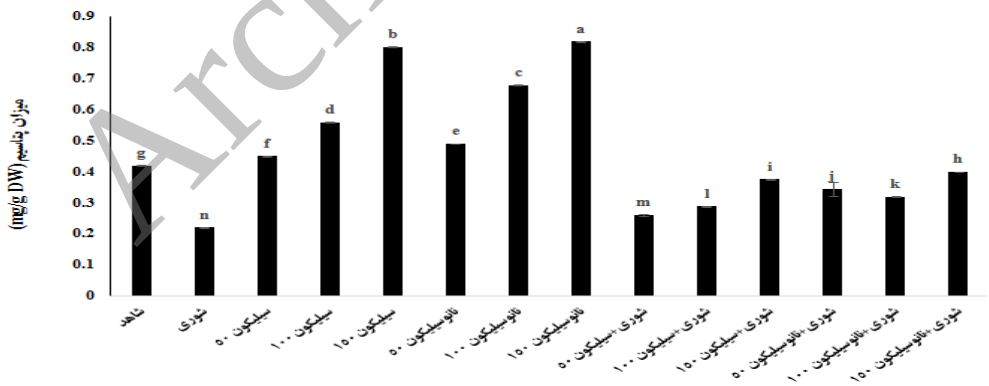
www.SID.ir



شکل ۷- تغییرات کاتالاز گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.



شکل ۸- تغییرات پروتئین گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.



شکل ۹- تغییرات پرولین گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کلرید سدیم، سیلیکون و نانوسیلیکون. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± خطای معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.05$ است.

بحث

محصولات زراعی در بسیاری از نواحی خشک و نیمه خشک در معرض تنش شوری هستند. علت این تنش در شوری آب یا خاک و نحوه آبیاری است

Archive of SID

www.SID.ir

Ashraf *et al*., ؛Parvaiz and Satyawati, 2008) (2010. تنش شوری سبب کاهش شدید رشد ریشه و اندام هوایی در گیاهان حساس می‌شود (Parvaiz and Satyawati, 2008). شواهد فراوانی در دست است که نشان می‌دهد زمانی که سیلیکون در اختیار گیاهان قرار گیرد نقش چشمگیری در رشد، تغذیه معدنی، مقاومت مکانیکی و مقاومت در برابر تنش های گوناگون دارد (Farooq *et al*., 2009). مطالعات Ashraf و همکاران (۲۰۱۳) کاهش وزن خشک ریشه و ساقه چهار ژنوتیپ نیشکر را در حضور کلرید سدیم به علت سمّیت ناشی از یون سدیم نشان داد. آنها گزارش کردند که سیلیکون به علت کاهش جذب و انتقال Na^+ از ریشه به اندام هوایی آثار مضر کلرید سدیم را کاهش داده، رشد گیاه نیشکر را بهبود می‌بخشد (Liang *et al*., 2007). در پژوهش حاضر نیز کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاهچه ذرت در اثر شوری مشاهده شد و تیمار گیاهچه ذرت با سیلیکون و نانوسیلیکون سبب بهبود شرایط تنش و افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گردید. در گیاه *Sorghum bicolor* مشاهده شد که استفاده از سیلکون وزن تر اندام هوایی و ریشه را به ترتیب ۱۹/۲ و ۱۰ درصد نسبت به تنش شوری افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگ است (Yin *et al*., 2013). اثر بهبوددهندگی سیلیکون بر وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاه *Cucumis sativus* L.، نیز گزارش شده است (Amirossadat *et al*., 2012). بررسی‌های انجام شده بر گیاه سیب‌زمینی شیرین تحت تنش شوری نشان داد که سیلیکون اضافه شده به مواد غذایی ممانعت رشد ایجاد شده در اثر تنش شوری را بهبود می‌بخشد (Haghighi and Pessarakli, 2013).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش شوری میزان کلروفیل و کاروتنوئید گیاهچه ذرت را در مقایسه با شاهد کاهش داد، اما تیمار گیاهچه تحت تنش با سیلیکون و نانوسیلیکون موجب بهبود آثار تنش و افزایش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید شد. نتایج مشابهی در گیاه *Solanum lycopersicum* L. مشاهده شده است (Haghighi and Pessarakli, 2013). کاهش میزان کلروفیل به علت کاهش سطح برگ، افزایش اکسید شدن و کاهش جذب نیتروژن به عنوان عنصر معدنی مهم در سنتز کلروفیل در گیاهان تحت تنش شوری است (Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). تنش شوری با تأثیر بر عوامل روزنه‌ای باعث کاهش ورود دی اکسید کربن به درون سلول‌های برگ می‌شود، در نتیجه موجب کاهش فعالیت فیتوشیمیایی، تولید رادیکال‌های آزاد در کلروپلاست و کاهش کلروفیل می‌شود. (Haghighi and Pessarakli, 2013). این امر پیشنهاد می کند که اضافه شدن سیلیکون و نانوسیلیکون می‌تواند با سمّیت‌زدایی گونه‌های رادیکال آزاد القا شده تحت تنش شوری، سیستم دفاعی گیاه را بهبود بخشد و کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش دهد (Mateos-Naranjo *et al*., 2013؛ Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). پرولین یکی از اسمولیت‌های مهم است که سبب سازگاری اسمزی شده و تجمع آن در پاسخ به تنش اسمزی به طور عمده گزارش شده است (Ashraf and Foolad, 2007). در پژوهش حاضر، افزایش مقدار پرولین در برگ‌های ذرت تحت تنش شوری مشاهده

