اثرات کاربرد برگی سیلیکون بر تعدیل تنش خشکی در برخی از واریته‌های پسته

محمودرضا روزبان*، طاهره یوسفی، سعادت ساریخانی، ساسان علی نیائی فرد
گروه باغبانی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران
*نویسنده مسئول: mroozban@ut.ac.ir

چکیده

خشکی به عنوان یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات باغبانی به‌شمار می‌رود. سیلیکون به عنوان عنصری مفید برای رشد گیاهان به ویژه تحت شرایط تنش معرفی شده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات کاربرد برگی سیلیکون بر بهبود تحمل به خشکی در برخی از واریته‌های پسته اهلی و بنه در مرحله دانهالی انجام شد. در این آزمایش، دانهال‌های ۴ ماهه پسته اهلی (واریته "اکبری" و "فندقی") و بنه تحت تیمار کاربرد برگی سیلیکون (۰، ۲ و ۴ میلی‌مولار) و دو سطح تنش خشکی (۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که دانهال‌های اکبری در مقایسه با فندقی و بنه، داری بیشترین میزان زیست توده در طول دوره اعمال تنش بودند. بنه با وجودی که رشد کندی داشت از لحاظ وزن ریشه، نسبت ریشه به شاخساره، محتوای آب نسبی و شاخص پایداری غشاء، نسبت به دو واریته پسته اهلی در مواجهه با تنش خشکی برتری داشت. واریته فندقی به دلیل شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک پایین‌تر در مقایسه با واریته اکبری، واریته حساس در این آزمایش شناخته شد. کاربرد سیلیکون در غلظت دو و چهار میلی مولار، ضمن بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک در واریته‌های اهلی پسته، بیشترین تأثیر را در تیمار آبیاری بر اساس ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه روی واریته حساس فندقی به همراه داشت و تاثیر معنی داری روی بنه نداشت. در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که کاربرد سیلیکون (۲ و ۴ میلی‌مولار) می‌تواند باعث بهبودی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک به ویژه در واریته حساس فندقی تحت شرایط تنش خشکی شود. همچنین رقم اکبری می‌تواند به عنوان یک پایه متحمل به خشکی جهت توسعه باغ‌های پسته و بنه به عنوان یک والد متحمل به خشکی در برنامه‌های اصلاحی پسته مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیلیکات سدیم، نسبت ریشه به اندام هوایی، بنه، محتوای آب نسبی برگ.

مقدمه

تنش‌های غیرزیستی منجر به تغییرات شدید مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی شده که در مجموع اثر منفی بر رشد و تولیدات گیاهی دارد (Wang, 2003). این تنش‌ها علاوه بر اثرگذاری بر رشد، در شدت‌های بالا، امکان نمو و بقای گیاهان را محدود می‌سازند. در بین تنش‌های غیرزیستی، تنش خشکی یکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به ویژه ایران محسوب می‌شود (Yin et al., 2005). ایران تولیدکننده عمده پسته جهان است (FAO, 2019). بیشتر مناطق پسته‌کاری ایران به‌ویژه در استان کرمان که بیش از ۶۰ درصد سطح زیر کشت پسته کشور در آن واقع شده، با مشکل کم‌آبی و تنش خشکی مواجه است؛ بنابراین شناسایی و معرفی روش‌هایی برای گسترش پایدار این محصول در کشور و حفظ سهم ایران در بازارهای جهانی، اهمیت زیادی دارد. مطالعات پیشین حاکی از این است که تنش خشکی در پسته باعث کاهش رشد رویشی، مقدار رطوبت نسبی، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش تولید پراکسید هیدروژن می‌شود. در شرایط تنش خشکی فعالیت آب در بافت‌های گیاهی کاهش یافته که این عامل باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال از جمله پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های سوپر اکسید، اکسیژن منفرد و تجمع رادیکال‌های هیدروکسیل با تغییر در سوخت‌وساز سلول که این عوامل منجر به تنش اکسیداتیو و آسیب‌های ساختاری به سلولهای می‌شود. برای کنترل این آسیب گیاهان دارای سیستم دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی از قبیل سوپر اکسید دیسموتاز SOD، آسکوربیت پراکسیداز APX، کاتالاز که نقش مهمی برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایفا می‌کنند (Apel and Hirt 2004). تحت شرایط خشکی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای القای تحمل تنش حائز اهمیت است (Gong et al., 2005).

