به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۷
صفحه‌های ۳۱۴-۲۹۹

تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) تحت تنش خشکی

بیژن مهرگان[۱]، صادق موسوی‌فرد[۲]*، عبدالحسین رضایی‌نژاد[۳]

۱. کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سیلیسیم در کاهش آثار خشکی، روی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) انجام گرفت. آزمایش به‌صورت گلدانی، با ترکیب مساوی از خاک، ماسه و کود حیوانی و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش تکرار انجام شد. بعد از استقرار گیاهان، تیمار سیلیسیم در سه سطح صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار، یک هفته قبل از شروع تنش خشکی و سپس تنش خشکی در سه سطح ۹۰، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. تیمار سیلیسیم به‌صورت هفته‌ای انجام گرفت. پس از گذشت ۱۲ هفته از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد افزایش خشکی به‌طور معنا داری بر تمامی صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، قطر ساقه و قطر ریشه)، رویشی و فیزیولوژیکی (نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) و بیوشیمیایی (کلروفیل a، b و کل، پرولین و آنتوسیانین) تأثیر داشت. در حالی‌که کاربرد سیلیسیم آثار تنش را تعدیل کرد، به‌طوری‌که در همهٔ سطوح خشکی تیمار سیلیسیم به‌ویژه با غلظت دو میلی‌مولار باعث افزایش رشد، وزن خشک گیاه و شاخص مقاومت به تنش شد. در این مطالعه نشت یونی که شاخصی از یکپارچگی غشاء سلولی است با کاربرد سیلیسیم در سطوح بالای تنش خشکی کاهش یافت. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد دو ژنوتیپ مطالعه شدهٔ آلترنانترا، تحمل متفاوتی به تنش خشکی دارند. در این مطالعه ژنوتیپ «برگ موجی» نسبت به «برگ صاف» متحمل‌تر بود. بنابراین، در مناطقی که آب کمتری در دسترس است، می‌توان آن را در فضاهای سبز کشت کرد.

کلیدواژه‌ها: آنتوسیانین، پرولین، ژنوتیپ برگ موجی، سیلیکات پتاسیم، نشت الکترولیت.

* نویسنده مسئول
Email: mousavifard.s@lu.ac.ir

www.SID.ir

۱. مقدمه

آلترنـانترا (*Alternanthera repens* L.) گیـاهی پوششـی، از خانوادهٔ تاج خروس[1] بوده که سال هاست در ایـران کشـت و کار می‌شود و کشت آن در حاشیه‌های گل‌کاری کشور رایـج است. همچنین در مناطق گرمسیری به‌صـورت چنـد سـاله و در مناطق سرد به‌صورت یکساله کشت‌وکار می‌شود [۳].

خشکی، از مهمترین عوامل تأثیرگذار بـر رشـد و نمـو گیاهان اعم از زراعی و غیرزراعـی اسـت. امـروزه، کـاهش میزان نزولات و در نتیجه مقدار آب در دسترس، بر رشد و توسعهٔ فضای سبز شهرها تأثیر بسیار گذاشته اند [۲۲]. تنش خشکی باعث آسیب به غشاء و سیستم فتوسنتزی می‌شـود و فرآیند فتوسنتز را از طریق بسته‌شدن روزنه‌ها و درنتیجـه نرسیدن دی‌اکسیدکربن به کلروپلاست‌ها تحت تـأثیر قـرار می‌دهد [۲۳]. از آنجایی‌که وجود فشـار تورژسـانس بـالای سلولی برای انجام فعالیت‌های مهم فیزیولـوژیکی، ازجملـه رشد سلول‌ها و حرکات روزنه‌ای ضـروری اسـت، گیاهـان با استفاده از مکانیسم‌های متفاوتی همچون تنظیم اسـمزی، فشار تورژسانس سلول‌های خود را بالا نگه می‌دارند [۱۰].

سیلیسیم بعد از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در خـاک است. در بافـت ریشـهٔ تمـامی گیاهـان در خـاک، مقـداری سیلیکون وجود دارد. مطالعات متعدد نشان داده اسـت کـه این عنصر آثار مثبتی بر رشد و عملکرد گیـاه دارد [۱۶]. بـا این حال نقش سیلیکون در رشد و توسعهٔ گیاهان به خـوبی مطالعه شده است [۱۱]. سیلیسیم توسـط گیـاه بـه‌صـورت باردار $Si(OH)^{-4}$ جـذب و در نهایـت بـه صـورت رسـوب حل نشدنی (سیلیسیک اسید) در گیاه تجمع می‌یابـد. بیشـتر منابع سیلیسیم در خاک بـه‌صـورت نـامحلول هسـتند و بـا ترکیبی که توسط گیاه جـذب مـی شـوند، متفـاوت هسـتند [۲۵]. سیلیسـیم اسـتحکام دیـوارهٔ سـلول‌هـای اپیـدرمی را افزایش می‌دهد. در نتیجه گیاه در برابر از دسـت رفـتن آب به‌وسیلهٔ تعرق کوتیکولی محافظت و تحمـل گیـاه در برابـر تنش های خشکی و شوری افزایش می یابـد [۲]. سـیلیکون در بافت گیاهی سبب افـزایش غلظـت نیتـروژن و پتاسـیم می‌شود، این افزایش غلظت، ممکـن اسـت از طریـق فعـال سازی پمپ پروتونی H-ATPase انجام شود. ایـن مـاده بـا کاهش در میزان کاربرد علف کش ها و مواد سـمی، مـانع از آلودگی محیط‌زیست می شود [۹ و ۲۰]. گزارش شده است که سیلیکون باعث افزایش رشد گیاهان، کاهش حساسـیت به عوامل بیماری زای قارچی و افـزایش تحمـل گیاهـان در شرایط تـنش‌هـای غیرزیسـتی گشـته اسـت. ایـن مـاده در بسیاری از موارد بـا تحریـک رشـد و افـزایش در فعالیـت آنـزیم‌هـای ضداکسـنده، موجـب حفاظـت گیـاه در برابـر تنش‌های محیطی می‌شود [۵].

