اثرات سیلیس و تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم توت‌فرنگی در کشت هیدروپونیک

سیدزبیر مهدوی[۱]، تیمور جوادی*[۲] و ناصر قادری[۲]
[۱]دانش‌آموخته گروه علوم باغبانی، دانشگاه کردستان سنندج
[۲]گروه علوم باغبانی، دانشگاه کردستان سنندج
*-نویسنده مسئول: *tjavadi@uok.ac.ir*

چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل مهم زیست‌محیطی است که رشد، توسعه و تولید گیاه را محدود می‌سازد و روی عملکرد اثرات منفی دارد. ایران به‌عنوان کشوری نیمه‌خشک سالانه خسارات زیادی را از کمبود آب در بخش کشاورزی متحمل می‌شود که می‌توان دلیل آن را گرم شدن کره‌ی زمین و کمبود بارندگی در چند سال اخیر عنوان کرد. جهت جلوگیری از خسارت به محصولات کشاورزی باید راهکارهایی را برای کاهش تلفات آب گیاهان ارائه کرد. ازجمله‌ی این راهکارها استفاده از ترکیباتی مانند سیلیس است که جهت افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی به کار می‌رود. بنابراین این پژوهش به‌منظور به‌کارگیری عنصر سیلیس در جهت کاهش اثر تنش خشکی در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا صورت گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل با سه عامل شامل رقم (دو رقم پاروس و کاماروزا)، سیلیس (صفر، ۰/۶ و ۱/۲ میلی‌مولار) و خشکی (دو سطح شاهد و تنش خشکی) در ۴ تکرار اجرا شد. ۹۶ نشاء توت فرنگی (از هر رقم ۴۸ نشاء) در شاسی‌ها کشت شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل، مالون دی آلدئید، پراکسید هیدروژن شد. کاربرد سیلیس سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل کاهش میزان مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن شد.

کلمات کلیدی: تنش کم‌آبی، توت‌فرنگی، پراکسید هیدروژن، پرولین.

مقدمه

خشکی اثرات مخرب متعددی روی رشد گیاهان و فرایندهای متابولیکی از جمله روابط آبی در گیاه، فتوسنتز و جذب مواد مغذی از خاک دارد (Xiong *et al.*, 2012). در شرایط تنش به جز انباشت ترکیبات ضداکسایشی، گیاهان با انباشت مواد محلول سازگار از جمله پرولین به تنش واکنش نشان می‌دهند (Gzik, 1996). هنگامی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، مقدار آب و پتانسیل آب برگ به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Farooq *et al.*, 2009). از نتایج تنش خشکی در گیاه می‌توان به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش پتانسیل آب بافت‌های گیاهی، کاهش میزان تعرق، کاهش رشد و تجمع آبسزیک اسید، پرولین، مانیتول، سوربیتول و تشکیل ترکیبات مهار کننده‌ی رادیکال‌های آزاد مانند آسکوربات، توکوفرول و گلوتاتیون، سنتز پروتئین‌های جدید و mRNA ها اشاره نمود. کمبود آب موجب ایجاد اختلال در پیوستگی لیپیدهای غشایی و پروتئین‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (Caldwell and Whitman, 1987).

IrHC2019

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در گلخانه و آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه کردستان انجام گرفت. در این آزمایش از بوته‌های دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا جهت بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار سیلیس استفاده شد. در این تحقیق تعداد ۹۶ نشاء توت فرنگی (از هر رقم ۴۸ نشاء) در شاسی‌های موجود در گلخانه دانشگاه کردستان کشت شدند. نشاها در طول رشد بوسیله‌ی محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند. پس از استقرار نشاءها، سیلیس مورد نظر در سه سطح (۰، ۰/۶ و ۱/۲ میلی‌مولار) یک ماه قبل از شروع تنش خشکی به محلول اضافه شد. سپس گیاهان در معرض دو سطح خشکی (شاهد و تیمار تنش آبی) قرار گرفتند. خشکی نیز به مدت یک ماه اعمال شد. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی با سه عامل شامل رقم (دو رقم پاروس و کاماروزا)، سیلیس (۰، ۰/۶ و ۱/۲ میلی‌مولار) و خشکی (دو سطح شاهد و تنش آبی) و ۴ تکرار اجرا شد. گیاهان شاهد هر دو روز یکبار با محلول هوگلند و میزان ۴۰ لیتر برای هر شاسی آبیاری شدند و در بقیه‌ی روزها هر شاسی با ۴۰ لیتر آب آبیاری شدند. تیمارهای تنش آبی فقط هر دو روز یکبار به میزان ۴۰ لیتر برای هر شاسی تیمار شدند. تیمار سیلیکات سدیم به کار رفته به صورت جامد با فرمول شیمیایی Na_2SiO_3 با غلظت های ذکر شده اضافه گردید. بعد از پایان دوره‌ی تنش، نمونه‌های برگی بعد از اعمال تیمارها در بهار سال ۱۳۹۵ برداشت شده و به آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی منتقل شدند.