سیلیکون اگرچه یک عنصر ضروری برای رشد و متابولیسم گیاه در نظر گرفته نشده، اما برای گیاهان عالی، عنصری مفید معرفی شده است (Epstein, 2009, Ma, 2004) و کاربرد خارجی آن به بهبود تحمل به خشکی در گیاهان کمک می‌کند (Hattori et al., 2007). گزارش شده است که سیلیکون باعث بهبود استفاده از آب، کارایی و تحریک سیستم‌های آنزیمی و غیر آنزیمی و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Liang et al., 2007; Cooke and Leishman, 2011). افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش تولید ROS به واسطه کاربرد سیلیکون سبب کاهش آسیب اکسیداتیو، حفظ و یکپارچگی غشای کلروپلاستی و در نتیجه افزایش تحمل به خشکی گیاه می‌شود (Waraich et al., 2011). همچنین سیلیکون منجر به افزایش حجم و وزن ریشه و کاهش تلفات آبی از طریق تعرق به دلیل سیلیسی شدن سطوح برگ

(Cooke and Leishman, 2011) و هم چنین کاهش قطر روزنه‌ها (Snyder and Matichenkov, 2007) می‌گردد و این عوامل می‌توانند در نهایت مقاومت به خشکی را افزایش دهند.

با توجه به اینکه ایران روی کمربند خشکی واقع شده و خشکی و خشکسالی از ویژگی‌های طبیعی و اقلیمی بخش های عمده ای از ایران است، این پژوهش با هدف ارزیابی تحمل به تنش خشکی برخی واریته‌های مهم پسته اهلی و بنه، به‌عنوان یک گونه بومی ایران و بررسی تأثیر سیلیکون بر بهبود تحمل به خشکی واریته های دانهالی پسته انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

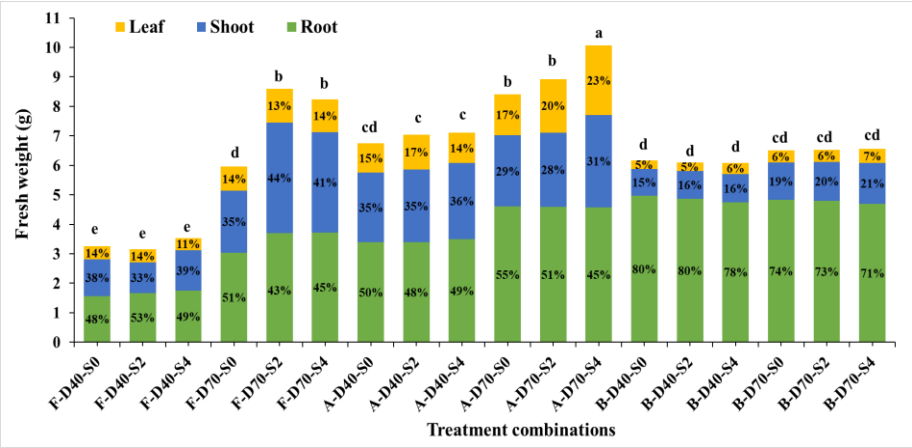
به منظور بررسی اثر سطوح مختلف سیلیکون بر تعدیل تنش خشکی در واریته‌های پسته اهلی و بنه، پژوهشی در مجموعه گلخانه‌های گروه باغبانی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت، استان تهران طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام شد. مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل دانهال‌های ۴ ماهه ارقام پسته واریته اکبری (*Pistacia vera* L. Akbari) و واریته فندقی (*P. vera* L. Fandoghi)، و بنه (*P. atlantica* subsp. Mutica) بود. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل (با سه فاکتور) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و ۳ تکرار پیاده شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل سه نوع ماده گیاهی، دو سطح تنش خشکی (۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان) و سه سطح سیلیکون به صورت سیلیکات سدیم (۰، ۲ و ۴ میلی‌مولار) بود. شیوه اعمال تنش خشکی به‌صورت وزنی بود. همچنین، سیلیکات سدیم مورد استفاده در دو مرحله‌ی شروع تنش و دو هفته پس از آن روی برگها محلول‌پاشی شد. صفات مورد مطالعه در این پژوهش شامل صفات رشدی (وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ (ترازوی دیجیتال))، فیزیولوژیک (محتوای نسبی آب برگ (Gindaba et al., 2004)، پتانسیل آب برگ (با استفاده از دستگاه دستگاه پمپ فشار (Pressure Chamber))، شاخص پایداری غشا (Sairam et al., 2000)، شاخص سبزینگی برگ (با استفاده از دستگاه SPAD502) و مالون دی آلدهید (Heath et al., 1968)) بود که در پایان آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