کاشت گیاهان حاشیه‌ای در فضاهای شهری با توجه بـه نقش این گیاهان در کاهش آلودگی‌ها و بهبود مناظر شهری بسیار ضروری است، ولی امروزه بـا کـاهش میـزان آب در دسترس که حاصل کاهش بارندگی ها و تغییر اقلـیم اسـت، این امر را دچار مشکل کرده است. با توجه بـه نقـش‌هـای مختلف سیلیسیم در گیاهان از جمله نقـش ایـن عنصـر در کاهش تنش خشکی، این مطالعـه بـا هـدف بررسـی تـأثیر کاربرد سیلیسیم در کاهش آثار سـوء تـنش خشـکی در دو رقم گیاه پوششی آلترنانترا انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش روی دو ژنوتیپ «برگ موجی» و «برگ صاف» گیاه آلترنـانترا در گلخانـه تحقیقـاتی دانشـکدهٔ کشـاورزی دانشگاه لرستان بـا مختصـات جغرافیـایی ۳۳ درجـه و ۲۶ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقهٔ طـول شـرقی با ارتفاع ۱۱۴۸ متـر از سـطح دریـا در سـال ۱۳۹۴ انجـام شد. نخست گیاهان از طریق تقسیم بوته تکثیر شد و سپس از طریـق قلمـه از گیـاه مـادری در خزانـهٔ تکثیـر و در

1. Amaranthaceae

Archive of SID
www.SID.ir

گلدان‌های با قطر ۲۵ سانتی‌متر با مخلوطی از خاک، ماسه و کود حیوانی به نسبت مساوی کشت شد. بعد از استقرار گیاهان که ۲۰ روز طول کشید تیمار سیلیسیم یک هفته قبل از شروع تنش خشکی آغاز و تا پایان آزمایش اعمال شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار اجرا شد. آزمایش شامل سه سطح سیلیکات پتاسیم با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار و سه سطح آبیاری، ۹۰، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (FC) در شرایط محیط باز انجام شد. روش کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌صورت محلول‌پاشی برگ در اوایل صبح و هفتگی پس از استقرار کامل گیاهان در گلدان انجام شد. تنش خشکی نیز یک هفته پس از کاربرد سیلیکات پتاسیم، اعمال شد. پس از گذشت ۱۲ هفته از اعمال تیمارها نمونه‌برداری انجام شد [۴].

در این مطالعه ویژگی هایی نظیر ارتفاع گیاه و طول ریشه به وسیلهٔ خط‌کش و قطر ساقه از میانگره دوم با کولیس دیجیتالی Mitutoyo ژاپن اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب طبق روش زیر اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، از برگ‌های جوان توسعه یافته نمونه‌برداری، و وزن‌تر (FW) ثبت شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفته و پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع (SW)برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک (DW) هر کدام اندازه‌گیری شد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دیجیتالی در رابطهٔ (۱) میزان RWCبه درصد محاسبه شد [۲۴].

(۱)

$$RWC= [(FW-DW)/ (TW-DW)] \times 100$$

نشت الکترولیت[1] با استفاده از روش ژائو و همکاران [۲۸] اندازه‌گیری شد. برای این منظور قطعات برگی را به‌اندازهٔ ۱-۲ سانتی‌متر (وزن تازه بافت برگ ۰/۸-۰/۵گرم) جدا کرده و در فالکن های حاوی ۲۰ میلی‌متر آب مقطر قرار گرفتند. پس از ۳۰ ثانیه ورتکس نمونه‌ها، EC هر نمونه، اندازه‌گیری شد (EC0). نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی گراد نگه‌داری و سپس EC آن ها اندازه‌گیری شد (EC1). پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با دمای۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از خنک شدن در دمای اتاق EC آن‌ها برای سومین بار اندازه‌گیری شد (EC2). نشت الکترولیت از رابطه (۲) به دست آمد.

(۲)

$$\text{Electrolyte leakage} = [(EC1- EC0)/ (EC2- EC0)] \times 100$$

نظر به اینکه آلترنانترا گیاهی پوششی است با استفاده از کادر ۱۰×۱۰ سانتی‌متری از هر گلدان نمونه ای تهیه شد. گیاهان از سطح خاک از محل طوقه قطع و بلافاصله وزن تر برگ و ساقه و ریشه آن‌ها به‌وسیلهٔ ترازوی دیجیتال، به‌دقت اندازه گیری شد. سپس نمونه‌ها و در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شده و وزن خشک نیز اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از عصارهٔ تهیه شده به کمک اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد انجام گرفت [۶]. جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد پرولین، مقدار این ماده محاسبه و برحسب میکرومول پرولین بر گرم وزن‌تر اعلام شد. مقدار پرولین از رابطهٔ (۳) حاصل شد

(۳)

$$\mu\text{mol proline } (gFW^{-1}) = \{[\text{ proline } (\mu g/L) \times \text{ (g) } /5] \text{ toluene (ml)}]/115.5\}/[\text{ sample}$$

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ، ۰/۱گرم نمونه (w) برگ وزن شد و در فالکون قرار گرفت، سپس ۱۰ سی‌سی استون (v) ۸۰ درصد به آن اضافه شد. پس از بستن در ظرف با پارافیلم و پوشاندن ظرف با ورقهٔ

1. Electrolyte leakage

Archive of SID
www.SID.ir

آلومینیومی، نمونـه در محـل تاریـک و در دمـای ۴ درجـهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت تا کلروفیل برگ خارج و بافت برگ سفید شد. قرائت میزان جذب (A) در طول موج‌هـای ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر صورت گرفت. میزان کلروفیل a، b و کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از روابط (۴، ۵ و ۶) محاسبه شد [۱۵].

(۴)

$$Chla\ (mg/gr) = [12.7(A663) - 2.69\ (A645)]\ (V/1000\ W)$$

(۵)

$$Chlb\ (mg/gr) = [22.9(A645) - 4.68\ (A663)]\ (V/1000\ W)$$

(۶)

$$Total\ Chl\ (mg/gr) = Chla + Chlb$$

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگ از روش واگنـر [۲۶] استفاده شد. دیسک‌های برگی تهیه شده از گیاه را در هاون چینی با مقداری متـانول اسـیدی (متـانول خـالص و اسید کلریدریک خـالص بـه نسـبت حجمـی ۹۹:۱) کـاملاً سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش سرپیچ دار ریخته شد و به مـدت ۲۴ سـاعت در تـاریکی و در دمـای ۲۵ درجـهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس، به‌مدت ۱۰ دقیقه با سـرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب رو شناور در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شـد. بـرای محاسـبه غلظـت ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مـول در نظـر گرفتـه شد و میزان آنتوسیانین با استفاده از رابطهٔ (۷) محاسبه شد. در این رابطه A جذب خوانده شـده، b عـرض کـووت، c غلظـت محلـول و € ضـریب خاموشـی اسـت کـه ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد.