محتوای نسبی آب برگ (RWC) : جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ[1]، برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته قطع شدند پس از تعیین وزن آماس، تکه‌های برگ به آون ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد منتقل شدند و پس از ۲۴ ساعت، وزن خشک آن‌ها تعیین شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه‌ی زیر به‌صورت درصد محاسبه شد (Galmes *et al.*, 2007).

RWC = [(وزن خشک – وزن تورژسانس) / (وزن خشک – وزن تر)] ×۱۰۰

میزان کربوهیدرات‌های محلول کل و پرولین برگ: به‌منظور اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول کل ۰/۱ گرم از بافت تازه‌ی برگ توزین شده و غلظت کربوهیدرات‌های محلول کل برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه‌ی برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید (Irigoyen *et al.*, 1992). میزان پرولین آزاد بافت برگ در ۰/۵ گرم از بافت تازه‌ی برگ تعیین گردید (Bates *et al.*, 1973).

میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

جهت اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن، ۰/۲۵ گرم بافت برگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد ساییده شد. میزان پراکسید هیدروژن برحسب میکرومول بر گرم بافت تازه‌ی برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Alexieva *et al.*, 2001).

میزان مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید ۱ گرم بافت تازه‌ی برگ در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۱۰ درصد سائیده شد. از رابطه‌ی زیر برای محاسبه‌ی میزان مالون‌دی‌آلدئید استفاده شد (Li, 2000).

$$C\ (\mu m/l) = 6.45\ (A_{532} - A_{600}) - 0.56\ A_{450}$$

نتایج وبحث

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رقم و سیلیس، و اثرات متقابل تنش خشکی و سیلیس، رقم و تنش خشکی و سیلیس در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود اما اثر متقابل رقم و سیلیس در سطح احتمال ۵٪ بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود. اثر ساده‌ی تنش خشکی و اثر متقابل رقم و تنش خشکی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار آبیاری کامل، غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس به‌طور معنی‌داری باعث افزایش RWC در هر دو رقم موردآزمایش شد و بین دو رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بین غلظت صفر و ۰/۶ میلی‌مولار سیلیس اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی، RWC گیاهان تیمارشده با سیلیس تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. تنش خشکی باعث کاهش میزان RWC شد. به طوری که کمترین میزان RWC در تیمار تنش خشکی و غلظت صفر میلی‌مولار سیلیس در رقم کاماروزا مشاهده شد. غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سبب افزایش RWC در هر دو