پس ارزیابی صفات، ضمن انجام تست نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS (Ver. 9.2) انجام و مقایسه میانگین داده‌های با استفاده از همین نرم افزار و آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

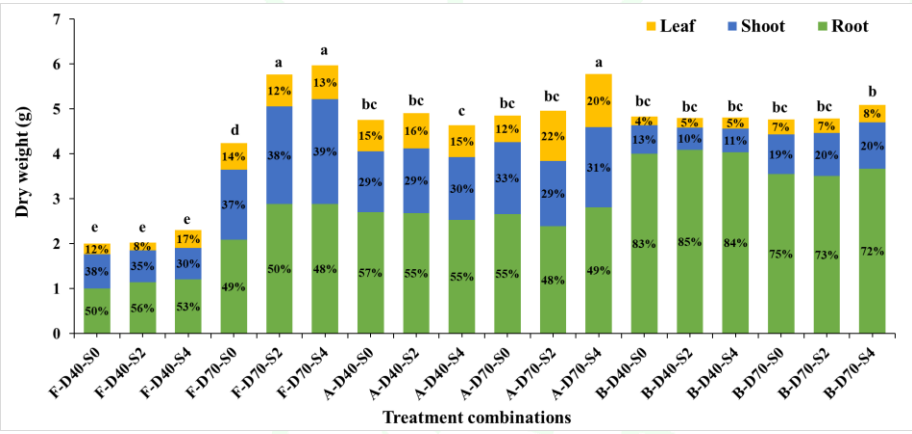
بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، اثر اصلی رقم، تنش خشکی، سیلیکون و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ و شاخص تحمل به تنش خشکی وزن تر (FWSI) و (DWSI) معنی‌دار گردید. بر همین اساس وزن تر کل گیاه (مجموع وزن تر ریشه، شاخه و برگ) در رقم اکبری در تیمار آبیاری بر مبنای ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و محلول‌پاشی سیلیکون چهار میلی مولار بیشترین بود. ضمن اینکه در ترکیب تیماری یاد شده، بالاترین درصد تخصیص زیست توده به برگ‌ها -که اندام اصلی فتوسنتز کننده گیاهان محسوب می‌شود- حاصل شد.

تحمل به خشکی ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های روزنه‌ای و برگی دارد و گیاهانی با این ویژگی‌ها می‌توانند واکنش مناسبی به تنش خشکی نشان دهند (Hung et al., 2006). کمترین وزن تر کل نیز به واریته فندقی در تیمار آبیاری بر مبنای ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه تعلق داشت. نکته جالب توجه در نمودار یاد شده، تاثیر کاربرد سیلیکون بر واریته فندقی در تیمار آبیاری بر مبنای ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه بود که به وضوح، باعث بهبود وزن تر کل گیاه شده بود (شکل ۱). در بنه، کاربرد یا عدم کاربرد سیلیکون در هر دو سطح آبیاری بر مبنای ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه، تفاوت معنی‌داری در وزن تر کل زیست‌توده آن ایجاد نکرد. بیشترین وزن خشک کل گیاه در واریته اکبری در تیمار آبیاری بر مبنای ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و محلول‌پاشی سیلیکون چهار میلی مولار، و نیز واریته فندقی در تیمار آبیاری بر مبنای ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و محلول‌پاشی سیلیکون دو و چهار میلی مولار مشاهده شد. همانند وزن تر کل، کاربرد سیلیکون به وضوح باعث بهبود وزن خشک کل گیاه در واریته فندقی در مقایسه با عدم کاربرد آن شده بود (شکل ۲).



