اثرات تنش خشکی و برهمکنش آن با سیلیکون بر سامانه آنتی اکسیدان و میزان پراکسیداسیون لیپیدی رازیانه (*Foeniculum vulgar*)

حسن موسی پور یحیی آبادی[۱] و محمد رضا اصغری پور[۲*]

[۱] گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، [۲]گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٤/۰۱/۱۹)

چکیده:

تنش خشکی باعث تحریک ساخته شدن گونه‌های اکسیژن فعال در کلروپلاست‌های گیاهی می‌شود. گونه‌های اکسیژن فعال نیز سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و تخریب غشای سلولی می‌شوند. در این پژوهش، اثر غلظت‌های متفاوت سیلیکون بر تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی در گیاه رازیانه بررسی شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اصلی تنش خشکی بود که بر اساس آبیاری در ۱۰۰ درصد، ۷۰ درصد و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی اعمال گردید و فاکتور فرعی نیز محلول پاشی سیلیکون در پنج سطح (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی‌مولار) بود. این آزمایش در مزرعه دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a و کلروفیل b، کارتنوئیدها، محتوای نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم کاتالاز شد. میزان مالون دی‌آلدئید و نشت الکترولیت‌ها در شرایط خشکی به میزان دو برابر نسبت به شاهد افزایش نشان دادند. محلول پاشی سیلیکون در زمان آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد از نظر صفات مورد بررسی نشان نداد، ولی در شرایط تنش شدید خشکی تیمار ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پرولین و قندهای محلول را به ترتیب ۱۸، ۲۵، ١٤ و ۲۸ درصد افزایش و مالون دی‌آلدئید و نشت الکترولیت‌ها را به میزان ۳۰ و ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. با توجه به نتایج به دست آمده محلول پاشی غلظت‌های ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون توانست با تقویت سیستم آنتی اکسیدان گیاه و افزایش میزان اسمولیت‌ها، توانایی گیاه رازیانه را در پاسخ به تنش خشکی افزایش دهد و اثر محافظتی در برابر پراکسیداسیون لیپیدها (که ناشی از تنش خشکی می‌باشد) داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی اکسیدان، پراکسیداسیون لیپیدی، پرولین، سیلیکون، رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقدمه:

کم آبی از تنش‌های مهم محیطی است که رشد و تولیدات کشاورزی را در نواحی خشک و نیمه خشک از جمله ایران محدود می‌کند. تنش خشکی از فتوسنتز گیاه ممانعت نموده، باعث تغییر در محتوای کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی می‌شود (Mascher *et al*., 2005). یکی از دلایلی که تنش خشکی رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد، اختلال در تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم‌های دفاعی برطرف کننده این رادیکال‌هاست که باعث تجمع گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در کلروپلاست و آسیب به غشاء در اثر پراکسیداسیون لیپیدی می‌گردد (Gill and Tuteja, 2010; Mascher *et al*., 2005). ROS به طور بالقوه با بسیاری از ترکیب‌های سلولی واکنش داده و سبب خسارت به غشا و سایر ماکرومولکول‌های ضروری از قبیل رنگدانه‌های

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m_asgharipour@uoz.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (Gill and Tuteja, 2010). بنابراین، میزان آن باید در سلول کنترل شود. گیاهان با ایجاد سازوکارهای حفاظتی متفاوتی از جمله؛ تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول (Tian and Li, 2006) و سیستم آنتی اکسیدانی که شامل ترکیب‌های آنزیمی (سوپراکساید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز) و غیر آنزیمی (اسید آسکوربیک، کارتنوئیدها، آنتوسیانین، ترکیبات فنلی و گلوتاتیون)، معمولا سطوح ROS را در سلول در حد متعادل نگه می‌دارند و از این طریق مانع از تنش اکسیداتیو می‌شوند (AL-Aghabary *et al.*, 2004). یکی از راهکارهای کاهش اثرات زیانبار تنش خشکی، استفاده از روش‌های صحیح تغذیه معدنی گیاهان است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد دارد. در همین ارتباط نقش برخی عناصر نظیر سیلیکون مورد توجه برخی متخصصین تغذیه گیاهی قرار گرفته (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Kamenidou *et al.*, 2008).

سیلیکون دومین عنصر فراوان پوسته‌ی زمین است که در محلول خاک به صورت سیلیس حل شده مونوسیلیسیلیک اسید (H_4SiO_4) وجود دارد و با همین فرم توسط گیاهان جذب می شود (Gong *et al.*, 2005). تاکنون سیلیکون به عنوان عنصر ضروری برای رشد گیاه در نظر گرفته نشده است، ولی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این عنصر بر رشد و عملکرد گیاهانی مانند گاوزبان (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲) و ژربرا (Kamenidou *et al.*, 2008) تأثیر مثبت دارد. سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و بالا رفتن محتوای اسمولیت‌ها، نقش مهمی در ایجاد تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان ایفا می‌کند (Ma and Yamaji, 2006; Liang *et al.*, 2007). افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیکون می‌تواند ناشی از تجمع سیلیکون در برگ‌ها باشد و از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها باعث ایستادگی ساقه و گسترش برگ‌ها در برابر نور و افزایش جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۹). سیلیکون با محافظت از ساختارهای غشای پلاسمایی و بافت های گیاهی در برابر اثرات مضر رادیکال‌های آزاد از طریق فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تحریک فعالیت H^+-ATPase (Liang *et al.*, 2006) باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود. گانز و همکاران (Gunes *et al.*, 2007) اثرات سیلیکون را بر میزان فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی در ۱۰ رقم اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) تحت تنش خشکی بررسی نموده و ملاحضه کردند که میزان آنزیم سوپراکسیداز و کاتالاز در حضور سیلیکون افزایش یافت. لی و همکاران (Li *et al.*, 2007) در بررسی تنش خشکی و سیلیکون در گیاه ذرت گزارش دادند، تیمار سیلیکون باعث افزایش عملکرد، محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسیداز دیسموتاز در مقایسه با نمونه‌های شاهد گردید، علاوه بر آن سیلیکون باعث افزایش نفوذپذیری غشای پلاسمایی و میزان فتوسنتز نیز شد.

گیاهان دارویی از اهمیت زیادی در تأمین بهداشت و سلامت جامعه برخوردارند و در سال‌های اخیر رویکردی همه جانبه برای استفاده از داروهایی با منشأ طبیعی و خصوصاً گیاهی در جهان پدید آمده است. از سوی دیگر کشور ایران در معرض خطر بزرگ کمبود آب قرار دارد. لذا انجام پژوهش حاضر در جهت راه‌کاری برای افزایش مقاومت گیاه رازیانه در برابر تنش خشکی صورت گرفت. و برای مشخص شدن نقش سیلیکون در برابر تنش خشکی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه رازیانه مورد سنجش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها:

بذرهای گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. آزمایش در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، موقعیت جغرافیایی ٦١ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ٤٩٨/٢ متر از سطح دریا اجرا گردید. میانگین ۳۰ ساله متوسط بارندگی منطقه ۵۸/۹ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۲۲ درجه سانتی گراد می‌باشد. مزرعه محل آزمایش، در سال قبل زیر کشت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

هدایت الکتریکی (ds.m)	pH	ماده آلی	N	K	P	Zn	Mn	Fe	شن	رس	لای	بافت خاک
		درصد		ppm					درصد			
۲/۱	۷/۹	۰/۵٦	۰/۰٤	۱۲٤	۱۱	۱/۸	۱/٦	۰/۸	٤۱/۸٦	۳۱/۱	۲۷/۰٤	شنی رسی

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش

		میلی اکی والان در لیتر (meq/l)							
	EC (ds/m)	PH	Ca^{2}	Mg^{2+}	Na^{2+}	K^{+}	HCO_3^{-}	CL^{-}	SO_4^{2-}
آب رودخانه	۱/۲٤	۷/۸۵	۳/۰۰	٤/۰۰	۵/۷۸	۰/۰۷	۵/۰۰	٤/۰۰	۳/۸۷