[1] Relative water Content

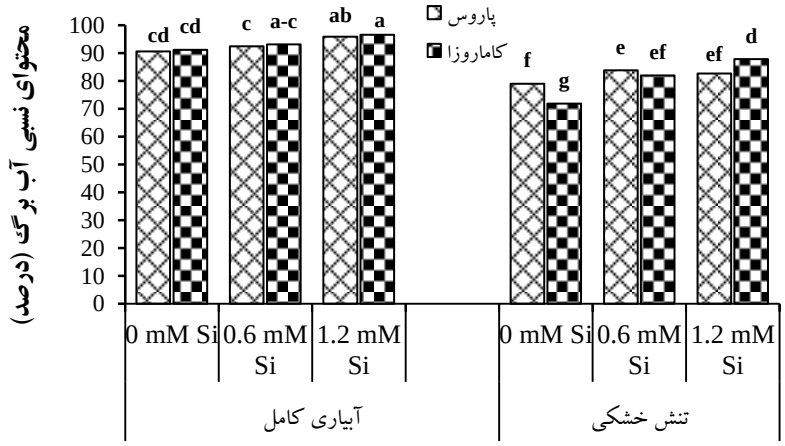
IrHC2019

رقم شد. در رقم کاماروزا غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس سبب افزایش بیشتر RWC شد اما در رقم پاروس بین غلظت ۰/۶ و ۱/۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین میزان RWC در غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس در رقم کاماروزا مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول کل تحت تأثیر تنش خشکی و سیلیس در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		محتوای نسبی آب برگ	پرولین	کربوهیدرات‌های محلول کل
رقم	۱	۱۷۶۰/۶ **	۰/۰۰۰۰۷ ns	۱/۸۵ ns
خشکی	۱	۱/۰۸ ns	۰/۱۶۶ **	۲۳۳/۲۵ **
سیلیس	۲	۲۳۵/۰۱۲ **	۰/۰۱۱۶ **	۵۲/۲۸ **
رقم × خشکی	۱	۱۱/۷۴ ns	۰/۰۱۱۷ **	۲/۵۹ ns
رقم × سیلیس	۲	۳۴/۹۱ *	۰/۰۰۲۲ **	۲/۸۸ ns
خشکی × سیلیس	۲	۳۸/۷۲ **	۰/۰۱۳ **	۳۲۱/۰۹۸ **
رقم × خشکی × سیلیس	۲	۳۷/۲۶ **	۰/۰۰۰۳ **	۶/۷۱ ns
خطا	۳۶	۶/۹۸	۰/۰۰۰۰۴	۷/۳۹
ضریب تغییرات (٪)		۳/۰۳۱	۲/۴۵	۴/۲۶

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.



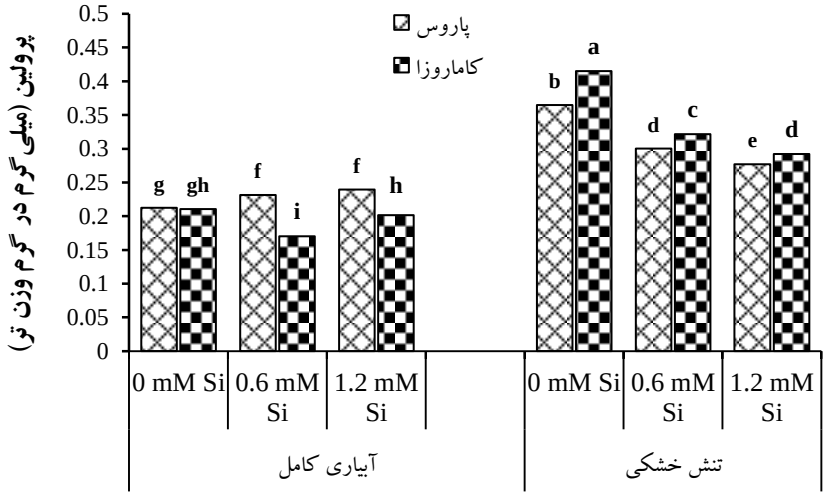
شکل ۱ - مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و سیلیس روی محتوای نسبی آب برگ در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

مکانیسم اصلی که برای نقش سیلیس در حفظ آب در بافت برگ فرض می‌شود، کاهش از دست دادن آب از طریق کاهش تعرق کوتیکولی و تعرق روزنه‌ای و بهبود وضعیت جذب آب با افزایش حجم و وزن ریشه است (Habibi, 2015).