(۷)

$$A = €bc$$

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل بـا سـه فـاکتور سـطوح تنش خشکی، سـیلیکات پتاسـیم و نـوع ژنوتیـپ براسـاس طرح پایـه کـاملاً تصـادفی بـا شـش تکـرار انجـام شـد و تجزیه وتحلیل آماری داده‌ها و مقایسهٔ میانگین‌ها با اسـتفاده از روش LSD در سـطح ۵ درصـد توسـط نـرم‌افزارهـای آماری SAS 9.4 و Minitab 17 انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. ویژگی‌های مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد کـه اکثـر فاکتورهای مطالعه شده و آثار متقابل آن‌هـا تـأثیر معنـاداری ($p<۰/۰۵$) بر ویژگی‌های مورفولوژیکی مطالعه شده (ارتفاع گیاه، قطر ساقه و طول ریشه) داشت.

نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد که ارتفاع ژنوتیـپ «بـرگ موجی» از «برگ صاف» بیشتر است (شکل ۱) با ایـن وجـود ارتفاع گیاه تحت تأثیر هم زمان تنش اعمال شده و سـیلیکات پتاسیم قرار گرفته است. در این مطالعه اعمال تـنش خشـکی سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت بـه سـطح ۹۰ درصـد FC باعث کاهش ارتفاع گیاه تا ۷۸/۳ درصـد شـد و کـاربرد سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار توانست تا ۳۶/۹ درصد باعـث افزایش ارتفاع گیاه نسبت به عدم مصرف سـیلیکات پتاسـیم شود (شکل ۱). بیشترین میزان ارتفاع گیاه مربوط به ژنوتیـپ «برگ موجی» در تیمار خشـکی ۹۰ درصـد FC و سـیلیکات پتاسیم ۲میلی‌مولار و کمترین ارتفاع گیاه مربوط بـه ژنوتیـپ «برگ صاف» در تیمار خشـکی ۵۵ درصـد و عـدم مصـرف سیلیکات پتاسیم بود.

نتایج مقایسهٔ میانگین نشـان داد کـه قطـر ژنوتیـپ «بـرگ صاف» از «برگ موجی» بیشتر است (جدول ۳). در این مطالعه اعمال تنش خشکی سطح ۵۵ درصد FC نسبت بـه سـطح ۹۰ درصد FC باعث کـاهش قطـر سـاقه تـا ۶۱/۷ درصـد شـد و کاربرد سیلیکات پتاسیم دو میلی‌مولار توانست تا ۴۹/۴ درصـد باعث افزایش قطر سـاقه نسـبت بـه عـدم مصـرف سـیلیکات پتاسیم شود. در این مطالعه بیشترین میزان قطر ساقه مربوط بـه ژنوتیـپ «بـرگ صـاف» در تیمـار خشـکی ۹۰ درصـد FC و سیلیکات پتاسیم ۲ میلـی‌مـولار و کمتـرین میـزان قطـر سـاقه مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار خشـکی ۵۵ درصـد FC و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم بود (جدول ۳).

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترنانترا

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	طول ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
ژنوتیپ	۱	۴۲۴۳/۷۹ **	۱۵/۲۶ **	۱۰۷۶/۰۴ **	۴۱۴۱/۳۶ **	۲۸۰/۸۸ **	۳۹۸/۹۷ **	۴۲/۴۸ **
خشکی	۲	۱۱۶۲/۳۴ **	۱۲/۱۱ **	۲۶/۸۳ **	۱۰۴۲/۷۴ **	۷۸/۵۱ **	۱۲۰/۸۵ **	۱۷/۵۵ **
سیلیکات پتاسیم	۲	۳۵۱/۱۲ **	۸/۶۸ **	۷۰۸/۵۰ **	۵۹۹/۳۳ **	۳۷/۸۱ **	۵۸/۹۲ **	۱۲/۹۷ **
ژنوتیپ× خشکی	۲	۷۷/۶۸ **	۰/۷۱ **	۲۸۲۵/۰۰ **	۳۳۲/۶۲ **	۳۱/۳۶ **	۳۹/۲۱ **	۰/۹۳ *
ژنوتیپ×سیلیکات پتاسیم	۲	۱۰/۱۲ **	۰/۲۱ *	۷/۱۰ **	۱۷/۹۵ ns	۰/۴۹ ns	۳/۴۰ **	۰/۰۱ ns
خشکی×سیلیکات پتاسیم	۴	۳/۱۳ ns	۰/۰۳ ns	۳/۷۳ **	۲/۶۸ ns	۰/۴۱ ns	۰/۴۰ ns	۰/۰۶ ns
ژنوتیپ×خشکی×سیلیکات پتاسیم	۴	۶/۹۷ **	۰/۰۲ ns	۸/۸۱ **	۵/۲۵ ns	۰/۵۶ ns	۰/۶۹ ns	۰/۰۸ ns
خطا	۹۰	۱/۵۲	۰/۰۵	۰/۸۱	۵/۸۲	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۲۹
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۴	۹/۵۰	۵/۱۲	۱۰/۳۳	۱۱/۲۰	۹/۶۳	۱۹/۶۰

*، ** و ns به‌ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱درصد و عدم معنادار

www.SID.ir

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترناترا

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	نشت الکترولیت	محتوای نسبی آب برگ	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین
ژنوتیپ	۱	۳۵/۸۵ **	۱۰۸۴/۳۹ **	۳۸۰/۸ **	۰/۰۰۰۰۱۷ **	۰/۰۰۰۰۱۰ **	۰/۰۰۰۰۵۳ **	۰/۰۰۰۰۰ **
خشکی	۲	۱۵۰/۷۱ **	۴۳۴۹/۴۳ **	۲۱۰۲۶/۲ **	۰/۰۰۰۰۲۰ **	۰/۰۰۰۰۱۸ **	۰/۰۰۰۰۷۷ **	۰/۰۰۰۰۰ **
سیلیکات پتاسیم	۲	۵۸/۹۹ **	۱۲۵۳/۲۳ **	۱۶۱۲/۷ **	۰/۰۰۰۰۱۲ **	۰/۰۰۰۰۰۶ **	۰/۰۰۰۰۳۴ **	۰/۰۰۰۰۰ **
ژنوتیپ× خشکی	۲	۱۱/۶۷ **	۳۰/۶۸ **	۲۱۵/۵ **	۰/۰۰۰۰۰۰ *	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰ **
ژنوتیپ×سیلیکات پتاسیم	۲	۳/۹۹ **	۱/۴۳ **	۳۶/۶ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰ **
خشکی×سیلیکات پتاسیم	۴	۴/۶۸ **	۲۶/۱۸ **	۶۰/۹ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰ **
ژنوتیپ×خشکی×سیلیکات پتاسیم	۴	۱/۴۶ **	۹/۱۳ **	۴/۷ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰ **	۰/۰۰۰۰۰۰۱ **	۰/۰۰۰۰۰ **
خطا	۹۰	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۸	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۷۹	۰/۳۷	۲/۴۸	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۷	۱/۷۱	۱/۸۸