Archive of SID

www.SID.ir

شد، اما این افزایش با کاربرد سیلیکون کاهش یافت. این نتایج در گیاه سورگوم نیز مشاهده شده است (Yin *et al*., 2013). نقش واقعی پرولین در سازگاری اسمزی بحث‌برانگیز است. در برخی از مطالعات، تجمع پرولین تحت تنش نشان‌دهنده افزایش تحمل گیاه نسبت به انواع حساس است (Nayyar and Walia, 2003). در حالی که تحقیقات دیگر پیشنهاد می‌کنند که تجمع پرولین نشانه آسیب تنش در گیاهان حساس نسبت به انواع تحمل‌کننده است (De Lacerda *et al*., 2003). پرولین علاوه بر نقش اسمولیتی، می‌تواند به عنوان ذخیره کربن و نیتروژن برای مقابله با تنش مفید باشد. تأمین سیلیکون همیشه همراه با کاهش پرولین تحمل به تنش را بهبود می‌بخشد (Tuna *et al*., 2008؛ Lee *et al*., 2010؛ Pei *et al*., 2010). سیلیکون با کاهش جذب سدیم توسط ریشه و همچنین کاهش انتقال آن به اندام هوایی، تنش اسمزی را کاهش می‌دهد، بنابراین پرولین نیز کاهش می‌یابد (Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). کربوهیدرات‌های محلول یکی دیگر از اسمولیت‌های کلیدی در سازگاری اسمزی هستند. در پژوهش حاضر، میزان کربوهیدرات محلول در گیاهچه ذرت تحت تنش شوری نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد و تیمار گیاهچه تحت تنش با سیلیکون و نانوسیلیکون باعث کاهش میزان کربوهیدرات شد، این کاهش احتمالاً به دلیل مصرف کربوهیدرات محلول در شرایط تنش کمتر است. بررسی اثر سیلیکون بر گیاه سورگوم نشان داد که تیمار سیلیکون سبب افزایش مقدار کربوهیدرات محلول در مقایسه با تیمار بدون سیلیکون تحت تنش شوری شده است (Yin *et al*., 2013). این نتایج در گندم (Pei *et al*., 2010) و سورگوم (Sonobe *et al*., 2009) نیز مشاهده شده است.