گیاه گاوزبان اروپایی قرار گرفته بود. بافت خاک مزرعه از نوع شنی رسی و شرایط شیمیایی خاک مزرعه در سال مورد آزمایش قبل از کشت به شرح جدول ۱ و خصوصیات آب مورد آبیاری در طول دوره آزمایش در جدول ۲ گزارش شده است.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اصلی تنش خشکی شامل آبیاری بر اساس نسبت‌های مختلفی از ظرفیت زراعی در سه سطح: شاهد، متوسط و شدید (به ترتیب در ۱۰۰، ۷۰ و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور فرعی نیز محلول پاشی سیلیکون در پنج سطح (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی مولار) بود. اعمال تنش خشکی از مرحله ۸-٦ برگی آغاز گردید. ابتدا کلیه کرت‌ها به طور یکسان و یکنواخت آبیاری شدند، سپس اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (از سطح خاک تا ۲۵ سانتی‌متر) گردید و به صورت روزانه درصد رطوبت خاک تعیین شد. در حالت ۱۰۰ ظرفیت زراعی میزان رطوبت خاک ۱۸/۵٪ وزن خشک خاک بود. برای اعمال تیمارها و جهت دقت در انجام آزمایش از روش وزنی و دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) همزمان استفاده گردید. هر کرت آزمایش شامل ۵ ردیف ۳ متری و فاصله بین ردیف‌های کاشت ٤۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود به طوری که روی هر ردیف کشت، ۱۰ بوته رازیانه قرار داشت. کاشت بذور در تاریخ ۱۰ اسفند ۱۳۹۲ صورت گرفت. محلول پاشی سیلیکون طی دو مرحله ۱- مرحله رشد رویشی (۳۰ فروردین) و ۲- اوایل رشد زایشی (۳۰ خرداد ماه ۱۳۹۳) صورت گرفت. نمونه برداری برگ‌های تازه رازیانه جهت اندازه‌گیری صفات مورد بررسی این آزمایش، ۱۰ روز پس از محلول پاشی دوم سیلیکون (۱۰ تیر ماه) انجام شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ، نمونه‌های برگ‌های میانی هر بوته انتخاب و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از تعیین وزن تر برگ‌ها، نمونه‌ها به مدت ۲٤ ساعت در آب مقطر (دمای حدود ۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. پس از گذشت ۲٤ ساعت وزن آماس برگ‌ها ثبت شد. به منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و در نهایت وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول زیر محتوای آب نسبی محاسبه شد:

$$RWC(\%)= ((FW-DW)/(TW-DW))*100$$

که در آن، FW وزن تازه برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن آماس یافته برگ است (Ghanbari *et al*., 2013).

سنجش میزان آسیب به غشاء و میزان نشت الکترولیت‌ها با استفاده از روش Hamed و همکاران (۲۰۰۷) ارزیابی شد. برای این منظور، ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه برگ گیاه بعد از شستشو با آب مقطر برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح برگ، درون لوله آزمایش درب دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

یون گیری شده به آن اضافه گردید. سپس لوله‌های آزمایش را به مدت ۲ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲°C قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱°C و فشار یک اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردیده و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵°C، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) مجددا اندازه‌گیری شد. سپس درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از فرمول (EC_1/EC_2*100) محاسبه شد (Hamed *et al.*, 2007).

میزان کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت محاسبه و ارائه گردید.

برای اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدها در بافت، محتوای مالون دی‌آلدوئید (MDA) در واکنش با تیوباربیتوریک اسید به روش Heath وPacker (۱۹٦۸) تعیین شد. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل $M^{-1}cm^{-1}$ ۱۰^۵ × ۱/۵٦ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب وزن تر بافت محاسبه و گزارش گردید.

در این مطالعه از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) جهت اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد برگ استفاده شد. در این روش جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت و غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

میزان قندهای محلول گیاه، با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک اندازه‌گیری شد. در این روش از ۰/۱ گرم بافت خشک گیاهی استفاده و میزان جذب به وسیله اسپکتوفتومتر در طول موج ٤۸۵ نانومتر قرائت و از محلول‌هایی با غلظت صفر، ۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ٦، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی‌گرم گلوکز برای تهیه منحنی استاندارد استفاده شد و با در دست داشتن وزن خشک نمونه‌ها، مقدار قند محلول بر اساس میلی‌گرم وزن خشک نمونه‌ها محاسبه گردید (Irrigoyen *et al.*, 1992).

محتوای ترکیبات فنلی بر اساس روش Giai و Matta (۱۹٦۹) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ترکیبات فنلی از منحنی استاندارد و با استفاده از کاتکول با غلظت‌های مختلف، مقدار این ترکیبات بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگها از روش Wagner (۱۹۷۹) استفاده شد. برای محاسبه غلظت، ضریب خاموشی (ϵ) $M^{-1}cm^{-1}$ ۳۳۰۰۰ در نظر گرفته شد و نتایج بر حسب میلی‌مولار بر گرم وزن تر گزارش گردید.

جهت تهیه عصاره برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها، ۱ گرم بافت تازه برگ در یک هاون چینی محتوی ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) که حاوی پلی وینیل پیرولیدین (PVP) یک درصد بود سائیده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت. سپس عصاره‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰g و در دمای ٤°C سانتریفیوژ شدند. از محلول شفاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم استفاده شد.

فعالیت پراکسیداز (POD) (EC 1.11.1.7) با استفاده از پیش ماده گایاکول اندازه‌گیری هر واحد آنزیمی به صورت تغییرات جذب در مدت یک دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد (Zhang *et al.*, 2005).

فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX) (EC1.11.1.11) بر اساس روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) اندازه‌گیری شد. با استفاده از تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر، ضریب خاموشی آسکوربیک اسید ($mMol^{-1}cm^{-1}$ ۲/۸) و رابطه A= εbc، میزان آسکوربیک اسید بر جای مانده پس از ۱ دقیقه انجام واکنش آنزیمی محاسبه شد. یک واحد فعالیت آنزیمی به عنوان مقدار آنزیمی است که ۱ میکرومول آسکوربیک اسید را در مدت یک دقیقه اکسید کند (Nakano and Asada, 1981).

سنجش فعالیت کاتالاز CAT (EC 1.11.1.6) بر اساس کاهش جذب آب اکسیژنه در طول موج ۲٤۰ نانومتر صورت گرفت (Dhindsa *et al.*, 1981). یک واحد آنزیمی مقدار آنزیمی است که یک میکرومول آب اکسیژنه را در مدت یک دقیقه تجزیه کند. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث:

محتوای آب نسبی برگ: در این تحقیق با افزایش تنش خشکی تا سطح (آبیاری ٤٠ درصد ظرفیت زراعی) محتوای نسبی آب برگ به میزان ۲۷/٦ درصد نسبت به تیمار عدم تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۳)، که با نتایج گزارش شده در گوجه فرنگی (Yan *et al.*, 2010) و گندم (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹) مطابقت دارد. با توجه به این امر که تحت تنش خشکی پتانسیل آب گیاه کاهش می‌یابد، بنابراین گیاه در طی روز با بسته نگه داشتن روزنه‌ها، تا حدی محتوای نسبی آب را کنترل می‌نماید (Alberet and Thornber, 1977). بین محتوای نسبی رطوبت برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد و با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش، درصد رطوبت برگ کاهش پیدا می‌کند. کاربرد سیلیکون در این آزمایش در شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد (جدول ٤). در بافت‌های گیاهی، سیلیکون به فرم سیلیکا ($SiO_2.nH_2O$) در آپوپلاست دیواره سلولی رسوب کرده و باعث استحکام بافت می‌گردد (Sang *et al.*, 2002). زمانیکه دیواره سلولی سخت‌تر می‌شود، در اثر پسابیدگی برگ، کاهش بیشتری در پتانسیل آب اتفاق می‌افتد، پس در محتوای نسبی آب مورد نظر شیب پتانسیل آبی از برگ تا خاک در تیمار سیلیکون در مقایسه با شاهد منفی‌تر است، در نتیجه در این حالت گیاه برای گسترش شیب مورد نیاز جهت تامین آب از خاک خشک، به تعرق کمتری نیاز دارد (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹) و سیلیکون با رسوب در دیواره خارجی سلول‌های اپیدرم برگ، میزان کاهش آب از طریق روزنه‌ها را پائین می آورد (Gong *et al.*, 2005). در این راستا طالع احمد و حداد (۱۳۸۹) گزارش دادند که کاربرد سیلیکون در شرایط تنش خشکی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در گندم شد.