شکل ۱- اثر کاربرد سیلیکون بر وزن تر ریشه، شاخه و برگ واریته‌های پسته اهلی و وحشی تحت سطوح مختلف تنش خشکی

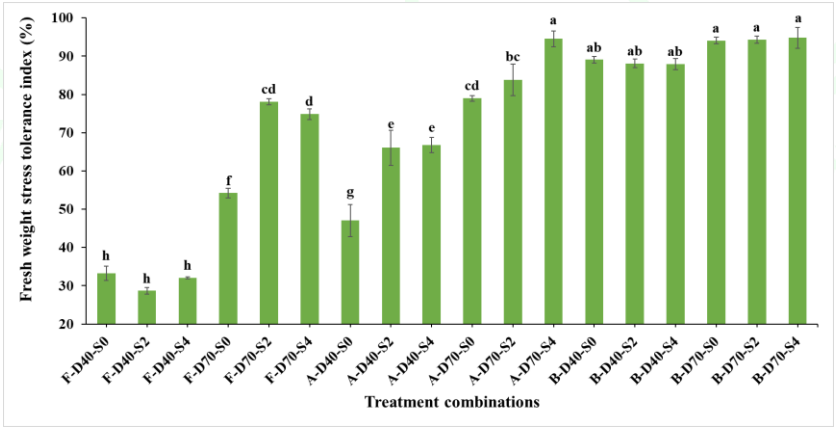
(F، A، B: به ترتیب سیلیکون در سطوح ۰، ۲ و ۴ میلی مولار)S4 و S2، S0: آبیاری در حد ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی؛ D70 و D40، به‌ترتیب واریته پسته فندقی، اکبری و بنه،



شکل ۲- اثر کاربرد سیلیکون بر وزن خشک ریشه، شاخه و برگ واریته‌های پسته اهلی و بنه در سطوح مختلف کم‌آبیاری

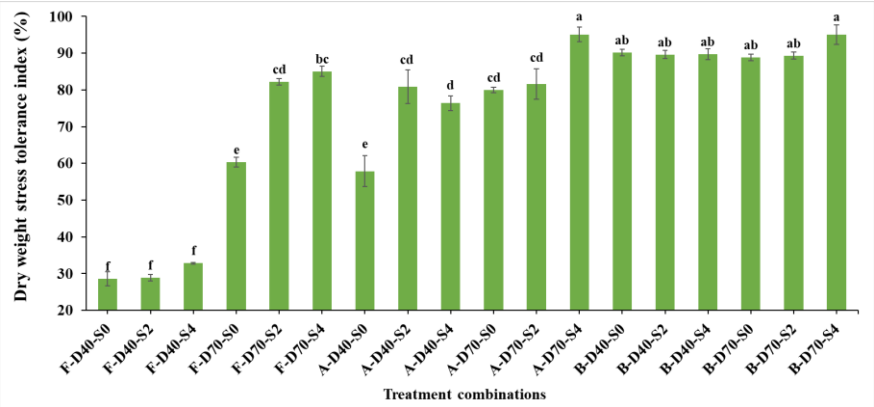
(F، A، B: به‌ترتیب کاربرد سیلیکون در سطوح ۰، ۲ و ۴ میلی مولار)S4 و S2، S0: آبیاری در حد ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی؛ D70 و D40، به‌ترتیب واریته پسته فندقی، اکبری و بنه،

اثر کاربرد برگی سیلیکون بر شاخص تحمل به تنش خشکی وزن تر و وزن خشک نشان داد که رقم اکبری در تیمار آبیاری ۷۰ درصد و کاربرد برگی سیلیکون چهار میلی مولار بیشترین شاخص تحمل به تنش وزن تر و وزن خشک را داشت. به موازات اکبری، دانهال‌های بنه نیز در همه سطوح آبیاری و کاربرد سیلیکون، بالاترین شاخص تحمل به تنش را از نظر وزن تر و وزن خشک نشان دادند. کاربردهای برگی سیلیکون سبب بهبود شاخص تحمل به تنش وزن تر و خشک واریته فندقی بود (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- اثر سیلیکون بر شاخص تحمل به تنش وزن تر ارقام پسته اهلی و وحشی تحت سطوح مختلف کم‌آبیاری