آنتوسیانین یک گروه از متابولیت‌های ثانویه است که در ایجاد رنگ، اثر متقابل میکروب-گیاه و تولید مثل نقش دارد (Sai kachout *et al*., 2013). افزایش غلظت آنتوسیانین در گیاه *Nicotiana rustica* تحت تنش شوری مشاهده شده است که احتمالاً به علت سنتز بیشتر آن است، اما تیمار با سیلیکون اثر چشمگیری بر میزان آنتوسیانین در این گیاه تحت تنش شوری نداشت (Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). در حالی که در پژوهش حاضر تنش شوری سبب افزایش میزان آنتوسیانین در گیاهچه ذرت شد و تیمار آن با سیلیکون و نانوسیلیکون اثر تنش شوری و میزان آنتوسیانین را کاهش داد. آنتوسیانین نقش مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های تحت تنش دارد و با کاهش آثار تنش به کمک سیلیکون میزان آن کاهش می یابد (Hajiboland and Cheraghvareh, 2014). طی تنش شوری افزایش آنتوسیانین برگ در گیاه گوجه‌فرنگی نیز مشاهده شده است(Borghesi *et al*., 2011).

پراکسیداسیون لیپید غشا یکی از نشانه‌های تخریب غشا در سطح سلولی تحت شرایط تنش شوری است. تغییر در میزان مالون‌دی‌آلدئید به ویژه در دانه‌های روغنی اغلب نشانه‌ای از تخریب اکسیداتیو است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان مالون‌دی‌آلدئید به طور معنی‌داری در برگ های گیاهچه ذرت تحت تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. با اضافه شدن سیلیکون در مقایسه با نمونه‌های تحت شرایط تنش شوری، کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در برگ‌های گیاهچه ذرت مشاهده شد. گزارش شده است که

Archive of SID

www.SID.ir

کاربرد سیلیکون، پراکسیداسیون لیپید را در سلول‌های گیاه جو تحت تنش شوری کاهش داده است (Liang *et al*., 2003). این نتایج پیشنهاد می‌کنند که سیلیکون شاید از ساختار غشای سلولی گیاهان در معرض تنش شوری محافظت و از تخریب آن ممانعت می‌کند. بنابراین، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تخریب اکسیداتیو گیاهچه‌های ذرت در معرض تنش شوری با اضافه شدن سیلیکون ممانعت می‌شود. به طور کلی، مشخص شده است که گیاهان در تنش شوری، با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها به کمک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از خود محافظت می‌کنند (Parvaiz and Satyawati, 2008). سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اصلی جهت جاروب کردن رادیکال های آزاد هستند. سوپر اکسید دیسموتاز احتمالاً نقش مرکزی در دفاع علیه سمّیت رادیکال‌های آزاد دارد (Ashraf, 2009). بر اساس گزارش‌های اولیه، در گیاه ذرت تحت تنش شوری، با افزایش آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز، نوعی حفاظت از تخریب صورت می گیرد (Parvaiz and Satyawati, 2008). این نتایج پیشنهاد می‌کند که تنش شوری می‌تواند موجب تغییرات معنی‌داری در فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در متابولیسم رادیکال‌های آزاد شود (Wang *et al*., 2010). در پژوهش حاضر، افزایش فعالیت کاتالاز تحت تنش شوری و کاهش فعالیت این آنزیم با کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون مشاهده شد. رادیکال های آزاد باعث افزایش تولید کاتالاز می‌شوند و کاهش میزان کاتالاز نشان‌دهنده کاهش میزان تولید رادیکال‌های آزاد و بنابراین کاهش تخریب اکسیداتیو است (Moghadam Ali *et al*., 2013). این نتایج پیشنهاد می‌کنند که آنزیم کاتالاز با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) فعال می شود و نوعی سازگاری برای گیاهچه ذرت تحت شرایط تنش است. کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون در گیاهچه ذرت در معرض تنش، از طریق کاهش اثر تنش شوری و رادیکال‌های آزاد، میزان فعالیت کاتالاز را کاهش می‌دهد. در گیاه آفتابگردان تحت تنش شوری تیمار شده با سیلیکون و نانوسیلیکون نیز میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به طور معنی‌داری نسبت به گیاهچه‌های تحت تنش شوری کاهش یافت (Moghadam Ali *et al*., 2013).