نشت الکترولیت‌ها: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تنش خشکی باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها نسبت به شاهد شد، به‌طوری که آبیاری ۷۰ درصد و ٤٠ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب باعث افزایش ۲۷/۷ و ٥٤/۹ درصدی نشت الکترولیت‌ها نسبت به تیمار شاهد (آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) شد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد محلول پاشی سیلیکون باعث کاهش نشت الکترولیت‌ها شد (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و سیلیکون نشان داد تیمار ۷/٥ و ٥ میلی‌مولار سیلیکون به ترتیب در شرایط تنش متوسط (آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (آبیاری ٤٠ درصد ظرفیت زراعی) باعث کاهش ۳۸/۳ و ۲۸/۸ درصدی نشت الکترولیت‌ها نسبت به شاهد گردید (جدول ٤). ولی بین تیمار ۲/٥ و ٥ میلی‌مولار سیلیکون اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد در خصوص نشت الکترولیت‌ها مشاهده نشد (جدول ٤). از آنجا که غشای سلول فسفولیپیدی است، در اثر واکنش با گونه-های اکسیژن فعال تخریب می‌شود و در نتیجه یون‌ها به بیرون از سلول نشت می‌کنند (Liang *et al.*, 2007). در این پژوهش نیز در شرایط تنش شدید میزان نشت الکترولیت‌ها در گیاه نسبت به شاهد افزایش نشان داد. سیلیکون درون گیاه یک عنصر غیر متحرک است و پس از رسوب در داخل سلول به صورت ژل پلیمر شده در می‌آید و دیگر برای گیاه غیر قابل استفاده می‌شود و تنها نقش استحکام و پایداری را خواهد داشت، و از این طریق میزان نشت الکترولیت‌ها را در گیاه کاهش می‌دهد (Liang *et al.*, 2007).

رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه: نتایج پژوهش حاضر نشان داد، تحت شرایط تنش خشکی میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه کاهش داشتند. به‌طوری که با افزایش میزان تنش تا سطح ٤٠ درصد ظرفیت زراعی، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلرفیل کل به ترتیب حدود ۱۳/٤، ٤۳/٥ و ۲٤/۰ درصد نسبت به تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافتند (جدول ۳). کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای به حساب آید. از عوامل کاهش دهنده میزان کلروفیل در شرایط تنش می‌توان به، افزایش میزان فعالیت آنزیم کلروفیلاز و حمله رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش اکسید کننده اشاره کرد (Loggini *et al.*, 1999). نتایج این پژوهش نشان داد اثر تنش خشکی بر کاهش کلروفیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه رازیانه تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی سیلیکون

تیمارهای آزمایشی	محتوای آب نسبی (درصد)	نشت الکترولیت (درصد)	کلروفیل a	کلروفیل b	نسبت *a/b*	کلروفیل کل	کارتنوئیدها	آنتوسیانین (میلی-مولار بر گرم وزن تر برگ)
			(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)					
تنش خشکی (ظرفیت زراعی)								
۱۰۰ درصد	۸۱/٤٤^{a}	۲۰/٤۵^{c}	۲/٦۷^{a}	۱/٤۰^{a}	۱/۹۲^{c}	٤/۰۸^{a}	۱/۲۵^{a}	۳/۹٤^{b}
۷۰ درصد	۷۲/۱٤^{b}	۲۸/۲۹^{b}	۲/٦۲^{a}	۱/۱٦^{b}	۲/۳۵^{b}	۳/۷۸^{b}	۱/۳۷^{a}	٤/٤٤^{a}
٤۰ درصد	۵۸/۹٦^{c}	٤۵/۳۹^{a}	۲/۳۱^{b}	۰/۷۹^{c}	۲/۹٦^{a}	۳/۱۰^{c}	۰/۹۳^{b}	۳/۳٤^{c}
غلظت‌های سیلیکون (میلی‌مولار)								
۰	٦۰/۵۳^{c}	۳٦/٤۵^{a}	۲/۳۰^{b}	۰/۸۷^{c}	۲/۷۳^{a}	۳/۱۷^{b}	۱/۰۸^{d}	۳/۳٦^{c}
۲/۵	٦۹/۷٤^{b}	۳۳/۵٤^{ba}	۲/۳۸^{b}	۰/۹۲^{c}	۲/۷۰^{a}	۳/۳۱^{b}	۱/۲۰^{bc}	۳/۵۰^{c}
۵	۷٤/۹۸^{ba}	۲۹/۷۸^{bc}	۲/۷۳^{a}	۱/۲۱^{b}	۲/۳۵^{b}	۳/۹٤^{a}	۱/۲۳^{ba}	٤/۳۱^{a}
۷/۵	۷۵/۸۵^{a}	۲٦/۱٤^{c}	۲/٦٦^{a}	۱/۳۲^{a}	۲/۱۰^{b}	۳/۹۸^{a}	۱/۲۸^{a}	٤/۳۲^{a}
۱۰	۷۳/۱٤^{ba}	۳۰/۹۷^{b}	۲/٦۱^{a}	۱/۲٦^{b}	۲/۱٦^{b}	۳/۸۷^{a}	۱/۱۳^{dc}	٤/۰٦^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

b نسبت به کلروفیل a مشهودتر بود. تنش خشکی مقدار کمپلکس پروتئینی جذب کننده نور Chl *a/b* موجود در فتوسیستم II را به شدت کاهش می‌دهد. بخش کلروفیل b این کمپلکس پروتئینی درون غشای کلروپلاست قرار دارد. با افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در کلروپلاست در اثر تنش خشکی، میزان تخریب غشاهای کلروپلاستی نیز افزایش می‌یابد. از این رو در اثر تنش خشکی تخریب کمپلکس پروتئینی Chl *a/b* و در نتیجه کلروفیل b نیز افزایش پیدا می‌کند (Alberet and Thornber, 1977). در پژوهش حاضر افزایش نسبت Chl *a/b* در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد نیز ناشی از این مسئله می‌باشد (جدول ۳). حساسیت کلروفیل b نسبت به کلروفیل a توسط سایر پژوهشگران در شرایط تنش خشکی در گیاه جو (حداد و مشیری، ۱۳۸۹) و تنش غرقابی در گیاه فلفل (ملک احمدی و همکاران، ۱۳۸٤) نیز گزارش شده است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیمار گیاهان با غلظت-های مختلف سیلیکون در حضور تنش، میزان کلرفیل a و b را افزایش داد. محلول پاشی ۵ و ۱۰ میلی‌مولار سیلیکون به ترتیب در تیمار ۷۰ درصد و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی کلرفیل a را نسبت به شاهد به میزان ۸/۷ و ۳۰/۷ درصد افزایش دادند (جدول ٤). در خصوص میزان کلرفیل b نتایج نشان داد محلول پاشی ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون به ترتیب در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد، ۷۰ و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث افزایش ۲۷/٤، ۳۹/۷ و ۳٦/۹ درصدی کلرفیل b نسبت به شاهد شد (جدول ٤). سیلیکون با رسوب در پهنای برگ باعث افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده موثرتر از نور خورشید را بالا می‌برد (Nabati *et al.*, 2013). سیلیکون همچنین با تأثیر بر ساختار کلروپلاست (Liang *et al.*, 2007)، افزایش کارایی فتوسیستم II (Al-Aghabary, 2004) باعث افزایش میزان فتوسنتز می‌شود. افزایش در محتوای کلروفیل با کاربرد سیلیکون در این بررسی با پژوهش‌های صورت گرفته در گیاه گندم (Gong *et al.*, 2005) و ذرت تحت تنش خشکی (Yong *et al.*, 2007) مطابقت دارد.