میزان پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تنش خشکی و سیلیس و اثرات متقابل رقم و تنش خشکی، رقم و سیلیس، تنش خشکی و سیلیس، رقم و تنش خشکی و سیلیس در سطح احتمال ۱٪ بر میزان پرولین معنی‌دار و اثر ساده‌ی رقم غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار آبیاری کامل، غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سیلیس به‌طور معنی‌داری باعث

IrHC2019



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و سیلیس روی میزان پرولین در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

افزایش میزان پرولین در رقم پاروس شد اما میزان پرولین در رقم کاماروزا را کاهش داد. در رقم پاروس بین غلظت ۰/۶ و ۱/۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در رقم کاماروزا غلظت ۱/۲ میلی‌مولار میزان پرولین را نسبت به غلظت ۰/۶ افزایش داد اما بین غلظت صفر و ۱/۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تنش خشکی، میزان پرولین گیاهان تیمارشده با سیلیس تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین میزان پرولین در غلظت صفر میلی‌مولار در رقم کاماروزا مشاهده شد. غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سبب کاهش میزان پرولین در هر دو رقم شد. غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس سبب کاهش بیشتر میزان پرولین شد. کمترین میزان پرولین در تیمار تنش خشکی در غلظت ۱/۲ میلی‌مولار در رقم پاروس مشاهده شد (شکل ۲).

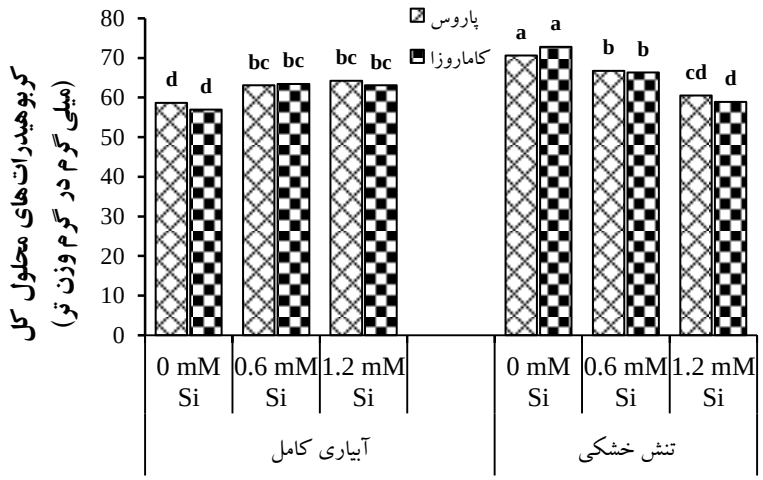
پرولین یک شاخص بیوشیمیایی تنش و یک تنظیم‌کننده‌ی اسمزی است که باعث کاهش سطح تنش می‌شود (Gunes *et al.*, 2008). علاوه بر این، سیلیس به عنوان یک عامل ضد تنش شناخته شده و می‌تواند تعرق کوتیکولی را کاهش (Ma *et al.*, 2006) و راندمان مصرف آب را افزایش دهد (Gao *et al.*, 2004).

میزان کربوهیدرات‌های محلول کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تنش خشکی و سیلیس و اثرات متقابل تنش خشکی و سیلیس در سطح احتمال ۱٪ بر کربوهیدرات‌های محلول کل معنی‌دار بود. اثر ساده‌ی رقم و اثر متقابل رقم و تنش خشکی، رقم و سیلیس، رقم و تنش خشکی و سیلیس غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار آبیاری کامل و غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سیلیس به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول کل در هر دو رقم موردآزمایش شد اما با غلظت ۱/۲ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش خشکی، میزان کربوهیدرات‌های محلول کل گیاهان تیمارشده با سیلیس تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. تنش خشکی باعث افزایش کربوهیدرات‌های محلول کل شد. کاربرد غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سیلیس موجب کاهش کربوهیدرات‌های محلول کل در هر دو رقم شد. غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس کربوهیدرات‌های محلول کل را بیشتر کاهش داد به طوری که کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول کل در غلظت ۱/۲ میلی‌مولار مشاهده شد. بین دو رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

احتمالاً سیلیس با بهبود شرایط آب در گیاه و افزایش رشد و سرعت فتوسنتز سبب کاهش تجمع کربوهیدرات‌های محلول و افزایش انتقال آن‌ها به بافت‌های مصرف‌کننده می‌شود. کاربرد سیلیس با افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش، گیاهان را از تخریب اکسایشی محافظت می‌کند. سیلیس با تجمع کربوهیدرات‌های محلول نقش کلیدی در تنظیم روابط آب گیاه در شرایط تنش اسمزی ایفا می‌کند (Abu-Muriefah, 2015).