در پژوهش حاضر، تنش شوری سبب کاهش معنی دار میزان پروتئین شد، تیمار گیاه با سیلیکون اثر تنش شوری را کاهش داد و سبب افزایش میزان پروتئین شد. نتایج مشابهی در گیاه *Borago officinalis* L. مشاهده شده است (Enteshari *et al*., 2011). احتمالاً سیلیکون به دلیل کاهش تنش موجب افزایش مقدار پروتئین شده است.

گزارش شده است که سیلیکون توازن تغذیه‌ای گیاهان تحت تنش را بهبود می‌بخشد (Nwugo and Huerta, 2011). جذب و انتقال سدیم به ریشه به میزان زیادی با اضافه کردن سیلیکون به شرایط تنش شوری کاهش می یابد، بنابراین افزایش تحمل به تنش شوری توسط سیلیکون به جذب انتخابی و انتقال پتاسیم و سدیم توسط گیاهان نسبت داده می‌شود (Amirossadat *et al*., 2012). سیلیکون با کاهش جریانات آپوپلاستی، جذب و انتقال فلزات سنگین و نمک‌ها را از ریشه به اندام هوایی کاهش می‌دهد (Ma and Yamaji, 2006). بررسی‌های Liang و همکاران

Archive of SID

www.SID.ir

(۲۰۰۶) نشان داده است که افزودن سیلیکون، انتقال پتاسیم را افزایش داده، نسبت K^+/Na^+ را با فعال کردن پمپ H^+-ATPase بهبود می‌بخشد. در پژوهش حاضر نیز میزان پتاسیم گیاهچه ذرت تیمار شده با سیلیکون به طور معنی‌داری نسبت به تنش شوری افزایش یافت و سیلیکون سبب بهبود اثر شوری شد. نتایج مشابهی در گیاهان *Spartina densiflora* (Mateos-Naranjo *et al*., 2013) و *Saccharum officinarum* L. (Ashraf *et al*., 2010) مشاهده شده است.

در شرایط بدون تنش تنها میزان کلروفیل و پروتئین کل و مقدار پتاسیم در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ نانوسیلیکون به طور معنی‌داری بیشتر از غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سیلیکون است. اما در بررسی اثر نانوسیلیکون در کاهش آثار منفی تنش شوری، تمامی موارد به طور معنی‌داری بهتر از اثر سیلیکون با همان غلظت بود. نانوذرات به علت اندازه کوچکشان ویژگی‌های منحصر به فردی را نشان می‌دهند. برای نمونه، آنها می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی را در مقایسه با مواد بزرگتر تغییر دهند. برخی مطالعات در مورد مقایسه اثر نانوسیلیکون و میکروسیلیکون نشان می‌دهد که نانوسیلیکون به دلیل اندازه کوچکتر بهتر منتقل و منتشر می‌شود (Chen et al., 2004). آنها مساحت سطحی بیشتری نسبت به مواد بزرگتر دارند و به همین دلیل انحلال‌پذیری و واکنش‌پذیری بالاتری دارند (Ruffini and Cremonini, 2009). بنابراین، تأثیر بهتر نانوسیلیکون‌ها بر کاهش آثار منفی تنش شوری نسبت به سیلیکون‌ها، به علت همین ویژگی‌ها قابل توجیه است.

استفاده از عناصر نانو در تغذیه گیاهان یکی از نقش‌های نانوتکنولوژی است. نانوذرات بسیار مؤثرتر از کودهای معمولی هستند زیرا باعث جذب بیشتر به وسیله گیاهان و آزادسازی سریع است. به همین علت، نسبت به کود معمولی ترجیح داده می‌شوند (Wurth, 2007؛ Rezaei *et al*., 2010). عناصر نانوذرات به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی–شیمیایی در مقایسه با ذرات غیرنانو مرکز توجه بسیاری از پژوهشگران است (Monica and Cremonini, 2009). نانوذرات سیلیکون اثر مستقیم و غیر مستقیم در بهبود رشد ریشه و اندام هوایی دارند (Siddiqui and Whaibi, 2014). نانوذرات سیلیکون فشار تورگر و اندازه گیاه را از طریق بهبود کارآیی مصرف آب و محتوای نسبی برگ افزایش می‌دهند. همچنین، نانوذرات سیلیکون از طریق کاهش جذب سدیم، سمّیت آن را کاهش و رشد گیاه را بهبود می‌دهند. کاربرد نانوذرات سیلیکون، وزن تر و خشک اندام هوایی تحت شرایط شوری را کاهش می‌دهد (Kalteh *et al*., 2014).