میزان کارتنوئید: کارتنوئیدها آنتی اکسیدان‌های چربی دوست با وزن مولکولی کم در کلروپلاست هستند که غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند. کارتنوئیدها علاوه بر نقش ساختمانی به عنوان گیرنده نوری و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

جدول ٤- برهمکنش خشکی و سیلیکون بر صفات فیزیولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه رازیانه

تنش خشکی (ظرفیت زراعی)	غلظت‌های سیلیکون (میلی‌مولار)	صفات						
		محتوای آب نسبی	نشت الکترولیت	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئیدها	آنتوسیانین (میلی مولار بر گرم وزن تر برگ)
		(درصد)		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)				
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	۷۸/۲$^{a-d}$	۲۰/۳ ^{gh}	۲/۵۷^{bc}	۱/۱۹^{e}	۳/۷٦^{egf}	۱/۲۰ ^{cb}	۳/٦۷ ^{d}
	۲/۵	۸۱/۹^{ba}	۲۱/٤ ^{gh}	۲/۳٦^{dc}	۱/۱۵ ^{e}	۳/۵۱ ^{hg}	۱/۲۸ ^{b}	۳/٦۵ ^{d}
	۵	۷۹/۹^{bac}	۲۰/٤ ^{gh}	۲/۹٤^{a}	۱/۵٤ ^{ba}	٤/٤۹ ^{a}	۱/۳۱ ^{b}	٤/۰۳ ^{c}
	۷/۵	۸٤/۲^{a}	۱۷/٦ ^{h}	۲/۷۸^{ba}	۱/٦٤ ^{a}	٤/٤۲ ^{ba}	۱/۲۳^{b}	٤/٤۳ ^{b}
	۱۰	۸۲/۹ ^{ba}	۲۲/۳^{gh}	۲/۷٤^{ba}	۱/٤۹ ^{bc}	٤/۲۳ ^{bac}	۱/۲٤ ^{b}	۳/۹۲ ^{dc}
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	٦۰/۸ ^{fhg}	۳٤/۲^{ed}	۲/۵۲ ^{bc}	۰/۸۵ ^{g}	۳/۳۸^{h}	۱/۳۱ ^{b}	٤/۰۲ ^{c}
	۲/۵	۷۱/۵ ^{dec}	۳۱/۵ ^{e}	۲/٦۲^{bac}	۰/۹٦ ^{f}	۳/۵۹ ^{hgf}	۱/۳۸ ^{b}	۳/۷۷ ^{dc}
	۵	۷۸/۲ ^{bdec}	۲۹/۸ ^{ef}	۲/۷٦ ^{ba}	۱/۲۱ ^{e}	۳/۹۷ ^{edc}	۱/۳۳ ^{b}	۵/۲٦ ^{a}
	۷/۵	۷۳/٦ ^{bdec}	۲۱/۱ ^{gh}	۲/۷۱^{ba}	۱/٤۱^{dc}	٤/۱۲^{bdc}	۱/۵٤^{a}	٤/٦۸ ^{b}
	۱۰	۷٦/۵ ^{bdac}	۲٤/۷ ^{gf}	۲/٤۸^{bc}	۱/۳۸^{d}	۳/۸٦ ^{edf}	۱/۲۹ ^{b}	٤/٤۹ ^{b}
٤۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	٤۲/۵^{i}	۵٤/۸ ^{a}	۱/۸۰^{e}	۰/۵۸^{h}	۲/۳۸ ^{j}	۰/۷۳ ^{f}	۲/۳۸ ^{f}
	۲/۵	۵۵/۸^{h}	٤۷/٦ ^{b}	۲/۱٦^{d}	۰/٦٦^{h}	۲/۸۲ ^{i}	۰/۹٤ ^{ed}	۳/۰۸ ^{e}
	۵	٦٦/۷^{feg}	۳۹/۰ ^{d}	۲/۵^{bc}	۰/۸۷^{gf}	۳/۳۷ ^{h}	۱/۰٦^{cd}	۳/٦۳ ^{d}
	۷/۵	٦۹/٦^{fde}	۳۹/٦ ^{cd}	۲/٤۹^{bc}	۰/۹۲^{gf}	۳/٤۱ ^{h}	۱/۰۷ ^{cd}	۳/۸٤ ^{dc}
	۱۰	٦۰/۰ ^{hg}	٤۵/۷^{cb}	۲/٦ ^{bc}	۰/۹۱ ^{gf}	۳/۵۲ ^{hg}	۰/۸۸ ^{e}	۳/۷۸^{dc}
منابع تغییرات	درجه آزادی							
تنش خشکی	۲	**	**	**	**	**	**	**
سیلیکون	٤	**	**	**	**	**	**	**
خشکی×سیلیکون	۸	*	*	*	**	*	*	**
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۸٤	۱۲/٦۷	۷/۲۱	۵/۲٤	۵/۲۵	٦/۸٦	٤/۷۹

۱- در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۲-^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد.

حفاظت کننده فتوسیستم بر علیه اکسیژن یکتایی (رادیکال اکسیژن تک الکترونی) عمل می‌کند (Koyro, 2006). در این پژوهش نتایج نشان داد مقدار کارتنوئیدها در ابتدای دوره تنش (آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید، اما با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کارتنوئیدها به شدت کاهش یافت. به طوری که میزان کارتنوئیدها در شرایط تنش شدید (آبیاری در٤۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد به میزان ٤۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). نتایج حاصل از کاربرد سیلیکون نشان داد، تیمار ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۱۲/۲ و ۱۵/٦ درصدی کارتنوئیدها نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). همچنین نتایج برهمکنش بین سطوح تنش و سیلیکون نشان داد محلول پاشی سیلیکون در شرایط خشکی باعث افزایش میزان کارتنوئیدها شد. تیمار ۷/۵ میلی-مولار سیلیکون در شرایط تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب میزان کارتنوئیدها را نسبت به تیمار شاهد در حدود ۱٤/۹ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

۴۷/۱ درصد افزایش داد (جدول ٤). بر اساس گزارشات محققان و نتایج حاصل از این مطالعه، به نظر می‌رسد که تیمار سیلیکون به عنوان یک فرآیند مقاوم سازی (Hardening) عمل نموده و باعث کاهش اثرات مضر تنش خشکی بر میزان کارتنوئیدها می‌شود. افزایش میزان کارتنوئیدها توسط سیلیکون در شرایط تنش در گیاه گاوزبان نیز گزارش شده است (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲).