IrHC2019



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و سیلیس روی کربوهیدرات‌های محلول کل در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

پراکسید هیدروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تنش خشکی و سیلیس و اثرات متقابل رقم و تنش خشکی، رقم و سیلیس، تنش خشکی و سیلیس، رقم و تنش خشکی و سیلیس در سطح احتمال ۱٪ بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار و اثر رقم غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار آبیاری کامل، غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سیلیس به‌طور معنی‌داری باعث کاهش میزان H_2O_2 در هر دو رقم موردآزمایش شد. غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس در رقم پاروس میزان H_2O_2 را تا سطح شاهد بدون سیلیس افزایش داد. در رقم کاماروزا بین غلظت ۰/۶ و ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی، میزان H_2O_2 گیاهان تیمارشده با سیلیس تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. در شرایط تنش خشکی بدون سیلیس در رقم پاروس بیشترین میزان H_2O_2 مشاهده شد. غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سبب کاهش میزان H_2O_2 در هر دو رقم شد. غلظت ۱/۲ در رقم پاروس سبب کاهش بیشتر میزان H_2O_2 نسبت به غلظت ۰/۶ شد اما در رقم کاماروزا افزایش بیشتر میزان H_2O_2 را موجب شد (شکل ۴).

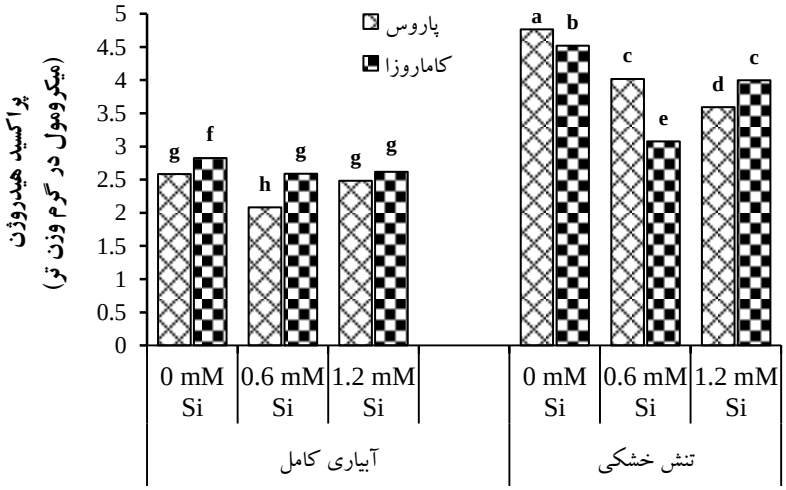
نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی موجب تشکیل رادیکال آزاد H_2O_2 در هر دو رقم موردآزمایش شد. کاربرد سیلیس از طریق افزایش میزان فتوسنتز موجب بهبود اثر تنش خشکی شده، میزان H_2O_2 را کاهش می‌دهد و درنهایت سبب پایداری غشاء می‌شود. در تنش خشکی به علت عدم توازن بین دریافت نور و مصرف آن، فعالیت فتوسنتزی مختل می‌گردد. تنظیم نامناسب فتوسیستم II موجب عدم توازن بین تولید و مصرف الکترون شده و به تولید گونه‌های اکسیژن فعال منجر می‌شود. رادیکال‌های آزاد اکسیژن علاوه بر صدمه به سلول‌های گیاهی، به عنوان مولکول‌های نشانگر عمل کرده و سبب فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی موجود زنده در برابر تنش اعمال شده می‌گردند (Arora *et al.*, 2002). پراکسید هیدروژن یکی از رادیکال‌های آزادی است که باعث پراکسیداسیون لیپیدی و درنتیجه افزایش در نشت‌پذیری غشاء سلول می‌شود که باعث تحریک پیری می‌شود (Cho and Seo, 2005).