جمع‌بندی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، سیلیکون و نانوسیلیکون آثار تنش شوری را در گیاهچه ذرت بهبود بخشیده، سبب رشد و بقای بهتر گیاهچه های تحت تنش شوری شدند. همچنین، مشاهده شد که اثر بهبوددهندگی نانوسیلیکون بهتر از اثر سیلیکون بود. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می شود که از سیلیکون و نانوسیلیکون به عنوان بهبوددهنده آثار تنش شوری استفاده گردد.

سپاسگزاری

نگارندگان از حوزه معاونت محترم پژوهش و

Archive of SID

www.SID.ir

فناوری دانشگاه شیراز به خاطر حمایت مالی از پژوهش حاضر، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

Aebi, H. (1984) Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Amirossadat, Z., Mohammadi Ghehsareh, A. and Mojiri, A. (2012) Impact of silicon on decreasing of salinity stress in greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in soilless culture. Journal of Biological Environmental Science 6(17): 171-174.

Ashraf, M. (2009) Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotechnology Advances 27: 84-93.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress and resistance. Environmental Experimental Botany 59: 206-216.

Ashraf, M., Rahmatullah, A. R., Ahmad, A. S., Bhatti, M., Afzal, A., Behzadifar, M., Chehrazi, M. and Aboutalebi, A. (2013) Effect of salt stress by using unconventional water on some morphological characters and ajmalicine alkaloid amount in the roots of *Catharanthus roseus* cvs. Rosea and Alba, Annals of Biological Research 4(8): 229-231.

Ashraf, M., Rahmatullah, A., Ahmad, R., Bhatti, A. S., Afzal, M., Sarwar, A., Maqsood, M. A. and Kanwal, S. (2010) Amelioration of salt stress in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) by supplying potassium and silicon in hydroponics. Pedosphere 20(2): 153-162.

Bates, L. S. Waldron, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studied. Plant and Soil 39: 205-207.

Behzadifar, M., Chehrazi, M. and Aboutalebi, A. (2013) Effect of salt stress by using unconventional water on some morphological characters and ajmalicine alkaloid amount in the roots of *Catharanthus roseus* cvs. Rosea and Alba. Annals of Biological Research 4(8): 229-231.

Borghesi, E. Gonzalez-Miret, M. L. Escudero-Gilete, M. L. Malorgio, F. Heredia, F. J. and Meléndez-Martínez A. J. (2011) Effects of salinity stress on carotenoids, anthocyanins, and color of diverse tomato genotypes. Journal of Agriculture and Food Chemistry 59(21): 11676-11682.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 74: 248-254.

Chen, Y., Chen, J., Dong, J. and Jin, Y. (2004) Comparing study of the effect of nanosized silicon dioxide and microsized silicon dioxide on fibrogenesis in rats. Toxicology and Industrial Health 20(1-5): 21-27.

De Lacerda, C. F. Cambraia, J. Oliva, M. A. Ruiz, H. A. and Prisco, J. T. (2003) Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany 49: 107-120.

Enteshari, S., Alishavandi, R. and Delavar, K. (2011) Interactive effects of silicon and NaCl on some physiological and biochemical parameters in *Borago officinalis* L.. Iranian Journal of Plant Physiology 2(1): 315-320.

Farooq, M., Wahid, A. Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Ghafiyehsanj, E., Dilmaghani, K. and Hekmat Shoar, H. (2013) The effects of salicylic acid on some of biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Annals of Biological Research 4(6): 242-248.

Archive of SID

www.SID.ir

Haghighi, M. and Pessarakli, M. (2013) Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae 161: 111-117.

Haghighi, M., Afifipour, Z. and Mozafarian, M. (2012) The effect of N-Si on tomato seedgermination under salinity levels. Journal of Biology Environment Sciences 6(16): 87-90.