آنتوسیانین: نتایج پژوهش حاضر نشان داد بیشترین (۵/۲٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۲/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان آنتوسیانین به ترتیب از تیمار تنش ملایم همراه با محلول پاشی ۵ میلی‌مولار سیلیکون و تیمار تنش شدید همراه با شاهد سیلیکون بدست آمد (جدول ٤). عوامل محیطی تنش زا از قبیل تنش خشکی باعث تجمع رنگدانه آنتوسیانین در برگ‌ها می‌شوند. از نقش‌های اصلی آنتوسیانین‌ها می‌توان به نقش آنتی‌اکسیدانی و محافظت سیستم فتوسنتزی در برابر اکسیداسیون نوری اشاره نمود که در گیاهان در معرض تنش نقش محافظتی ایفا می‌کنند (He *et al*., 2010). در این آزمایش مشخص شد که با افزایش سطح تنش تا آبیاری ٤۰ درصد ظرفیت زراعی مقدار آنتوسیانین نسبت به تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی روندی کاهشی نشان داد (جدول ۳). کاهش آنتوسیانین در شرایط تنش شدید را نمی توان به مقاومت کم گیاه در برابر خشکی نسبت داد، زیرا ممکن است گیاه از مکانیسم‌های دیگری برای مقاوم سازی خود استفاده کرده باشد. همچنین افزایش آنتوسیانین در تیمار خشکی توأم با محلول پاشی سیلیکون مشاهده شد. به طوری که تیمار ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون، میزان آنتوسیانین را به ترتیب در شرایط تنش متوسط و تنش شدید نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۳/۵ و ۳۸/۱ درصد افزایش داد (جدول ٤). به نظر می‌رسد تیمار سیلیکون با پیشگیری از افت معنی‌دار آنتوسیانین در گیاه رازیانه تحت تنش خشکی، سبب کاهش اثرات مضر خشکی بر سیستم فتوسنتزی شده و می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش دهد (Shen *et al*., 2010). نتایج مشابهی در مورد افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه *Echium amoenum* در تیمار همزمان سیلیکون و تنش کادمیوم مشاهده شد (Amiri *et al*., 2012).

محتوای مالون دی‌آلدئید (MDA): گونه‌های فعال اکسیژن عامل اصلی پراکسیداسیون لیپیدها هستند و تولید مالون دی‌آلدئید به عنوان شاخصی برای میزان خسارت تنش‌های اکسیداتیو به کار می‌رود (Upadhyaya and Panda, 2004). نتایج پژوهش حاضر نشان داد تنش خشکی باعث افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید شد و کاربرد سیلیکون باعث کاهش محتوای مالون دی‌الدئید نسبت به شاهد شد (جدول ۵). همان طور که در جدول ٦ مشاهده می‌شود، بیشترین پراکسیداسیون لیپید MDA در گیاهان تحت تنش شدید خشکی و بدون مصرف سیلیکون مشاهده شد. وقتی گیاهان با غلظت متوسط سیلیکون (۷/۵ میلی‌مولار) محلول پاشی شدند آثار مضر خشکی بر غشاء کاهش یافت (جدول ٦). اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به گونه‌های اکسیژن فعال دارند و به سرعت اکسید می‌شوند. سیلیکون با از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن به طور مستقیم و کاهش نفوذپذیری غشای سلولی، افزایش فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز) به طور غیر مستقیم، سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی و کاهش مقدار مالون دی‌آلدئید می‌گردد (Liang *et al*., 2007). نتایج پژوهش حاضر نیز با نتایج سعادتمند و انتشاری (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

تغییرات قندهای محلول: نتایج نشان داد با افزایش سطح تنش خشکی (آبیاری ٤۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد (آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) افزایش ۱۹/۹ درصدی را در پی داشت (جدول ۵). افزایش محتوای قندها در شرایط تنش ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد، ساخت این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول می‌شود باشد (Ehdaei *et al*., 2006). افزایش در غلظت قندهای محلول می‌تواند یک پاسخ نسبت به تغییرات میزان نسبی آب و پتانسیل آب برگ‌ها ارزیابی شود، زیرا افزایش غلظت ساکارز و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

جدول ۵- مقایسه میانگین پراکسیداسیون لیپیدی، اسمولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه رازیانه تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی سیلیکون

تیمارهای آزمایشی	مالون دی‌آلدئید (میکرومولار بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ)	مقدار پرولین	ترکیبات فنلی	کاتالاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز
			(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)		(یونیت بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)		
تنش خشکی (ظرفیت زراعی)							
۱۰۰ درصد	۰/۳۹^{c}	۲/۰۹^{c}	۱/۳۵^{c}	۲/۴۳^{c}	۰/۰۱۳^{c}	۰/۰۷۴^{c}	۰/۴۹^{c}
۷۰ درصد	۰/۵۲^{b}	۲/۲۰^{b}	۱/۷۲^{b}	۳/۶۹^{b}	۰/۰۲۵^{a}	۰/۰۹۷^{b}	۰/۹۳^{b}
۴۰ درصد	۰/۷۵^{a}	۲/۶۱^{a}	۱/۹۶^{a}	۵/۳۹^{a}	۰/۰۱۷^{b}	۰/۱۰۸^{a}	۱/۱۱^{a}
غلظت‌های سیلیکون (میلی‌مولار)							
۰	۰/۶۲^{a}	۲/۱۶^{c}	۱/۴۸^{c}	۳/۶۳^{b}	۰/۰۱۶^{b}	۰/۰۸۵^{d}	۰/۷۴^{c}
۲/۵	۰/۵۶^{b}	۲/۲۱^{bc}	۱/۵۴^{c}	۳/۶۲^{b}	۰/۰۱۸^{b}	۰/۰۹۲^{c}	۰/۸۴^{b}
۵	۰/۵۲^{c}	۲/۲۸^{bac}	۱/۶۱^{bc}	۴/۲۹^{a}	۰/۰۱۹^{ba}	۰/۰۹۷^{b}	۰/۹۶^{a}
۷/۵	۰/۴۹^{c}	۲/۳۹^{ba}	۱/۸۱^{ba}	۴/۲۷^{a}	۰/۰۲۱^{a}	۰/۱۰۱^{a}	۰/۹۲^{a}
۱۰	۰/۵۶^{b}	۲/۴۷^{a}	۱/۹۵^{a}	۳/۳۷^{b}	۰/۰۱۸^{b}	۰/۰۹۱^{c}	۰/۷۵^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

قندهای محلول تحت شرایط تنش خشکی، در بهبود تحمل به خشکی نقشی مهمی ایفا می‌کند (Ehdaei *et al*., 2006). بنابراین، می‌توان استدلال کرد که انباشت قندهای محلول در شرایط تنش خشکی علاوه بر نقش‌های فیزیولوژیکی مهمی که از نظر تامین انرژی و جلوگیری از مرگ حتمی ایفا می‌کند، می‌تواند باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و به این ترتیب در ساز و کار تحمل به خشکی نقش مهمی داشته باشد (Zadehbagheri *et al*., 2012).

محلول پاشی گیاهان با سیلیکون در شرایط تنش خشکی موجب افزایش میزان قندها در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون شد. بیشترین میزان قندهای محلول به میزان ۲/۹۹ میلی‌گرم در بافت خشک، از تیمار ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون و تنش شدید حاصل شد و کمترین میزان با ۱/۹ میلی‌گرم از تیمار ۲/۵ میلی-مولار سیلیکون و سطح خشکی شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بدست آمد (جدول ٦). ترابی و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش دادند که سطوح بالای سیلیکون، بر خلاف غلظت‌های پایین باعث کاهش قندهای محلول گیاه گاوزبان شدند. به نظر می‌رسد در این آزمایش، در گیاهان تحت تنش خشکی و سیلیکون میزان، تثبیت CO_2 به خاطر بالاتر بودن محتوای کلروفیل و کاهش نکروزه شدن برگ‌ها بیشتر از گیاهان رشد یافته تحت تنش خشکی باشد و این امر سبب تولید قند و تجمع بیشتر آن در گیاه گردید (Silva *et al*., 2012). این مطالب با گزارش سعادتمند و انتشاری (۱۳۹۱) در مورد افزایش میزان قندهای محلول در تیمار هم زمان شوری و سیلیکون در گیاه *Echium amoenum* مطابقت دارد. Verma and Dubeym (۲۰۰۱) گزارش دادند که سیلیکون بر متابولیسم قندها و پخش مواد فتوسنتزی در گیاهان در حال رشد اثر قابل توجهی گذاشته و باعث افزایش آن می‌گردد. بنابراین با توجه به این اظهارات می‌توان حدس زد که سیلیکون ذخیره کربوهیدراتی گیاهان تحت تأثیر تنش را برای فرآیندهای متابولیک و حفظ متابولیسم پایه در حد مطلوب نگه داشته است. سیلیکون همچنین با افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش خشکی، گیاهان را از تخریب اکسیداتیو محافظت نموده و باعث بقای ساختار غشای پروتئین‌ها خواهد شد.