IrHC2019

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به پروتئین‌های محلول کل، پراکسید هیدروژن و مالون دآلدئید تحت تأثیر تنش خشکی و سیلیس در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		پراکسید هیدروژن	مالون دی آلدئید
رقم	۱	۰/۰۰۳۶ ns	۸۹۲/۵۹ **
خشکی	۱	۲۵/۷۱ **	۵۹/۵۴ **
سیلیس	۲	۲/۲۴ **	۱۸۲/۶۷ **
رقم × خشکی	۱	۰/۹۳ **	۱/۹۹ ns
رقم × سیلیس	۲	۰/۲۴ **	۶۷/۵۷ **
خشکی × سیلیس	۲	۰/۶۷ **	۰/۹۱ ns
رقم × خشکی × سیلیس	۲	۰/۷۴ **	۰/۵۴ ns
خطا	۳۶	۰/۰۱۲	۲/۰۰۹
ضریب تغییرات (٪)		۳/۳۵	۵/۱۷

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و سیلیس روی میزان پراکسید هیدروژن در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

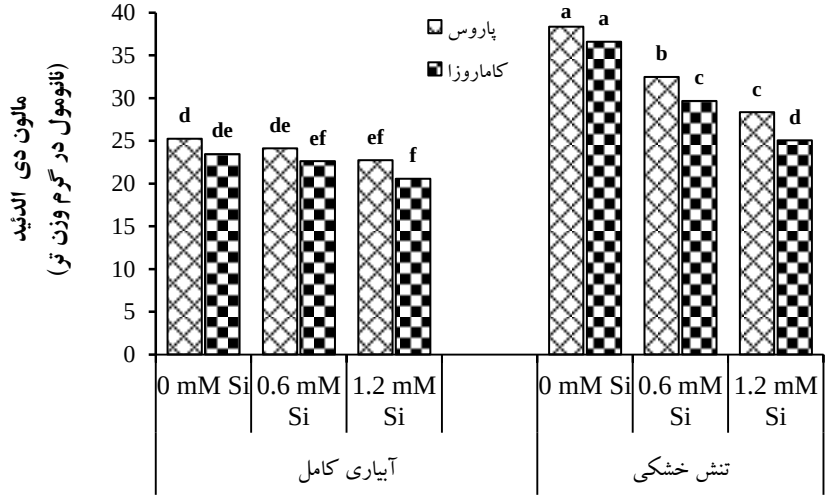
سیلیس با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی سبب کاهش میزان H_2O_2 تولید شده توسط تنش‌های محیطی می‌شود. سیلیس اعمال شده به خاک از طریق کاهش میزان H_2O_2 از آسیب غشایی در شاخه جلوگیری می‌کند (Gunes *et al.*, 2008).

میزان مالون دی آلدئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رقم، تنش خشکی و سیلیس و اثر متقابل رقم و سیلیس در سطح احتمال ۱٪ بر مالون دی آلدئید معنی‌دار و اثرات متقابل رقم و تنش خشکی، تنش خشکی و سیلیس، رقم و تنش خشکی و سیلیس غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار آبیاری کامل، غلظت ۱/۲ میلی‌مولار سیلیس به‌طور معنی‌داری باعث کاهش میزان مالون دی آلدئید در هر دو رقم موردآزمایش شد به طوری که کمترین میزان مالون دی آلدئید در این تیمار مشاهده شد. بین غلظت صفر و ۰/۶ میلی‌مولار سیلیس اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بین دو رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی، میزان مالون دی آلدئید گیاهان تیمارشده با سیلیس تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین مالون دی آلدئید در غلظت صفر میلی‌مولار سیلیس مشاهده شد. تنش خشکی باعث افزایش مالون دی آلدئید و سیلیس سبب کاهش میزان آن در هر دو رقم شد. غلظت ۰/۶ میلی‌مولار سبب کاهش مالون دی آلدئید در هر دو رقم شد. غلظت ۱/۲ میلی‌مولار میزان مالون دی آلدئید را بیشتر

IrHC2019

کاهش داد و کمترین میزان آن در غلظت ۱/۲ میلی‌مولار در رقم کاماروزا مشاهده شد به عبارتی اثر سیلیس روی کاهش مالون دی آلدئید در شرایط تنش خشکی در رقم کاماروزا بیشتر بود (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و سیلیس روی میزان مالون دی آلدئید در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کاماروزا. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثرات سیلیس بر کاهش سطوح MDA تولید شده به‌واسطه‌ی تنش‌های اکسایشی ممکن است به‌صورت مستقیم با رسوب سیلیس در دیواره‌ی سلولی و یا غیرمستقیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی و کاهش انواع اکسیژن واکنشگر باشد. گزارش‌های متعددی مبنی بر بهبود ثبات غشاهای سلولی و کاهش MDA توسط عرضه‌ی سیلیس در شرایط تنش‌های اکسایشی در شوید (Shekari *et al.*, 2015) وجود دارد.