Hajiboland, R. and Cheraghvareh, L. (2014) Influence of Si supplementation on growth and some physiological and biochemical parameters in salt-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants. Journal of Sciences 25(3): 205-217.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125(1): 189-198.

Hussain, K., Majeed, A., Nawaz, K. and Nisar, M. F. (2010) Changes in morphological attributes of maize (*Zea mays* L.) under NaCl salinity. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 8(2): 230-232.

Kalteh, M., Alipour, Z., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M. and Falah, A. (2014) Effects of silica Nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Journal of Chemical Health Risks 4(3): 49-55.

Khan, M. H. and Panda, S. K. (2008) Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. Plant Physiology 30: 81-89.

Kiani Chalmardi, Z., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H. R. (2012) Evaluation of the effects of silicon nutrition on alleviation of iron deficiency in rice plants (*Oriza sativa* L.) with emphasis on growth and antioxidant enzymes activity. Iranian Journal of Plant Biology 4(14):74-61 (in Persian).

Lee, S. K., Sohn, E. Y,. Hamayun, M. Yoon, J. Y. and Lee, I. J. (2010) Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. Agroforestry Systems 80: 333-340.

Liang, Y. C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W. and Ding, R: (2003) Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Physiology 160: 1157-1164.

Liang, Y. C., Sun, W., Zhu, Y. G. and Christie, P. (2007) Mechanisms of silicon mediated alleviation of abiotic stress in higher plants: a review. Environmental Pollution 147: 422-428.

Liang, Y. C., Zhang, W. H., Chen, Q. and Ding, R. X. (2006) Effects of silicon on tonoplast H^+-ATPase and H^+-PPase activity, fatty acid composition and fluidity in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Environmental and Experimental Botany 53: 29-37.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wen, J. Q. and Wu, G. R. (2002) Effects of nano material on germi-nation and growth of soybean. Soybean Sciences 21(3): 168-171.

Ma, J. F. and Yamaji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Sciences 11(8): 392-397.

Mateos-Naranjo, E. Andrades-Moreno, L. and Davy, A. J. (2013) Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. Plant Physiology and Biochemistry 63: 115-121.

Moghadam Ali, M. A., Ramezani, A., Mansuri Far, S., Aslani, K. S., Moradi-Ghahderijani, M. M. and

Archive of SID

www.SID.ir

Jamian, S. S. (2013) Application of silicon ameliorates salinity stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 6(20): 1367-1372.

Mohsenzadeh, S., Shahrtash, M. and Mohabatkar, H. (2011) Interactive effects of salicylic acid and silicon on some physiological responses of cadmium-stressed maize seedlings. Iranian Journal of Science and Technology 201(1): 57-60.

Mohsenzadeh, S., Shahrtash, M. and Teixeira de Silva, J. A. (2012) Silicon improves growth and alleviates toxicity of cadmium in maize seedling. Plant Stress 6(1): 39-43.

Momeni, N., Arvin, M. J., Khagoei negad, G., Keramat, B. and Daneshmand, F. (2013) Effects of sodium chloride and salicylic acid on some photosynthetic parameters and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) plants. Iranian Journal of Plant Biology 5(15): 15-30 (in Persian).

Monica, R. C. and Cremonini, R. (2009) Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62: 161-165.

Moussa, H. R. (2006) Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology 8(2): 293-297.

Nayyar, H. and Walia, D. P. (2003) Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. Biological Plantarum 46: 275-279.

Nelson, N. (1944) A photometric adaption of the somogi method for the determination of glucose. The Journal of Biological Chemistry 153: 375-380.

Nwugo, C. C. and Huerta, A. J. (2011) The effect of silicon on the leaf proteome of rice (*Oryza sativa* L.) plants under cadmium-stress. Journal of Proteome Research 10(2): 518-528.

Parvaiz, A. and Satyawati, S. (2008) Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Plant Soil and Environment 54: 89-99.

Pei, Z. F., Ming, D. F., Liu, D., Wan, G. L., Geng, X. X., Gong, H. J. and Zhou, W. J. (2010) Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling. Journal of Plant Growth Regulation 29: 106-115.