*، ** و ns به‌ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱درصد و عدم معنادار

www.SID.ir

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل ژنوتیپ، خشکی و سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی آلترنانترا ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف»

ژنوتیپ	خشکی (FC)	سیلیکات پتاسیم (mM)	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر ریشه (g)	قطر ساقه (cm)	طول ریشه (cm)
		۰	۲۸/۸۹ cd	۷/۶۰ cd	۳/۴۳ bcde	۹/۷۹ cd	fg۲/۱۰	۲۵/۲۶d
	۹۰	۱	۳۰/۶۲ c	۸/۲۳ c	۳/۸۳ bc	۱۰/۰۸ bc	۲/۵۳ de	b ۳۰/۳۶
		۲	۳۶/۲۳ a	۹/۵۰ a	۴/۶۵ a	۱۱/۶۲ a	۳/۵ c	a ۳۶/۰۸
		۰	۲۷/۳۷ de	۷/۳۷ de	۲/۸۷ efg	۸/۹۶ de	۱/۶۸ h	۱۶/۵۱ i
برگ موجی	۷۵	۱	۳۰/۵۰ c	۸/۲۳ c	۳/۲۷ cde	۹/۸۱ cd	۲/۲۰ fg	۲۱/۳۰ g
		۲	۳۳/۵۲ ab	۹/۰۶ ab	۳/۹۶ b	۱۰/۸۵ ab	۲/۵۰ de	۲۳/۷۱ e
		۰	۲۳/۲۳ f	۶/۲۷ f	۲/۲۷ ghi	۷/۸۳ f	۱/۳۰ i	۶/۱۱ o
	۵۵	۱	۲۴/۸۳ ef	۶/۶۹ ef	۲/۹۶ def	۸/۲۵ ef	۱/۷۰ h	۱۲/۲۶ l
		۲	۳۰/۵۴ c	۸/۱۹ c	۳/۴۸ bcde	۱۰/۰۴ bc	۱۲/۰۱ g	۱۵/۲۶ i
		۰	۲۲/۰۸ fg	۶/۶۲ ef	۲/۶۰ fgh	۷/۶۴ f	۳/۰۱ c	۳/۷۳ p
	۹۰	۱	۲۶/۳۱ de	۷/۱۰ de	۲/۹۸def	de ۹	۳/۵۰ b	۵/۴۵ o
		۲	۳۱/۱۰ bc	۸/۳۵ bc	۳/۵۶ bcd	۱۰/۵۶ bc	۴/۰۶ a	۱۰/۶۰ m
		۰	۸/۲۳ j	۲/۱۹ ij	۱/۴۶ jk	۲/۸۵ ij	۲/۳۳ ef	۹/۰۸ n
برگ صاف	۷۵	۱	۱۳/۹۶ h	۳/۷۹ h	۱/۹۶ ij	۴/۷۷ h	۳/۰۶ c	۱۴/۱۱ j
		۲	۱۹/۳۷ g	۵/۱۹ g	۲/۸۷ efg	۶/۷۷ g	۳/۵۵ b	۱۹/۰۸ h
		۰	۷/۱۴ j	۱/۹۵ j	۰/۷۱ l	۲/۴۴ j	۱/۵ hi	۱۸/۲۰ f
	۵۵	۱	۱۱/۱۵ i	۲/۹۵ i	۱/۲۹ kl	۳/۷۱ i	۲/۱۸ fg	۲۲/۴۱ f
		۲	۱۴/۹۴ h	۳/۹۶ h	hij ۲	۴/۹۲ h	۲/۶۳ d	۲۷/۴۰ c

میانگین‌ها با حروف مشترک، از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD تفاوت معناداری ندارند.

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد (جدول ۳) طول ریشه، تحت تأثیر همزمان تنش اعمال شده و سیلیکات پتاسیم قرار گرفت. تنش خشکی سطح ۵۵ درصد FC نسبت به تنش خشکی سطح ۹۰ درصد FC، باعث کاهش میزان طول ریشه تا ۹ درصد شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم در سطوح بالای خشکی باعث افزایش میزان طول ریشه شد. اعمال سیلیکات پتاسیم ۲میلی‌مولار باعث افزایش میزان طول ریشه تا ۶۷/۴ درصد نسبت به عدم مصرف سیلیکات پتاسیم شد. بیشترین میزان طول ریشه مربوط به تیمار خشکی ۹۰ درصد FC و سیلیکات پتاسیم ۲میلی‌مولار در ژنوتیپ «برگ موجی» و کمترین میزان طول ریشه مربوط به تیمار خشکی ۵۵ درصد FC و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم در ژنوتیپ «برگ صاف» تعلق گرفت (جدول ۳).

Archive of SID
www.SID.ir

۲.۳. ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اکثر فاکتورهای مطالعه شده و آثار متقابل ژنوتیپ و خشکی تأثیر معناداری($p<۰/۰۱$) بر ویژگی‌های رویشی (وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه) داشت. در حالی‌که آثار متقابل ژنوتیپ و سیلیکات پتاسیم فقط بر پارامتر وزن تر ریشهٔ معنادار ($p<۰/۰۵$) بود، و تمامی آثار سه گانه تأثیر معناداری بر هیچ کدام از پارامترهای رویشی نداشت. همچنین تمامی فاکتورهای مطالعه‌شده تأثیر معناداری ($p<۰/۰۱$) بر دو ویژگی محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت‌ها داشتند.

در این مطالعه با افزایش تنش خشکی وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه کاهش یافت. این روند در هر دو ژنوتیپ مشابه بود (جدول ۳). نتایج مقایسهٔ میانگین اثر فاکتورهای مطالعه شده نشان داد که در هر دو ژنوتیپ کاربرد سیلیکات پتاسیم توانسته است موجب افزایش ویژگی‌های رویشی مورد مطالعه شود (نتایج آورده نشده) به گونه‌ای که در مقایسه بین سطوح صفر و ۲ میلی‌مولار، سیلیکات پتاسیم در هر سه شرایط آبیاری باعث افزایش وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه با درصدهای متفاوت شد. در این پژوهش بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه مربوط به تیمار شاهد و سیلیکات پتاسیم ۲میلی‌مولار در رقم «برگ موجی» و کمترین مقادیر این صفات در تنش خشکی ۵۵ درصد FC و سیلیکات پتاسیم صفر میلی مولار رقم «برگ صاف» مشاهده شد (جدول ۳).