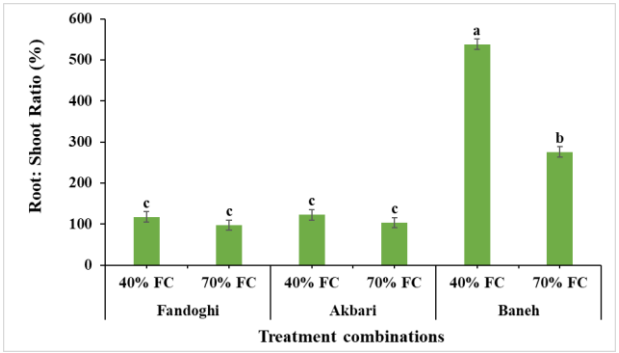
(F، A، B، به‌ترتیب ارقام پسته فندقی، اکبری و بنه، D40 و D70: آبیاری در حد ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی؛ S0، S2 و S4: به‌ترتیب سیلیکون در سطوح ۰، ۲ و ۴ میلی مولار)



شکل ۴- اثر سیلیکون بر شاخص تحمل به تنش وزن خشک ارقام پسته اهلی و وحشی در سطوح مختلف کم‌آبیاری

(F، A، B، به‌ترتیب ارقام پسته فندقی، اکبری و بنه، D40 و D70: آبیاری در حد ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی؛ S0، S2 و S4: به‌ترتیب کاربرد سیلیکون در سطوح ۰، ۲ و ۴ میلی مولار)

براساس نتایج بدست آمده، سیلیکون اثر معنی‌داری بر نسبت ریشه به اندام هوایی نداشت. در مقابل اثر متقابل رقم× تنش خشکی بر نسبت وزن ریشه به اندام هوایی به عنوان یک پارامتر تاثیرگذار در بهبود تحمل به تنش خشکی، معنی‌دار بود. همانطور که شکل ۵ نشان می‌دهد این نسبت در بنه به ترتیب در سطوح ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه بطور معنی‌داری بالاتر از سایر ترکیبات تیماری بود. به عنوان یک قانون کلی، ریشه‌ها تا زمانی به رشد و توسعه خود ادامه می‌دهند که فتواسیمیلیت‌های دریافت شده از بخش‌های هوایی برای آنها محدود کننده نباشد (Taiz and Zeiger, 2006). از طرف دیگر، تخصیص زیست توده به ریشه یکی از ویژگی‌های گیاهان متحمل به خشکی است که به اجتناب از پسابیدگی (Dehydration) آنها می‌انجامد. این موضوع نشان می‌دهد که تحمل به کم‌آبیاری بنه بیش از آنکه نتیجه واکنش‌های روزنه‌ای آن باشد متأثر از توانایی این گونه در تخصیص زیست‌توده تولیدی خود به ریشه‌ها است.



شکل ۵- نسبت ریشه به اندام هوایی ارقام مختلف پسته اهلی و وحشی تحت سطوح مختلف تنش خشکی

اثر فاکتورهای رقم، تنش خشکی و سیلیکون به‌تنهایی بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی محتوای آب نسبی برگ، شاخص پایداری غشاء، پتانسیل آب برگ، میزان سبزینگی برگ و مالون دی آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. انتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که محتوای نسبی آب دانهال‌ها تحت تنش خشکی کاهش پیدا کرد و اختلاف معنی‌داری بین ارقام مختلف از نظر محتوای آب نسبی برگ مشاهده شد که این نتایج با پژوهش انجام شده توسط Boussadia و همکاران (2008) که گزارش کردند محتوای نسبی آب برگ نهال‌های دوساله زیتون تحت شرایط تنش خشکی کاهش یافت و رقم مسکی نسبت به رقم کرونایکی از محتوای نسبی آب بهتری در شرایط تنش شدید برخوردار بود، مطابقت داشت. در پژوهش دیگر نیز روی پسته ارقام اوحدی، کله قوچی و اکبری مشخص گردید که با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت (Esmaeilpour *et al*.,2015) که با آزمایش حاضر همخوانی داشت.