Rahimi, R., Mohammakhani, A., Roohi, V. and Armand, N. (2012) Effects of salt stress and silicon nutrition on cholorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(21): 1591-1595.

Rezaei, R., Hoseini, S. M., Shabanali Fami, H. and Safa, L. (2010) Identification and analysis of barriers in the development of nanotechnology in Iran agriculture sector from the researchers point of view. Sciences Technology Policy 2(1): 17-26.

Ruffini, C. M. and Cremonini, R. (2009) Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62(2): 161-165.

Sai kachout, S., Jaffel Hamza, K., Karray bouraoui, N., Leclerc, J. C. and Ouerghi, Z. (2013) Salt-induced changes in antioxidative enzyme activities in shoot tissues of two atriplex varieties. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 41(1): 115-121.

Saravanavel, R., Ranganathan, R. and Anantharaman, P. (2011) Effect of sodium chloride on photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics of *Avicennia Officinalis* seedlings. Science and Technology 3(4): 177-180.

Shahrtash, M. and Mohsenzadeh, S. (2011) The effect of silicon on biochemical characteristics of maize seedling infected by *Pythium aphanidermatum* during periods of high temperature and humidity. Asian Journal Experimental Biology Science 2(1): 96-101.

Shi, Q., Ding, F., Wang, X. and Wei, M. (2007) Exogenous nitric oxide protects cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 45: 542-550.

Archive of SID

www.SID.ir

Siddiqui, M. H. and Whaibi, M. H. (2014) Role of nano-SiO_2 in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) seeds. Saudi Journal of Biological Sciences 21: 13-17.

Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, E., Tanaka, K. and Shinobu, I. (2009) Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in sorghum grown with or without silicon under water stress. Journal Plant Nutrition 32: 433-442.

Tuna, A. L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S. and Girgin, A. R. (2008) Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany 62: 10-16.

Wang, B. S. and Zhao, K. F. (1995) Comparison of extractive methods of Na^+, K^+ in wheat leave. Plant Physiology Communications 31(1): 50-52.

Wang, X., Ou-yang, C., Fan, Z., Gao, S., Chen, F. and Tang, L. (2010) Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. Journal of Animal and Plant Sciences 6(3): 700-708.

Wanger, G. J. (1979) Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology 64: 88-93.

Wurth, B. (2007) Emissions of engineered and unintentionally produced nanoparticles to the soil: an exposure assessment for Switzerland. PhD thesis, ETH Zurich University, Zürich, Switzerland.

Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K. and Oka, M. (2013) Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. Acta Physiology Plant 35: 3099-3107.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of silicon and nanosilicon on reduction of damage caused by salt stress in maize (*Zea mays*) seedlings

Hamid Reza Zare, Zohreh Ghanbarzadeh, Assieh Behdad, Sasan Mohsenzadeh *
Department of Biology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract
Salinity reduced the efficiency of agricultural production like maize as one of the most important cereals for food and oil for humans. Silicon is the second most abundant element in the soil and alleviates the biotic and abiotic stresses in plants. The aim of this study is evaluate the effect of silicon and nanosilicon on improvement of salt stress in maize (*Zea mays*). For this propose, the interaction between the effects of different levels of salinity (0 and 100 mM), silicon and nanosilicon (50, 100 and 150 mg /mL) was studied in completely randomized block design with factorial experiments and with three replications. The results showed that salinity significantly decreased root and shoot growth, amount of chlorophyll and carotenoid pigments, protein and potassium contents, compared to control. Treating plants with silicon and nanosilicon caused reduction of salinity effects and increase above indices. Salinity stress also caused a significant increase in proline, anthocyanin and soluble carbohydrate contents, lipid peroxidation, and catalase activity and treatment with silicon and nanosilicon alleviates effects of salt stress and reduced the amount of above indices. 150 mg/mL of nanosilicon showed the maximum effect on diminishing negative effects of salt stress on all examined parameters. So, the use of this element is proposed as alleviator of salt stress on maize.
Key words: Salinity, *Zea mays*, Silicon, Nanosilicon

Archive of SID

* Corresponding Author: mohsenzadeh@susc.ac.ir

www.SID.ir