میزان پرولین: نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان پرولین در گیاه افزایش یافت. به‌طوری که سطح تنش متوسط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

جدول ٦- برهمکنش خشکی و سیلیکون بر میزان پراکسیداسیون لیپیدی، اسمولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه رازیانه

		صفات						
تنش خشکی (ظرفیت زراعی)	غلظت‌های سیلیکون (میلی‌مولار)	مالون دی‌آلدئید (میکرومولار بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	مقدار پرولین	ترکیبات فنلی	کاتالاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز
				میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ		یونیت بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه		
	۰	۰/٤۳^{gfh}	۲/۱۱^{de}	۱/۲^{d}	۲/۳٦ ^{e}	۰/۰۱۲^{hig}	۰/۰۷۱ ^{f}	۰/٤۸ ^{hg}
۱۰۰درصد	۲/۵	۰/۳۹^{gih}	۱/۹۰^{e}	۱/۵۱^{dc}	۲/٤۳ ^{de}	۰/۰۱۲^{hi}	۰/۰۸٦ ^{e}	۰/۵٦ ^{g}
ظرفیت	۵	۰/۳٦^{i}	۲/۱۱^{de}	۱/۲۱^{d}	۲/۷۵ ^{de}	۰/۰۱۱ ^{i}	۰/۰۷۰ ^{f}	۰/٤۸ ^{hg}
زراعی	۷/۵	۰/٤۰^{gih}	۲/۱۷^{de}	۱/٤۰^{dc}	۲/۳۵ ^{e}	۰/۰۱٦^{fheg}	۰/۰۷۵ ^{f}	۰/٤۹ ^{hg}
	۱۰	۰/۳۸^{ih}	۲/۱٦^{de}	۱/٤۳^{dc}	۲/۲۵ ^{e}	۰/۰۱٤^{hig}	۰/۰۷۰ ^{f}	۰/٤۵ ^{h}
	۰	۰/۵٦^{d}	۲/۰۳^{de}	۱/٤٤^{dc}	۳/۳۱ ^{dc}	۰/۰۲۰^{de}	۰/۰۸۹ ^{de}	۰/۷۷ ^{f}
۷۰ درصد	۲/۵	۰/۵۵^{d}	۲/۳۸^{dc}	۱/۲۸^{d}	۳/۰۷^{dce}	۰/۰۲۵^{bc}	۰/۰۹۲ ^{de}	۰/۸۷ ^{e}
ظرفیت	۵	۰/٤۹ ^{ef}	۲/۲٤^{de}	۱/۸۱^{bc}	۳/۸٤^{c}	۰/۰۲۷^{ba}	۰/۰۹۵ ^{dc}	۱/۰٦ ^{c}
زراعی	۷/۵	۰/٤۵ ^{gf}	۲/۲٦^{dc}	۱/۹۹^{ba}	۵/۱۰^{b}	۰/۰۳۰^{a}	۰/۱۱۵^{b}	۱/۰۵ ^{c}
	۱۰	۰/۵۳^{ed}	۲/۱۰^{de}	۲/۰۹ ^{ba}	۳/۱۳^{dce}	۰/۰۲۲^{dc}	۰/۰۹٤ ^{dc}	۰/۸۸ ^{e}
	۰	۰/۸۹ ^{a}	۲/۳۳^{dc}	۱/۸۰ ^{bc}	۵/۲۱ ^{b}	۰/۰۱٤^{fhig}	۰/۰۹۵ ^{dc}	۰/۹۷ ^{e}
٤۰ درصد	۲/۵	۰/۷۳ ^{b}	۲/۳۵^{dc}	۱/۸٤ ^{bc}	۵/۳٦ ^{b}	۰/۰۱۷^{feg}	۰/۱۰۰ ^{c}	۱/۱۱ ^{c}
ظرفیت	۵	۰/۷۲^{b}	۲/۸۱^{ba}	۱/۸۱ ^{bc}	٦/۲۸ ^{a}	۰/۰۲۰^{de}	۰/۱۲۵ ^{a}	۱/۳۳ ^{a}
زراعی	۷/۵	۰/٦۲^{c}	۲/۹۹^{a}	۲/۰۵ ^{ba}	۵/۳۵ ^{b}	۰/۰۱۷ ^{fe}	۰/۱۱۲ ^{b}	۱/۲۱ ^{b}
	۱۰	۰/۷۷ ^{b}	۲/۵۸^{bc}	۲/۳۳ ^{a}	٤/۷۳ ^{b}	۰/۰۱۹^{de}	۰/۱۰۹ ^{b}	۰/۹۳ ^{ed}
منابع تغییرات	درجه آزادی							
تنش خشکی	۲	**	**	**	**	**	**	**
سیلیکون	٤	**	*	**	**	**	**	**
خشکی×سیلیکون	۸	**	*	*	**	*	**	**
ضریب تغییرات (درصد)		٦/۱۸	۸/۱٦	۱۳/۳۹	۸/۲۹	۱۲/۲۸	٤/۰۰	۵/۵۳

۱- در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۲-ns ،* و به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد.**

(آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (آبیاری ٤۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث افزایش ۲۱/۵ و ۳۱/۱ درصدی میزان پرولین نسبت به تیمار عدم تنش خشکی شد (جدول ۵). همچنین تیمار گیاهان با سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین نسبت به شاهد شد (جدول ۵). نتایج برهمکنش بین سطوح تنش خشکی و کاربرد سیلیکون نیز نشان داد بالاترین و پایین‌ترین میزان پرولین به ترتیب در تیمارهای تنش شدید (آبیاری در ٤۰ درصد ظرفیت زراعی) همراه با محلول پاشی ۱۰ میلی‌مولار سیلیکون برابر با ۲/۳۳ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ و تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد سیلیکون با ۱/۲ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بدست آمد (جدول ٦). نقش پرولین در هنگام تنش، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، جلوگیری از تجزیه‌ی ماکرومولکول‌ها، دخالت در حفظ استحکام دیواره‌ی سلولی و پاکسازی هیدروکسیل‌های تولیدی تحت تنش در گیاه است. به نظر می رسد سیلیکون با افزایش میزان پرولین این وظایف را شدت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

بخشیده و به افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش کمک می‌کند (Schobert and Tschesche, 1978). در این راستا حداد و مشیری (۱۳۸۹) در بررسی برهمکنش سیلیکون و خشکی افزایش پرولین را در حضور سیلیکون و خشکی در گیاه جو گزارش دادند. Gagoonani و همکاران (۲۰۱۱) همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش مقدار پرولین در تیمار سیلیکون را در گیاه گاوزبان اروپایی را گزارش کردند. اگرچه سازوکارهای موثر در این زمینه به طور کامل شناخته نشده است اما بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده به نظر می‌رسد که تیمار گیاه با سیلیکون ممکن است به طور مستقیم و یا غیر مستقیم باعث القای ژن‌های مسیر بیوسنتز پرولین شده باشد و یا آن‌که فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز آن‌ها را افزایش داده باشد (Liang *et al*., 2006).