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سیلیکون بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف پسته اهلی و وحشی تحت شرایط تنش خشکی نشان داد بیشترین محتوای آب نسبی برگ، پایداری غشاء، پتانسیل آب برگ و مالون دی آلدئید مربوط به بنه بود و در بین سه رقم فندقی،

اکبری و بنه در شاخص سبزینگی برگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشا، سبزینگی برگ و پتانسیل آب برگ مربوط به تنش ۷۰ درصد بوده است. در تیمار سیلیکون صفر و دو میلی مولار تفاوت معنی‌داری در پتانسیل آب برگ و مالون دی‌آلدئید وجود داشت (جدول ۱). به‌طور کلی بر اساس نتایج بدست آمده، سیلیکون سبب بهبود پایداری غشا بویژه تحت شرایط تنش خشکی شد. سیلیکون در 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 ازاین طریق نشت الکترولیت‌ها را در گیاه کاهش می‌دهد (Liang et al., 2007).

جدول ۱- اثر کاربرد سیلیکون بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف پسته اهلی و بنه در سطوح کم‌آبیاری

تیمارهای مورد مطالعه		محتوی نسبی آب برگ (%)	شاخص پایداری غشاء (%)	پتانسیل آب برگ (MPa)	شاخص سبزینگی	مالون دی‌آلدهید (µM.g-1 FW)
ژنوتیپ	فندقی	58.38 c	42.93 c	-0.24 c	52.21 b	0.287 c
	اکبری	62.78 b	49.15 b	-0.21 a	55.42 a	0.355 b
	بنه	72.13 a	50.77 a	-0.19 a	43.97 c	0.405 a
تنش خشکی (%FC)	40	61.64 b	43.23 b	-0.23 b	48.96 b	0.362 a
	70	67.23 a	52.01 a	-0.20 a	52.11 a	0.337 b
سیلیکون (mM)	0	59.94 b	44.33 b	-0.24 b	50.28 a	0.389 a
	2	65.11 a	47.88 a	-0.20 a	50.15 a	0.331 b
	4	68.25 a	50.64 a	-0.20 a	51.17 a	0.326 b

- در هر فاکتور مورد مطالعه، تیمارها با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در بین ارقام پسته اهلی، دانهال‌های اکبری با توجه به تولید زیست توده بیشتر، شاخص سبزینگی برگ بالاتر و همچنین بنه بدلیل وزن ریشه، محتوای آب نسبی، شاخص پایداری غشا، و پتانسیل آب برگ بالاتر، توانایی بیشتری در مواجهه با تنش خشکی داشتند. واریته اکبری به‌دلیل برخورداری از صفات فوق‌الذکر و قدرت رشد بالا، یک واریته امیدبخش جهت استفاده در برنامه توسعه باغ‌های پسته در شرایط کم‌آبی می‌باشد. دانهال‌های بنه با توجه به مکانیسم غالب اجتناب از خشکی آن، که عمدتا در رشد محدود و کند شاخساره و گسترش ریشه‌های آن نهفته است، یک کاندید جذاب برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی آتی جهت دستیابی به پایه‌های متحل به تنش خشکی می‌باشد که در این راستا لازم است تلاقی آن با والدهای پر رشد نظیر انتگریما مورد توجه قرار گیرد.

کاربرد سیلیکون به شکل سیلیکات سدیم در هر دو غلظت دو و چهار میلی مولار، سبب بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک در واریته‌های اهلی پسته به ویژه در واریته حساس فندقی گردید. به‌عبارت دیگر، پسته واریته فندقی نسبت به واریته اکبری پاسخ بهتری به کاربرد سیلیکون نشان داد و می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد سیلیکون به ویژه در واریته‌های حساس می‌تواند یک راهکار مدیریتی کارآمد در تعدیل تنش خشکی باشد. اهمیت این موضوع زمان بیشتری خواهد بود که بدانیم ۴۵ درصد از باغ‌های پسته کشور را واریته فندقی تشکیل می‌دهد که یک رقم حساس به تنش خشکی در بین واریته‌های پسته کشور می‌باشد.