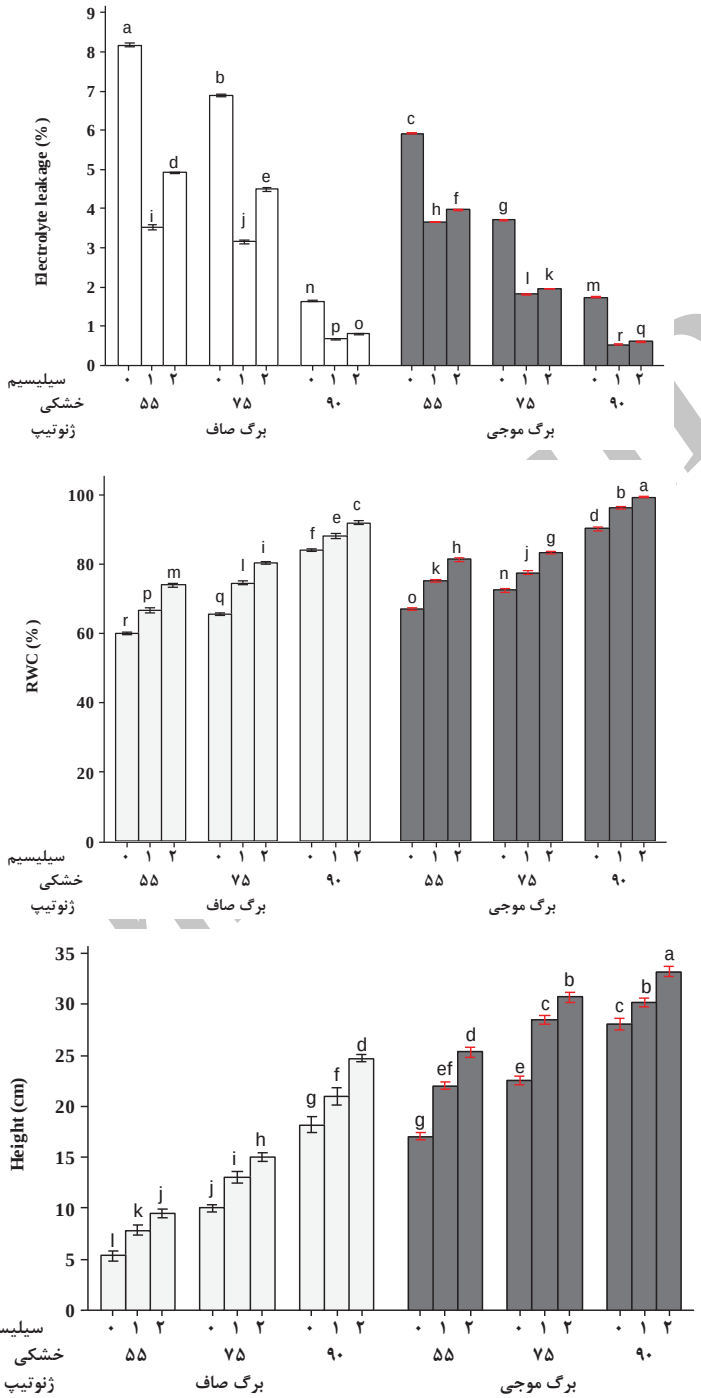
نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر همزمان تنش اعمال شده و سیلیکات پتاسیم قرار گرفته است، اگرچه محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ «برگ موجی» از «برگ صاف» بیشتر بود. بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار شاهد و سیلیکات پتاسیم ۲میلی‌مولار و کمترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار خشکی ۵۵ درصد FC و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم تعلق گرفت (شکل ۱).

نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد که اعمال تیمار تنش خشکی ۵۵ درصد FC باعث افزایش نشت الکترولیت معادل ۵ برابر در مقایسه با تیمار خشکی شاهد شد اگرچه مقدار نشت الکترولیتی در ژنوتیپ «برگ صاف» از ژنوتیپ «برگ موجی» بیشتر است (شکل ۱). اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم باعث کاهش نشت الکترولیت شد. به گونه‌ای که در تیمار سیلیکات پتاسیم ۱میلی‌مولار توانست باعث کاهش نشت الکترولیت معادل ۶۷/۹ درصد نسبت به تیمار سیلیکات پتاسیم صفر میلی‌مولار شود. بیشترین نشت الکترولیت مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار شاهد و سیلیکات پتاسیم صفر میلی‌مولار و کمترین نشت الکترولیت مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار خشکی ۹۰ درصد FC و سیلیکات پتاسیم ۱میلی‌مولار تعلق گرفت (شکل ۱).

۲.۴. ویژگی‌های بیوشیمیایی

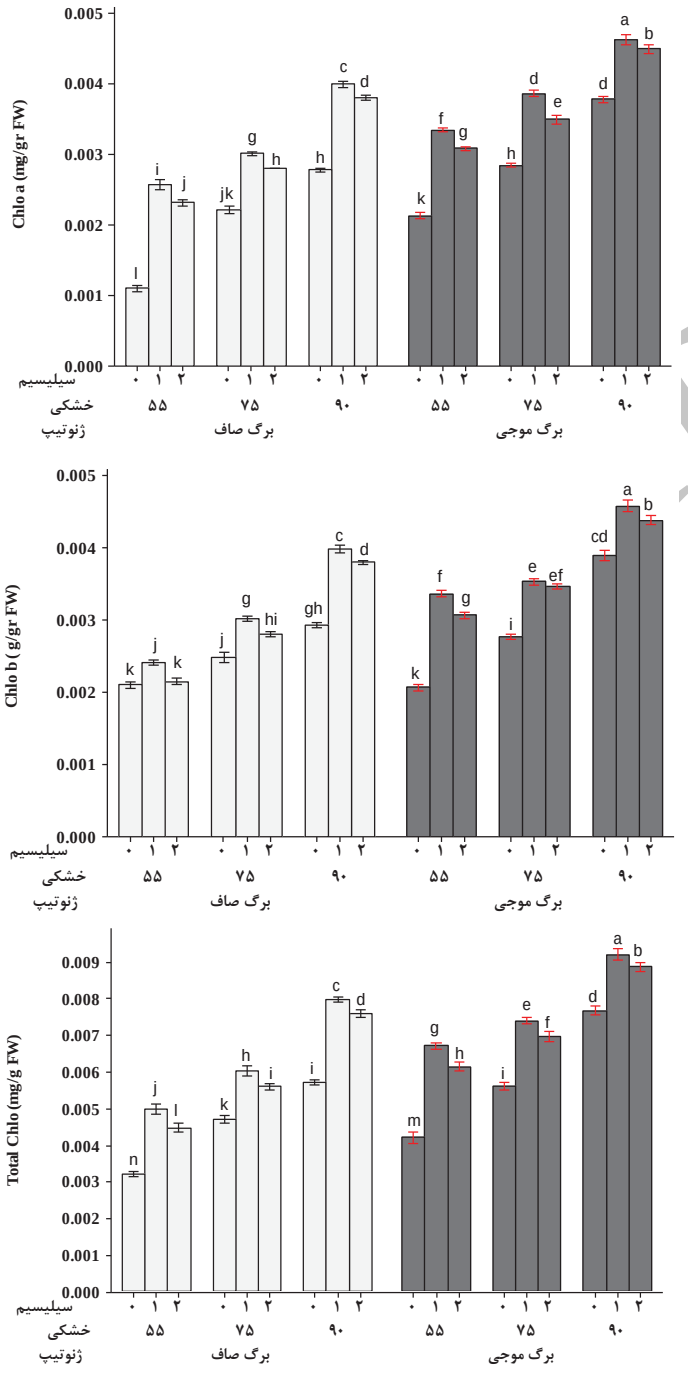
نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تمامی فاکتورهای مورد مطالعه و آثار متقابل آن‌ها تأثیر معناداری ($p<۰/۰۱$) بر ویژگی‌های بیوشیمیایی (پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و آنتوسیانین) داشت. نتایج مقایسهٔ میانگین این مطالعه نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل a ، b و کل شد. اگرچه مقدار کاهش در ژنوتیپ «برگ موجی» از ژنوتیپ «برگ صاف» کمتر بوده است. (شکل ۲). در این بررسی اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم باعث افزایش میزان کلروفیل a، b و کل شد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. اثر متقابل ژنوتیپ، خشکی و سیلیکات پتاسیم بر محتوای آب نسبی(RWC)، ارتفاع و نشت الکترولیتی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترنانترا. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، دارای اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند. میله‌های بالای شکل‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد (SE) است.