ترکیبات فنلی: ترکیبات فنلی از مشتقات مسیر فنیل پروپانوئید بوده و از اجزاء سیستم دفاع غیرآنزیمی و آنتی اکسیدانی سلول محسوب می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند به عنوان خاموش کننده و یا جاروب کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا سایر گونه‌های فعال اکسیژن عمل نمایند (Navarro *et al*., 2006). در تحقیق حاضر مشخص شد با افزایش میزان تنش خشکی، ترکیبات فنلی برگ روند افزایشی نشان دادند، به طوری که سطح تنش شدید (آبیاری در۴۰ درصد ظرفیت زراعی) با میانگین (۵/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، ترکیبات فنلی برگ را نسبت به تیمار شاهد در حدود ٥٤/٩ درصد افزایش داد (جدول ۵). افزایش ترکیبات فنلی در شرایط تنش خشکی توسط اسدی کاوان و همکاران (۱۳۸۸) در گیاه انیسون نیز گزارش شده است. همچنین نتایج نشان داد کاربرد سیلیکون میزان ترکیبات فنلی را افزایش داد. به‌طوری که تیمار ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ١٥/٤ و ١٤/٩ درصدی ترکیبات فنلی را نسبت به تیمار شاهد در پی داشتند (جدول ۵). با افزایش غلظت سیلیکون تا سطح ۱۰ میلی‌مولار روندی کاهشی در میزان ترکیبات فنلی مشاهده شد (جدول ۵). نتایج برهمکنش بین دو عامل نیز نشان داد محلول پاشی سیلیکون در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان ترکیبات فنلی در مقایسه با عدم کاربرد شد، و تیمار ۵ میلی-مولار سیلیکون در شرایط تنش شدید میزان ترکیبات فنلی را به میزان ۲۰ درصد افزایش داد (جدول ٦). سیلیکون ممکن است به طور مستقیم و یا غیر مستقیم باعث القای ژن‌های مسیر بیوسنتز این ترکیبات شود و از این طریق باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی گردد (Maksimovic *et al*., 2007). در همین راستا ترابی و همکاران (۱۳۹۲) افزایش ترکیبات فنلی را با کاربرد سیلیکون در گیاه گاوزبان در شرایط تنش شوری گزارش کردند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان: آنزیم کاتالاز عمل دیسموتاسیون هیدروژن پراکسید به اکسیژن و آب را کاتالیز می‌کند. افزایش فعالیت کاتالاز در گیاهان یک ویژگی سازشی بوده و با کاهش میزان هیدروژن پراکسید حاصل از متابولیسم سلولی از آسیب رسیدن به بافت جلوگیری می‌کند (Gill and Tuteja, 2010). در مطالعه حاضر فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش خشکی ملایم (آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی روندی افزایش نشان داد، سپس با افزایش شدت تنش کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۵). مطالعه فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه پونه معطر نشان داد که فعالیت این آنزیم در تنش متوسط افزایش نشان داد و در تنش شدید روند کاهشی نشان داد (حسن پور و نیکنام، ۱۳۹۳). اینگونه فرض شد که کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش شدید خشکی می‌تواند به دلیل غیرفعال سازی نوری با تجزیه سوبسترا و پیشگیری از ساخت این آنزیم در تاریکی باشد (Luna *et al*., 2004). به نظر می‌رسد در گیاه رازیانه در شرایط تنش شدید این آنزیم به عنوان جاروب کننده موثر هیدروژن پراکسید نبوده و دیگر آنزیم‌های آنتی اکسیدان در شرایط تنش شدید خشکی نقش دارند.

آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز نقش جاروب کردن هیدروژن پراکسید را به عهده دارند، اما تمایل آسکوربات پراکسیداز برای هیدروژن پراکسید نسبت به پراکسیداز بالاتر بوده و می‌تواند نقش ویژه‌ای را در تنظیم میزان ROS در شرایط تنش داشته باشند (Gill and Tuteja, 2010). در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

پژوهش فعالیت این دو آنزیم تحت تنش خشکی در گیاه افزایش یافت، ولی سطح فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بالاتر از پراکسیداز بود (جدول ۵).

نتایج نشان داد محلول پاشی غلظت‌های ۵ و ۷/۵ میلی مولار سیلیکون فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را تحت تنش خشکی القا نمود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش ملایم (آبیاری در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول پاشی ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون بدست آمد. همچنین بالاترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز از سطح تنش شدید (آبیاری در ٤٠ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار ۵ میلی‌مولار سیلیکون بدست آمد (جدول ٦). مطالعات صورت گرفته نشان داده است که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در حضور سیلیکون در گیاه افزایش یافته و با کاهش محتوای H_2O_2 و رادیکال‌های آزاد از تخریب سلول‌های گیاهی در برابر حمله ROS جلوگیری می‌کند (Shen *et al.*, 2010). سیلیکون با محافظت از غشاهای سلولی از دسترسی پروتئازها به پروتئین‌های داخلی غشاء و تخریب و بهم ریختگی غشاء سلولی ممانعت می‌کند (Gong *et al.*, 2005).در این آزمایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش خشکی و محلول پاشی سیلیکون از فعالیت سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیشتر بود که بیانگر نقش بیشتر این آنزیم در فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تحت این شرایط بود و به نظر می‌رسد که آنزیم کاتالاز نسبت به سایر آنزیم‌ها نقش کمتری در فعالیت دفاعی گیاه رازیانه تحت این شرایط دارد. نتایج مشابهی نیز در گندم (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹) و جو (حداد و مشیری، ۱۳۸۹) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری:

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد سیلیکون در غلظت‌های ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار به صورت محلول پاشی روی برگ و اندام هوایی رازیانه موجب کاهش اثرات تنش خشکی و تنش اکسیداتیو ناشی از آن روی گیاه گردید. ظرفیت حذف کردن گونه‌های فعال اکسیژن با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان نظیر کاتالاز، پراکسیداز و اسکوربات پراکسیداز و افزایش مقدار آنتی اکسیدان‌های غیرآنزیمی نظیر ترکیبات فنلی و آنتوسیانین، افزایش یافت و در نتیجه آسیب به غشاهای زیستی و نشت الکترولیت‌ها کاهش یافت. همچنین این ماده با بالا بردن محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی (پرولین و قندهای محلول) و حفظ تعادل آبی سلول، از کاهش شدید محتوی نسبی آب برگ جلوگیری کرد که این امر سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش کم آبی شد. بنابراین تیمار سیلیکون راهکار مناسبی برای بهبود مقاومت گیاهان رازیانه نسبت به تنش خشکی می‌باشد.

منابع:

اسدی کاوان، ژ.، قربانی، م. و ساطعی، آ. (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی و اسکوربات خارجی بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی، فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی و میزان پراکسیداسیون لیپیدی در گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ٤: ٤٦٩-٤٥٦.

ترابی، ف.، مجد، ا. و انتشاری، ش. (۱۳۹۲) مطالعه برهمکنش سیلیکون و شوری بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و تشریحی گیاه گاوزبان دارویی (*Borago officinalis* L.)، فرآیند و کارکرد گیاهی ٦: ۵۱-۳۹.

ترابی، ف.، مجد، ا.، انتشاری، ش. و آیریان، س. (۱۳۹۲) بررسی تأثیر سیلیکون بر برخی پارامترهای آناتومیکی و فیزیولوژیکی گیاه گاوزبان دارویی (*Borago officinalis* L.) در شرایط هیدروپونیک، مجله سلول و بافت ۳: ۲۸۵-۲۷۵.

حداد، ر. و مشیری، ز. (۱۳۸۹) تأثیر سیلیکون در افزایش تحمل به خشکی در مرحله‌ی دو برگی گیاه جو، ژنتیک نوین ٤: ۵۸-٤٧.

حسن پور، ح. و نیکنام، و. (۱۳۹۳) بررسی اثر تنش خشکی بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه پونه معطر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

(*Mentha pulegium* L.) در مرحله گلدهی، فرایند و کارکرد گیاهی ۸: ۳٤-۲۵.

خوشگفتارمنش، ا. ح. (۱۳۸۹) مباحث پیشرفته در تغذیه گیاه. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

سعادتمند، م. و انتشاری، ش. (۱۳۹۱) اثر طول زمان پیش تیمار با سیلیکون بر تحمل شوری در گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey)، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳: ۵۷-٤۵.