منابع

Apel K, Hirt H (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annu Rev Plant Biol 55:373-399.

Boussadia O, Mariem FB, Mechri B, Boussetta W, Braham M, El Hadj SB (2008) Response to drought of two olive tree cultivars (cv Koroneki and Meski). Scientia Horticulturae 116(4): 388-393.

Cooke J, Leishman MR (2011) Silicon concentration and leaf longevity: is silicon a player in the leaf dry mass spectrum? Functional Ecology 25(6):1181-1188.

E smaeilpour A, Van Labeke M-C, Samson R, Ghaffaripour S, Van Damme P (2015) Comparison of biomass production-based drought tolerance indices of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings in drought stress conditions. International Journal of Agronomy and Agricultural Research 7(2):36-44.

Epstein E (2009) Silicon: its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology 155(2):155-160.

FAO. 2019. FAO statistical yearbook. Agricultural production. Food and Agriculture Organization of the United Nations (http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC).

Gindaba J, Rozanov A, Negash L (2004) Response of seedlings of two Eucalyptus and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. Forest Ecology and Management 201(1):119-129.

Gong H, Zhu X, Chen K, Wang S, Zhang C (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science 169(2):313-321.

Hattori T, et al. (2007) Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. Environmental and Experimental Botany 60(2):177-182.

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

Huang C, et al. (2006) Electrospun polymer nanofibres with small diameters. Nanotechnology 17(6):1558.

Liang Y, Sun W, Zhu Y-G, Christie P (2007) Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. Environmental pollution 147(2):422-428.

Ma JF (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil science and plant nutrition 50(1):11-18.

Sairam R, Srivastava G (2000) Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biologia Plantarum 43(3):381-386.

Taiz, L and Zeiger, E. (2003) Plant physiology, 3rd eds, Sinauer Associates, Sunderland, Mass. pp: 690.

Waraich EA, Ahmad R, Ashraf M (2011) Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants .Australian Journal of Crop Science 5(6):764.

Yin C, Wang X, Duan B, Luo J, Li C (2005) Early growth, dry matter allocation and water use efficiتency of two sympatric Populus species as affected by water stress. Environmental and Experimental Botany 53(3):315-322.

Effect of Foliar Application of Silicon on Alleviating Drought Stress in some Pistachio Varieties

Mahmoud Reza Roozban*, Tahereh Yousefi, Saadat Sarikhani, Sasan Aliniaeifard
Department of Horticulture, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
**Corresponding author: mroozban@utac.ir*

Abstract
Drought is considered as one of the limiting factors of agriculture production worldwide. Silicon has been introduced as a useful nutrient for plant growth, especially under stress conditions. Therefore, this study was conducted as a greenhouse experiment to evaluate the effect of foliar application of silicon on improving drought tolerance in some commercial pistachio varieties and *P. atlantica* subsp. Mutica (Baneh). In this experiment, 4-month-old seedlings of pistachio varieties ('Akbari' and 'Fandoghi') and Baneh were treated by sodium silicate (0, 2 and 4 mM) under two levels of drought stress conditions (70 and 40% FC). The results showed that 'Akbari' seedlings had the highest biomass compared to the other varieties. Although Baneh seedlings were very low vigorous, but they had better root weight, root: shoot ratio, leaf relative water content (RWC) and membrane stability index (MSI) under drought stress condition compared to the two-commercial pistachio. Pistachio var. 'Fandoghi' was recognized as a susceptible variety to drought stress because of lower growth and physiological characteristics. Application of silicon (2 and 4 mM) improved growth and physiological characteristics of commercial pistachio varieties especially in 'Fandoghi' under moderate drought stress condition (70% FC). In general, foliar application of silicon (2 and 4 mM) can improve growth and physiological characteristics especially in susceptible 'Fandoghi' varieties under drought stress conditions. 'Akbari' variety can also be used as a drought-tolerant rootstock for the establishment of pistachio orchards. Also, Baneh can be considered as a drought-tolerant parent in pistachio breeding programs.
***Keywords*:** Sodium silicate, Root: Shoot ratio, *P. atlantica* subsp. Mutica, RWC.