www.SID.ir

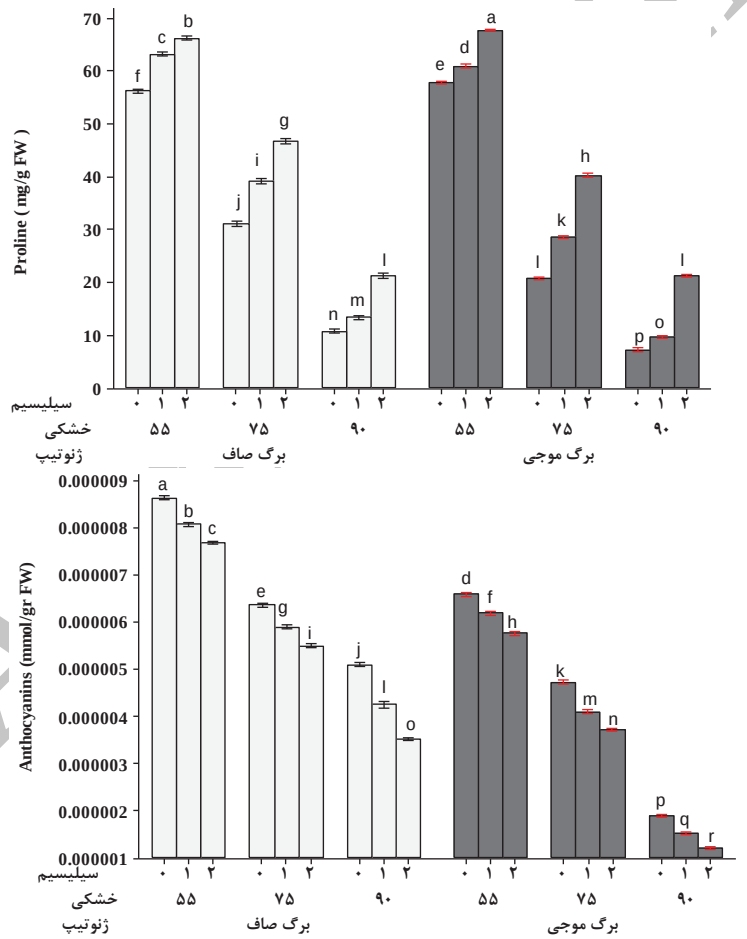


شکل ۲. اثر متقابل ژنوتیپ، خشکی و سیلیکات پتاسیم بر میزان کلروفیل a، b و کل «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترنانترا. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک دارای اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵درصد بر اساس آزمون LSD نیستند. میله‌های بالای شکل‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد (SE) است.

www.SID.ir

نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار تنش خشکی شاهد و سیلیکات پتاسیم ۱میلی‌مولار و کمترین میزان کلروفیل a مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار ۵۵ درصد FC تنش خشکی و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم بود (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به‌طورکلی مقدار پرولین در ژنوتیپ‌های آلترنانترا مورد مطالعه تحت تأثیر هم‌زمان تنش اعمال شده و سیلیکات پتاسیم قرار گرفته است. نتایج نشان داد تیمار تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین شد و اعمال تیمار خشکی ۵۵ درصد FC در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش ۳/۴ برابری میزان پرولین شد (شکل ۳). بیشترین میزان پرولین مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار ۵۵ درصد FC تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم دو میلی‌مولار و کمترین میزان پرولین مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار خشکی شاهد و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم تعلق گرفت (شکل ۳).



شکل ۳. اثر متقابل ژنوتیپ، خشکی و سیلیکات پتاسیم بر پرولین و آنتوسیانین ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترنانترا. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک دارای اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵درصد براساس آزمون LSD نیستند. میله‌های بالای شکل‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد (SE) است.

www.SID.ir

نتـایج مقایسـهٔ میـانگین آثـار سـه گانـه نشـان داد کـه به‌طورکلی آنتوسیانین تحت تأثیر همزمان تنش اعمال شـده و سیلیکات پتاسـیم قـرار گرفتـه اسـت. تـنش خشـکی باعـث افزایش میزان آنتوسیانین شد، به‌گونه‌ای که اعمال تیمار تـنش خشکی ۵۵ درصد FC در مقایسـه بـا تیمـار خشـکی شـاهد باعث افزایش ۱/۴ برابری میزان آنتوسـیانین شـد (شـکل ۳). اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم باعث کاهش میزان آنتوسـیانین شد، به‌گونه‌ای که اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم ۲میلـی‌مـولار در مقایسه با تیمار سیلیکات پتاسیم صفر میلـی‌مـولار باعـث کاهش میزان آنتوسیانین به میزان ۱۷/۸ درصد شد (شکل ۴). نتایج مقایسـهٔ میـانگین داده‌هـا نشـان داد کـه آنتوسـیانین در ژنوتیپ «برگ صاف» از ژنوتیپ «برگ موجی» بیشتر است با این وجود بیشترین میزان آنتوسیانین مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار تـنش خشـکی ۵۵ درصـد FC و سـیلیکات پتاسیم صفر میلی‌مولار و کمترین میزان آنتوسیانین مربوط بـه ژنوتیـپ «بـرگ مـوجی» در تیمـار شـاهد تـنش خشـکی و سیلیکات پتاسیم ۲میلی‌مولار بود (شکل ۳).