منابع

Abu-Muriefah, S.S. 2015. Effects of Silicon on membrane characteristics, photosynthetic pigments, antioxidative ability, and mineral element contents of faba bean (*Vicia faba* L.) plants grown under Cd and Pb stress. Journal of Biological Sciences, 2(6): 1-17.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress marker in Pea and Wheat. Plant Cell and Environment, 24(12): 1337-1344.

Arora, A., Sairam, R. K., and Srivastava, G. C. 2002. Oxidative stress and antioxidant system in plants. Plant Physiology, 82: 1227-1237.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil. 39: 205-207.

Caldwell, C.R. and Whitman, C.E. 1987. Temperature-induced protein conformational changes in barley root plasma membrane-enriched microsomes I. Effect of temperature on membrane protein and lipid mobility. Plant Physiology, 84(3): 918-923.

Cho, U.H. and Seo, N.H. 2005. Oxidative stress in Arabidopsis thaliana exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. Plant Science, 168: 113-120.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and. Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agronomy Sustain, 29: 185-212.

IrHC2019

Galmes, J., Flexas, J., Save, R. and Medrano, H. 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranea plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. Journal of Plant and Soil, 290: 139-155.

Gao, X.P., Zou, C.Q., Wang, L.J. and Zhang, F.Z. 2004. Silicon improves water useefficiency in maize plants. Journal of Plant Nutrition, 27: 1457–1470.

Gunes, A., Pilbeam, D.J., Inal, A. and Coban, S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, In: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39: 1885–1903.

Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of α-amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. Environmental and Experimental Botany, 36(1): 29-38.

Habibi, G. 2015. Exogenous silicon leads to increased antioxidant capacity in freezing-stressed pistachio leaves. Journal of Agriculturae Slovenica, 105(1): 43-52.

Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Journal of Physiologia Plantarum, 84(1): 55-60.

Li, H.S. 2000. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 167-169.

Ma, J.F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., Katsuhara, M., Ishiguro, M., Murata, Y. and Yan, M. 2006. Silicon transporter in rice. Nature, 440(7084): 688-691.

Effects of Silicon and drought stress on physiological and biochemical characteristics of two strawberry cultivars in hydroponic culture

Said zobair mahdavi[1] , Taimoor Javadi[2*] and Naser Ghaderi[2]
[1] Graduated student of Horticultural Science Department, University of Kurdistan, Sanandaj
[2] Horticultural Science Department, University of Kurdistan, Sanandaj
[*]*Corresponding Author: tjavadi@uok.ac.ir*

Abstract
Drought stress is an important environmental factor limit plant growth, development, production, and has negative effects on yield. Iran, as a semi-arid country, suffers a lot from agricultural water shortages, which can be attributed to global warming and shortage of rainfall in recent years. In order to prevent damage to agricultural crops, there should be solutions to reduce plant losses. Among these solutions are the use of compounds such as silica that is used to increase the resistance of plants to environmental stress. Therefore, this study was conducted to use silica to reduce the effect of drought stress on two strawberry cultivars Parous and Camarosa. The experiment was carried out in a factorial arrangement with three factors including cultivar (Parous and Camarosa), silica (0, 0.6 and 1.2 mM) and drought (two levels of control and drought stress) in 4 replications. 96 strawberry seedlings (48 digits each) were cultivated in the chests. The results showed that drought stress reduced leaf relative water content and increased proline, total soluble carbohydrates, malondialdehyde, hydrogen peroxide. The use of silica increased the relative water content of leaves, proline, total soluble carbohydrates, reduced malondialdehyde and hydrogen peroxide levels.

Keywords: Hydrogen Peroxide, Proline, Strawberry, Water stress

IrHC2019