طالع احمد، س. و حداد، ر. (۱۳۸۹) اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضداکسندا و محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی، مجله به زراعی نهال و بذر ۲: ۲۲۵-۲۰۷.

ملک احمدی، ف.، کلانتری، خ. و ترکزاده، م. (۱۳۸٤) اثر تنش غرقابی بر القاء تنش اکسیداتیو و غلظت عناصر در گیاه فلفل (*Capscicum annum* L.)، مجله زیست شناسی ایران ۲: ۱۱۹-۱۱۰.

AL-Aghabary, K., Zhujun, Z. and Qinhua, S. (2004) Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal Plant Nutrition 27: 2101-2115.

Alberet, R. S. and Thornber, J. P. (1977) Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplast of maize. Plant Physiology 59: 351- 353.

Amiri, J., Entesari, S. h., Delavar, K., Saadatmand, M. and Rafie, N. A. (2012) The Effect of Silicon on Cadmium Stress in *Echium amoenum*. World Academy of Science, Engineering and Technology 62: 242-245.

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

Dhindsa, R. S., Plumb–Dhindsa, P. and Thrope, T. A. (1981) Leaf Senescence: correlated with increased levels of membrance permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32: 43-101.

Ehdaei, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, J. G. (2006) Genotype variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water soluble carbohydrates. Crop Science 46: 2093-2103.

Gagoonani, S., Enteshari, S., Delavar, K. and Behyar, M. (2011) Interactive effects of silicon and aluminum on the malondialdehyde (MDA), proline, protein and phenolic compounds in *Borago officinalis* L. Journal of Medicinal Plants Research 24:5818-5827.

Ghanbari, A. A., Shakiba, M. R., Toorchi, M. and Choukan, R. (2013) Morpho-Physiological response of common bean leaf to water deficit stress. European Journal of Experimental Biology 3: 487-492.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48:909-930.

Gong. H. Z., Chen K., Wans, S. and Zhang, C. (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science 169: 313-321.

Gunes, A., Inala, A., Bagcia, E. G., Cobana, S. and Pilbeam, D. J. (2007) Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under B toxicity. Scientia Horticulture 113: 113-119.

Hamed, K. B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regul 3: 185-194.

He, F., Mu, L., Yan, G. L., Liang, N., Pan, Q., Wang, J., Reeves, M. and Duan, C. (2010) Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. Molecules 15: 9057-9091.

Heath, R. L. and Packer, L. (1969) Photoperoxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry 125:189-198.

Irrigoyen, J. H., Emerich, D. W. and Sanchez Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in oncentration of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plant. Physiological Pantarum 84: 55-60.

Kamenidou, S. and Cavins, T. J. (2008) Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-roduced ornamental sunflowers. HorticScience 46: 236-239.

Li, Q. F., Ma, C. C. and Shang, Q. L. (2007) Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao18: 531-536.

Liang, Y. C., Zhang, W. H., Chen, Q., Liu, Y. L. and Ding, R. X. (2006) Effect of exogenous silicon (Si) on H+-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt stressed barley *Hordeum vulgare* L.). Environmental and Experimental Botany 57: 212-219.

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

Schobert, B. and Tschesche, H. (1978) Unusual solution properties of proline and its interaction with proteins. Biochim Biophys Acta 549: 270-277.

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E. and Li, J. (2010) Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean antioxidative systems in two cottons. General and Applied Plant Physiology 33: 221-234.

Silva, O. N., Lobato, A. K., Avila, F. W., Costa, L., Oliveira, F., Santos, B. G., Martins, A. P., Lemos, R., Pinho, J., Medeiros, M. B., Cardoso, M. and Andrade, I. P. (2012) silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. Plant Soil and Environment 58: 481– 486.

Tian, X. and Li, Y. (2006) Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum 50: 775-778.

Upadhyaya, H. and Panda, S. K. (2004) Responses of *Camellia sinensis* to drought and rehydration. Biologia Plantarum 48: 597-600.

Verma, S. and Dubeym, R. S. (2001) Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their etabolism in rice, Biologia Plantarum 1: 117-123.

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

Yan, G. F., Jia, C. G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L. P., Liu, N. and Wang, Q. M. (2012) Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. Scientia Horticulturae126: 103- 108.

Yong, Y., Tai, S. and Bao, X. (2007) Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. Plant Science 18: 531-536.

Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M. M., Javanmardi, S. and Sharafzadeh, S. (2012) Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean genotype. African Journal of Agriculture Research 7: 5661-5670.

Zhang, Z., Pang, X., Duan, X., Ji, Z. L. and Jiang, Y. (2005) Role of peroxidase in anthocyanine degradation in litchi fruit pericarp. Food Chemistry 90: 47-52.

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

Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. and Navari Izzo, F. (1999) Antioxidative defense system pigment composition and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to Drought. Plant Physiology 119:1091-1100.

Luna, C. M., Pastori, G. M., Driscoll, S., Groten, K., Bernard, S. and Foyer, C. H. (2004) Drought controls on H2O2 accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. Experimental Botany 58:417-423.

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

Maksimovic, J. D., Bogdanovic, J., Maksimovic, V. and Nikolic, M. (2007) Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 739-744.

Mascher, R., Nagy, E., Lippmann, B., Hornlein, S., Fischer, S., Scheiding, W., Neagoe, A. and Bergmann, H. (2005) Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure. Plant Science 168: 691-698.

Matta, A. J. and Giai, I. (1969) Accumulation of phenol in tomato plant is affected by different forms of Fusarium oxysporum. Planta Medica 50: 512-513.

Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A. and Zare Mehrjerdi, M. (2013) Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). International Journal of Agricultural Sciences 3: 483-492.

Nakano, V. and Asada, K. (1981) Hydrogen Peroxide is scavenged by ascorbate– specific Peroxidase in Spinach chloroplasts. Plant Cell Physiology 22: 867-880.

Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C. and Martinez, V. (2006) Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. Food Chemistry 96:66-73.

Sang, G. K., Ki, W. K., Eun, W. P. and Doil, C. (2002) Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: A possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. Phytopathology 92: 1095-1103.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]

Effects of drought stress and its interaction with silicon on stimulates the antioxidant system and lipid peroxidation in fennel (*Foeniculum vulgar*)

Hasan Mosapour Yahyaabadi[1] and Mohammad Reza Asgharipour[2*]

[1] Department of Horticulture, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2]Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
(Received: 6 December 2014, Accepted: 8 April 2015)

Abstract:

Drought stress stimulates the production of reactive oxygen species (ROS) in chloroplasts. ROS laed to lipid peroxidation and damage to the cell membrane. In the current study, the effect of different concentrations of silicon were examined on oxidative stress caused by drought in fennel plant. The experimental design was a split plot based on RCBD with three replications in which irrigation regimes includingirrigation at 100%, 70% and 40% of field capacity were assigned as main plots and five levels of silicon foliar sprays (0, 2.5, 5, 7.5 and 10 mM) were allocated to sub plots. The experiment was conducted in 2009 at the Zabol University research farm, Zabol, Iran. The results showed that drought stress significantly decreased chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, leaf relative water content and catalase activity. In drought conditions, malondialdehyde levels and electrolyte leakage showed a 2 -fold increase over the control. Silicon treatment (7.5 mM) accompanied by drought, increased the activity of peroxidase and ascorbate peroxidase, proline and soluble sugars by 18, 25, 14 and 28%, respectively and decreased malondialdehyde and electrolyte leakage by 30 and 28%, respectively over the control, suggesting that silicon spraying (5 and 7.5 mM) could increase the ability of plants in response to drought stress by strengthening the antioxidant system of the plant and increasing osmolytes, and have protective effect against lipid peroxidation, induced by stress.

Keywords: Antioxidant enzymes, Lipid peroxidation, Photosynthetic pigments, Proline, Silicon.

*corresponding author, Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.16.8.3]