تنش خشکی نظیر سایر تنش‌های محیطی، از رشد گیاه ممانعت می‌کند. رشد کمتر، ویژگی ای سازشی بـرای زنـده ماندن گیاه تحت شرایط تنش است. بـه‌گونـه‌ای کـه میـزان تحمل به خشکی بـه‌صـورت معکـوس بـا میـزان رشـد در ارتباط است. یک دلیل کاهش میزان رشد در شرایط تـنش، فتوسنتز ناکافی در نتیجـهٔ بسـته بـودن روزنـه‌هـا و جـذب محدود دی‌اکسیدکربن است [۱۸].

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد کـه سـطوح مختلف تنش خشکی بر ارتفاع، قطر و طول ریشه، وزن تـر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه گیـاه تـأثیر معناداری داشت. به‌گونه‌ای که سطوح بالاتر تـنش خشـکی سبب کاهش ایـن صـفات رشـدی در گیـاه آلترنـانترا شـد. کاهش صفات رشدی ممکن است نتیجـهٔ کـاهش سـرعت فتوسنتز تحت تنش خشکی باشد که می‌تواند به بسته‌شـدن روزنه‌ها با کاهش سطح برگ در پاسـخ بـه تـنش خشـکی نسبت داده شود. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج انجـام شده در گیاه نخود [۱۷]، یونجه [۷] و گوجـه فرنگـی [۱۹] مطابقت داشت.

با اینکه تنش خشکی آثار مضـری بـر صـفات رشـدی داشت، کاربرد سطوح بالای سیلیکات پتاسیم در این تحقیق سبب افـزایش ارتفـاع، قطـر سـاقه و طـول ریشـه و سـایر صفات رشدی گیاه آلترنانترا شد. در آزمایشی که بر دو رقم گندم تحت تنش خشکی انجام شد، نشان داده شـد کـه در مقایسه با گیاهانی که تنها تحت تیمار خشکی بودند، تیمـار سیلیکون باعـث افـزایش در محتـوای کلروفیـل a، b، کـل، پرولین و گلایسین بتائین شد. آن‌ها با اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدان گزارش کردند که نقش سـیلیکون در افـزایش تحمل بـه خشـکی در گنـدم بـه‌دلیـل افـزایش در فعالیـت آنزیم‌های ضـد اکسندهاسـت، زیـرا ایـن گونـه‌هـای فعـال اکسیژن باعث خسارات اکسیداتیو می‌شوند [۱].

گزارش‌ها نشان می‌دهد کـه آسـیب بـه غشـاء گیاهـان تحت تنش خشکی، با افزایش در میـزان تولیـد گونـه‌هـای فعال اکسیژن مرتبط است. بنابراین ثبات غشاءهای زیسـتی دال بر مقاومت به تنش خشکی است. تجمع رادیکـال‌هـای آزاد تحت تنش خشکی باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانـه در غشـاء پلاسـمایی می‌شود [۲۷]. در ایـن مطالعـه سـیلیکات پتاسـیم توانسـت نشت الکترولیت‌ها را کاهش دهد. در این زمینـه سـیلیکات پتاسیم با مهار گونه‌های فعال اکسیژن مانع تخریب غشـاء و کاهش نشت یونی می‌شـود [۲۱]. از جهـت دیگـر کـاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افـزایش محتـوای نسـبی آب بـرگ شـد. بـه نظـر مـی‌رسـد سـیلیکات پتاسـیم در تولیـد اسمولیت‌های سازگار ماننـد پـرولین مـؤثر باشـد و از ایـن طریق با افزایش اسمولیت‌های سازگار و در نتیجـه کـاهش پتانسیل آب، جذب آب در گیاه را تحت تنش بـالا بـرده و

Archive of SID
www.SID.ir

در نتیجه محتوای نسبی آب برگ افزایش می‌یابد. در مطالعه ای که در درخت پسته تحت تنش خشکی انجام شد، نتایج نشان داد کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ پسته شد که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد [۱۲].

بررسی ها نشان می‌دهد که محتوای کلروفیل گیاهان تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند. به این ترتیب برگ‌ها در اثر خشکی، نخست کلروز یافته و سپس شروع به ریزش می‌کنند. در واقع تنش خشکی به افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در کلروپلاست‌ها انجامیده و در نتیجه غشاء کلروپلاستی صدمه دیده و قابلیت حیاتی خود را از دست می‌دهد [۱۴]. در این مطالعه از آنجا که در شرایط تنش هنوز گیاه به رشد خود ادامه داده است، به نظر می‌رسد سیلیکات پتاسیم توانسته است از فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش خشکی جلوگیری کند و به دنبال آن از تخریب غشاء کلروپلاستی در گیاه آلترنانترا جلوگیری کرده و محتوای کلروفیلی گیاه را حفظ کند.

آنتوسیانین‌ها رنگیزهٔ محافظ بوده که گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کنند [۸]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شرایط مختلفی از جمله تنش خشکی می‌تواند موجب القای تجمع آنتوسیانین‌ها شود. این افزایش به علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به وسیلهٔ حذف مستقیم ROS ها در طول تنش اکسیداتیو است [۱۳]. مطالعات مختلف نشان داده است که الزاماً ارتباطی بین مقدار آنتوسیانین و مقاومت به تنش خشکی وجود ندارد اگرچه در بعضی از موارد نیز این ارتباط مشاهده شده است. در این مطالعه ژنوتیپ برگ موجی که ژنوتیپ مقاوم‌تری بوده است، آنتوسیانین کمتری داشته است، از این رو نتایج این مطالعه نیز نشان داد که ارتباطی بین مقدار تحمل به تنش خشکی و میزان آنتوسیانین وجود ندارد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تنش خشکی آثار مخرب خود را از طریق کاهش مقدار رنگدانه های گیاهی، طول، قطر، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ و افزایش شدید نشت الکترولیت‌ها بروز می دهد. این تغییرات می‌تواند با ادامهٔ تنش، به نابودی کامل گیاه منجر شود. اما کاربرد برون زای سیلیکات پتاسیم می تواند حتی در تنش بالای خشکی، با حفظ مکانیسم‌هایی از جمله حفظ یکپارچگی غشاء و افزایش اسمولیت‌های سازگار و در نتیجه کاهش پتانسیل آب، به بقای بیشتر گیاه منجر شود. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد ارقام مختلف آلترنانترا مقاومت‌های متفاوتی به تنش خشکی دارند. در این مطالعه ژنوتیپ «برگ موجی» نسبت به «برگ صاف» مقاوم تر بود. بنابراین، در مناطقی که آب کمتری در دسترس باشد، می‌توان آن را کشت کرد.

منابع

۱. طالع احمد س و حداد ر (۱۳۸۹) اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضداکسنده و محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. مجلهٔ به زراعی نهال و بذر. ۲-۲۶(۲): ۲۰۵-۲۲۷.

۲. طباطبایی ج فاطمی ل و فلاحی ا (۱۳۸۸) اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. مجلهٔ علوم باغبانی. ۲۳(۱): ۸۸-۹۵.

۳. قاسمی قهساره م و کافی م (۱۳۹۰) گل کاری علمی و عملی. جلد اول. اصفهان. ص ۳۱۰.

4. Abbasi GH, Akhtar J, Ahmad R, Jamil M, Anwar-ul-Haq M, Ali S and Ijaz M (2015) Potassium application mitigates salt stress differentially at different growth stages in tolerant and sensitive maize hybrids. Plant Growth Regulation, 76(1): 111-125.

Archive of SID
www.SID.ir

5. Balakhnina T and Borkowska A (2013) Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. International Agrophysics. 27(2): 225-232.

6. Bates LS, Waldren RP and Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil. 39(1): 205-207.

7. Boldaji SH, Khavari-Nejad RA, Sajedi RH, Fahimi H and Saadatmand S (2012) Water availability effects on antioxidant enzyme activities, lipid peroxidation, and reducing sugar contents of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Acta Physiologiae Plantarum. 34(3): 1177-1186.

8. Chalker-Scott L (2002) Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? Advances in Botanical Research. 37: 103-127.

9. Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Science 91: 11-17.

10. Fang Y and Xiong L (2015) General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. Cellular and molecular life sciences. 72(4): 673-689.

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

12. Habibi G and Hajiboland R (2013) Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (*Pistacia vera* L.) plants. Folia Horticulturae. 25(1): 21-29.

13. Hatier JB and Gould KS (2008) Foliar anthocyanins as modulators of stress signals. Journal of Theoretical Biology. 253: 625–627.

14. Jaleel CA, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Somasundaram R and Panneerselvam R (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. Int. J. Agric. Biol. 11: 100–105.

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

16. Ma JF and Takahashi E (2002) Soil Fertilizer and plant silicon research in japan. Elsevier. The Netherlands, 281p.

17. Mafakheri A, Siosemardeh A, Bahramnejad B, Struik PC and Sohrabi Y (2011) Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. Australian Journal of Crop Science. 5(10): 1255-1260.

18. McKersie BD and Lesheim Y (2013) Stress and stress coping in cultivated plants. Springer Science & Business Media.

19. Nankishore A and Farrell AD (2016) The response of contrasting tomato genotypes to combined heat and drought stress. Journal of Plant Physiology. 202: 75-82.

20. Nikpay A and Nejadian ES (2014) Field applications of silicon-based fertilizers against sugarcane yellow mite *Oligonychus sacchari*. Sugar Tech. 16(3): 319-324

21. Ouzounidou G, Giannakoula A, Ilias I and Zamanidis P (2016) Alleviation of drought and salinity stresses on growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus* L. cultivars by Si application. Brazilian Journal of Botany. 39(2): 531-539.

22. Rabbani M and Kazemi F (2015) Investigating strategies for optimum water usage in green spaces covered with lawn. Desert. 20(2): 217-230.

23. Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekanandan M

Archive of SID
www.SID.ir

(2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161(11): 1189-1202.

24. Ritchie SW, Nguyen HT and Holaday AS (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science. 30(1): 105-111.

25. Soylemezoglu G, Demir K, Inal A and Gunes A (2009) Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) rootstocks grown in boron toxic, saline and boron toxic-saline soil. Scientia Horticulturae. 123(2): 240-246.

26. Wagner GJ (1979) Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. Plant Physiology. 64(1): 88-93.

27. Wen X, Gu C, Zhu D, Liu P, Lai Y and Zeng Q (2017) Water stress effects on cell membrane lipid oxidation and calcification of chestnut (*Castanea mollissima* Bl.). Postharvest Biology and Technology. 126: 34-39.

28. Zhao Y, Aspinall D and Paleg LG (1992) Protection of membrane integrity in *Medicago sativa* L. by glycinebetaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology. 140(5): 541-54.

Archive of SID

www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 20 ■ No. 1 ■ Spring 2018

Effect of foliar application of potassium silicate on some morphological, physiological and biochemical characteristics of *Alternanthera repens* L. under drought stress

Bijan Mehregan[1], *Sadegh Mousavi–Fard*[2*], *Abdolhossein Rezaei Nejad*[3]

1. Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Korramabad, Iran
2. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Korramabad, Iran
3. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Received: February 24, 2017 **Accepted: May 13, 2017**

Abstract

The present study aimed to investigate the effect of silicon (Si) on alleviation of the drought-reverse effects in two *Althernanthera* genotypes "Entire leaf" and "Undulated leaf". Pot experiment, consists of equal parts of soil, sand and manure, was carried out as factorial based on a completely randomized design with six replications. After plants establishment, 0, 1 and 2 mM of silicon were weekly sprayed on plants grown under drought stress conditions (90% field capacity (FC), 75 and 55 percent FC). Si treatment started one week before the beginning of drought stress. Samples were taken after 12 weeks of treatment. The analysis of variation showed that increasing drought stress significantly affected all morphological (plant height, stem diameter and root length), physiological (fresh and dry weight of stem and root, relative water content, electrolyte leakage) and biochemical (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, proline and anthocyanin) characteristics. Whereas, silicon application (especially with 2 mM concentration) alleviated the stress effects and improved growth parameters. Electrolyte leakage as an indicator of cell membrane integrity was decreased by application of silicon. Results of this study showed that different varieties have the variable resistance to stress. In this study, "Undulated leaf" genotype was more resistant compared to "Entire leaf". So, it can be cultivated in gardens in areas where the water scarcity is prevalent.

Keywords: anthocyanin, electrolyte leakage, potassium silicate, proline, undulated leaf genotype.

Corresponding Author: mousavifard.s@lu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir