



به‌زرعی کشاورزی

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

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، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۶

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 تجزیه واریانس نشان داد افزایش خشکی به‌طور معناداری بر تمامی صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، قطر ساقه و قطر ریشه)، ریشی 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 حالی که کاربرد سیلیسیم آثار تنش را تعدیل کرد، به‌طوری‌که در همه 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 مطالعه حاضر نشان داد دو ژنوتیپ مطالعه شده 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.

۱. مقدمه

به وسیله تعرق کوتیکولی محافظت و تحمل گیاه در برابر تنش های خشکی و شوری افزایش می یابد [۲]. سیلیکون در بافت گیاهی سبب افزایش غلظت نیتروژن و پتاسیم می شود، این افزایش غلظت، ممکن است از طریق فعال سازی پمپ پروتونی H-ATPase انجام شود. این ماده با کاهش در میزان کاربرد علف کش ها و مواد سمی، مانع از آلودگی محیط زیست می شود [۹ و ۲۰]. گزارش شده است که سیلیکون باعث افزایش رشد گیاهان، کاهش حساسیت به عوامل بیماری زای قارچی و افزایش تحمل گیاهان در شرایط تنش های غیرزیستی گشته است. این ماده در بسیاری از موارد با تحریک رشد و افزایش در فعالیت آنزیم های ضد اکسنده، موجب حفاظت گیاه در برابر تنش های محیطی می شود [۵].

کاشت گیاهان حاشیه ای در فضاهای شهری با توجه به نقش این گیاهان در کاهش آلودگی ها و بهبود مناظر شهری بسیار ضروری است، ولی امروزه با کاهش میزان آب در دسترس که حاصل کاهش بارندگی ها و تغییر اقلیم است، این امر را دچار مشکل کرده است. با توجه به نقش های مختلف سیلیسیم در گیاهان از جمله نقش این عنصر در کاهش تنش خشکی، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کاربرد سیلیسیم در کاهش آثار سوء تنش خشکی در دو رقم گیاه پوششی آلترناترا انجام شد.

۲. مواد و روش ها

این پژوهش روی دو ژنوتیپ «برگ موجی» و «برگ صاف» گیاه آلترناترا در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۱۴۸ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۴ انجام شد. نخست گیاهان از طریق تقسیم بوته تکثیر شد و سپس از طریق قلمه از گیاه مادری در خزانه تکثیر و در

آلترناترا (*Alternanthera repens* L.) گیاهی پوششی، از خانواده تاج خروس^۱ بوده که سال هاست در ایران کشت و کار می شود و کشت آن در حاشیه های گل کاری کشور رایج است. همچنین در مناطق گرمسیری به صورت چند ساله و در مناطق سرد به صورت یکساله کشت و کار می شود [۳].

خشکی، از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان اعم از زراعی و غیرزراعی است. امروزه، کاهش میزان نزولات و در نتیجه مقدار آب در دسترس، بر رشد و توسعه فضای سبز شهرها تأثیر بسیار گذاشته اند [۲۲]. تنش خشکی باعث آسیب به غشاء و سیستم فتوسنتزی می شود و فرآیند فتوسنتز را از طریق بسته شدن روزنه ها و در نتیجه نرسیدن دی اکسید کربن به کلروپلاست ها تحت تأثیر قرار می دهد [۲۳]. از آنجایی که وجود فشار تورژسانس بالای سلولی برای انجام فعالیت های مهم فیزیولوژیکی، از جمله رشد سلول ها و حرکات روزنه ای ضروری است، گیاهان با استفاده از مکانیسم های متفاوتی همچون تنظیم اسمزی، فشار تورژسانس سلول های خود را بالا نگه می دارند [۱۰]. سیلیسیم بعد از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در خاک است. در بافت ریشه تمامی گیاهان در خاک، مقداری سیلیکون وجود دارد. مطالعات متعدد نشان داده است که این عنصر آثار مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد [۱۶]. با این حال نقش سیلیکون در رشد و توسعه گیاهان به خوبی مطالعه شده است [۱۱]. سیلیسیم توسط گیاه به صورت باردار $Si(OH)_4$ جذب و در نهایت به صورت رسوب حل نشدنی (سیلیسیک اسید) در گیاه تجمع می یابد. بیشتر منابع سیلیسیم در خاک به صورت نامحلول هستند و با ترکیبی که توسط گیاه جذب می شوند، متفاوت هستند [۲۵]. سیلیسیم استحکام دیواره سلول های اپیدرمی را افزایش می دهد. در نتیجه گیاه در برابر از دست رفتن آب

1. Amaranthaceae

تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانتر

(Alternanthera repens L.) تحت تنش خشکی

به اندازه ۱-۲ سانتی متر (وزن تازه بافت برگ ۰/۸-۰/۵ گرم) جدا کرده و در فالکن های حاوی ۲۰ میلی متر آب مقطر قرار گرفتند. پس از ۳۰ ثانیه ورتکس نمونه‌ها، EC هر نمونه، اندازه‌گیری شد (EC0). نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری و سپس EC آن‌ها اندازه‌گیری شد (EC1). پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و بعد از خنک شدن در دمای اتاق EC آن‌ها برای سومین بار اندازه‌گیری شد (EC2). نشست الکترولیت از رابطه (۲) به دست آمد.

(۲)

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

نظر به اینکه آلترنانتر گیاهی پوششی است با استفاده از کادر ۱۰×۱۰ سانتی متری 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 به وسیله ترازوی دیجیتال، به دقت اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها و در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شده و وزن خشک نیز اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از عصاره تهیه شده به کمک اسید سولفوسالسیلیک 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 وزن تر اعلام شد. مقدار پرولین از رابطه (۳) حاصل شد

(۳)

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

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

گلدان‌های با قطر ۲۵ سانتی متر 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 به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار اجرا شد. آزمایش شامل سه سطح سیلیکات پتاسیم با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱ و ۲ میلی مولار و سه سطح آبیاری، ۹۰، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (FC) در شرایط محیط باز انجام شد. روش کاربرد سیلیکات پتاسیم به صورت محلول پاشی 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 نمونه برداری انجام شد [۴].

در این مطالعه ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع گیاه و طول ریشه به وسیله خط‌کش و قطر ساقه از میانگین دوم با کولیس دیجیتالی Mitutoyo ژاپن اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب طبق روش زیر اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از برگ‌های جوان توسعه یافته نمونه برداری، و وزن تر (FW) ثبت شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفته و پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع (SW) برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آن قرار گرفته و وزن خشک (DW) هر کدام اندازه‌گیری شد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دیجیتالی در رابطه (۱) میزان RWC به درصد محاسبه شد [۲۴].

(۱)

$$\text{RWC} = \frac{[(\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})] \times 100}{100}$$

نشست الکترولیت^۱ با استفاده از روش ژائو و همکاران [۲۸] اندازه‌گیری شد. برای این منظور قطعات برگ را

1. Electrolyte leakage

بزرگ‌کشاورزی

۳. نتایج و بحث

۱.۳. ویژگی‌های مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اکثر فاکتورهای مطالعه شده و آثار متقابل آن‌ها تأثیر معناداری ($p < 0.05$) بر ویژگی‌های مورفولوژیکی مطالعه شده (ارتفاع گیاه، قطر ساقه و طول ریشه) داشت.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارتفاع ژنوتیپ «برگ موجی» از «برگ صاف» بیشتر است (شکل ۱) با این وجود ارتفاع گیاه تحت تأثیر هم زمان تنش اعمال شده و سیلیکات پتاسیم قرار گرفته است. در این مطالعه اعمال تنش خشکی سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به سطح ۹۰ درصد FC باعث کاهش ارتفاع گیاه تا ۷۸/۳ درصد شد و کاربرد سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار توانست تا ۳۶/۹ درصد باعث افزایش ارتفاع گیاه نسبت به عدم مصرف سیلیکات پتاسیم شود (شکل ۱). بیشترین میزان ارتفاع گیاه مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار خشکی ۹۰ درصد FC و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار و کمترین ارتفاع گیاه مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار خشکی ۵۵ درصد و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم بود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که قطر ژنوتیپ «برگ صاف» از «برگ موجی» بیشتر است (جدول ۳). در این مطالعه اعمال تنش خشکی سطح ۵۵ درصد FC نسبت به سطح ۹۰ درصد FC باعث کاهش قطر ساقه تا ۶۱/۷ درصد شد و کاربرد سیلیکات پتاسیم دو میلی مولار توانست تا ۴۹/۴ درصد باعث افزایش قطر ساقه نسبت به عدم مصرف سیلیکات پتاسیم شود. در این مطالعه بیشترین میزان قطر ساقه مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار خشکی ۹۰ درصد FC و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی مولار و کمترین میزان قطر ساقه مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار خشکی ۵۵ درصد FC و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم بود (جدول ۳).

آلومینیومی، نمونه در محل تاریک و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا کلروفیل برگ خارج و بافت برگ سفید شد. قرائت میزان جذب (A) در طول موج‌های 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)

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

(۵)

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

$$\text{Total Chl (mg/gr)} = \text{Chla} + \text{Chlb} \quad (۶)$$

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگ از روش واگنر [۲۶] استفاده شد. دیسک‌های برگي تهیه شده از گیاه را در هاون چینی با مقداری متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۹۹:۱) کاملاً سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش سرپیچ دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب رو شناور در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد و میزان آنتوسیانین با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد. در این رابطه A جذب خوانده شده، b عرض کووت، c غلظت محلول و E ضریب خاموشی است که ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد.

(۷)

$$A = Ebc$$

این تحقیق به صورت فاکتوریل با سه فاکتور سطوح تنش خشکی، سیلیکات پتاسیم و نوع ژنوتیپ براساس طرح پایه کاملاً تصادفی با شش تکرار انجام شد و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح ۵ درصد توسط نرم‌افزارهای آماری SAS 9.4 و Minitab 17 انجام شد.

تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانتر
 (Alternanthera repens L.) تحت تنش خشکی

جدول ۱. تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترنانتر

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	۴۲۳۳/۷۹ ⁰⁰	۱۵/۲۶ ⁰⁰	۱۰۷۶/۰۴ ⁰⁰	۴۱۴۱/۳۶ ⁰⁰	۲۸۰/۸۸ ⁰⁰	۳۹۸/۹۷ ⁰⁰	۴۲/۴۸ ⁰⁰
خشکی	۲	۱۱۶۲/۳۴ ⁰⁰	۱۲/۸۱ ⁰⁰	۲۶/۸۳ ⁰⁰	۱۰۴۲/۷۴ ⁰⁰	۷۸/۵۱ ⁰⁰	۱۲۰/۸۵ ⁰⁰	۱۷/۵۵ ⁰⁰
سیلیکات پتاسیم	۲	۳۵۱/۱۲ ⁰⁰	۸/۶۸ ⁰⁰	۷۰/۸۵۰ ⁰⁰	۵۹۹/۳۳ ⁰⁰	۳۷/۸۱ ⁰⁰	۵۸/۹۲ ⁰⁰	۱۲/۹۷ ⁰⁰
ژنوتیپ × خشکی	۲	۷۷/۶۸ ⁰⁰	۰/۷۱ ⁰⁰	۲۸۲۵/۰۰ ⁰⁰	۳۳۲/۶۲ ⁰⁰	۳۱/۳۶ ⁰⁰	۳۹/۲۱ ⁰⁰	۰/۹۳ ⁰⁰
ژنوتیپ × سیلیکات پتاسیم	۲	۱۰/۱۲ ⁰⁰	۰/۲۱ ⁰⁰	۷/۱۰ ⁰⁰	۱۷/۹۵ ^{NS}	۰/۴۹ ^{NS}	۳/۴۰ ⁰⁰	۰/۰۱ ^{NS}
خشکی × سیلیکات پتاسیم	۴	۳/۱۳ ^{NS}	۰/۰۳ ^{NS}	۳/۸۳ ⁰⁰	۲/۶۸ ^{NS}	۰/۴۱ ^{NS}	۰/۴۰ ^{NS}	۰/۰۶ ^{NS}
ژنوتیپ × خشکی × سیلیکات پتاسیم	۴	۶/۹۷ ⁰⁰	۰/۰۲ ^{NS}	۸/۸۱ ⁰⁰	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

NS و ** به ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنادار

جدول ۲. تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» آلترانترا

منابع تغییر	درجه آزادی	نشت الکترولیت	محتوای نسبی آب برگ	پروئین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین
ژنوتیپ	۱	۳۵/۸۵ ^{۰۰}	۱۰۸۲/۳۹ ^{۰۰}	۲۸۰/۸ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۱۷ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۱۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۵۳ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
خشکی	۲	۱۵۰/۸۱ ^{۰۰}	۲۳۴۹/۴۳ ^{۰۰}	۲۱۰۲۶/۲ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۲۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۱۸ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۷۷ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
سیلیکات پتاسیم	۲	۵۸/۹۹ ^{۰۰}	۱۲۵۲/۳۳ ^{۰۰}	۱۶۱۲/۸ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۱۲ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۶ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۳۴ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
ژنوتیپ × خشکی	۲	۱۱/۶۷ ^{۰۰}	۳۰/۶۸ ^{۰۰}	۲۱۵/۵ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
ژنوتیپ × سیلیکات پتاسیم	۲	۳/۹۹ ^{۰۰}	۱/۴۳ ^{۰۰}	۳۶/۶ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
خشکی × سیلیکات پتاسیم	۴	۴/۶۸ ^{۰۰}	۲۶/۸۸ ^{۰۰}	۶۰/۹ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
ژنوتیپ × خشکی × سیلیکات پتاسیم	۴	۱/۴۶ ^{۰۰}	۹/۱۳ ^{۰۰}	۴/۸ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
خطا	۹۰	۰/۰۰۱ ^{۰۰}	۰/۰۰۹ ^{۰۰}	۰/۸ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}	۰/۰۰۰۰۰۰ ^{۰۰}
ضرب تغییرات (درصد)		۰/۸۹	۰/۳۷	۲/۴۸	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۷	۱/۸۱	۱/۸۸

NS و ** و *** به ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنادار

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

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

ژنوتیپ	خشکی	سیلیکات پتاسیم	وزن تر اندام	وزن خشک	وزن خشک	وزن تر	قطر ساقه	طول ریشه
	(FC)	(mM)	هوایی (g)	اندام هوایی (g)	ریشه (g)	ریشه (g)	(cm)	(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.

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 ۲ میلی مولار 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).

نتایج مقایسه 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 ۲ میلی مولار

۲.۳. ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اکثر فاکتورهای مطالعه شده و آثار متقابل ژنوتیپ و خشکی تأثیر معناداری ($p < 0/01$) بر ویژگی‌های رویشی (وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه) داشت. در حالی که آثار متقابل ژنوتیپ و سیلیکات پتاسیم فقط بر پارامتر وزن تر ریشه معنادار ($p < 0/05$) بود، و تمامی آثار سه گانه تأثیر معناداری بر هیچ کدام از پارامترهای رویشی نداشت. همچنین تمامی فاکتورهای مطالعه‌شده تأثیر معناداری ($p < 0/01$) 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 مقایسه 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 ۲ میلی‌مولار در رقم «برگ موجی» و کمترین مقادیر این صفات در تنش خشکی ۵۵ درصد FC و سیلیکات پتاسیم صفر میلی‌مولار رقم «برگ صاف» مشاهده شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه 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

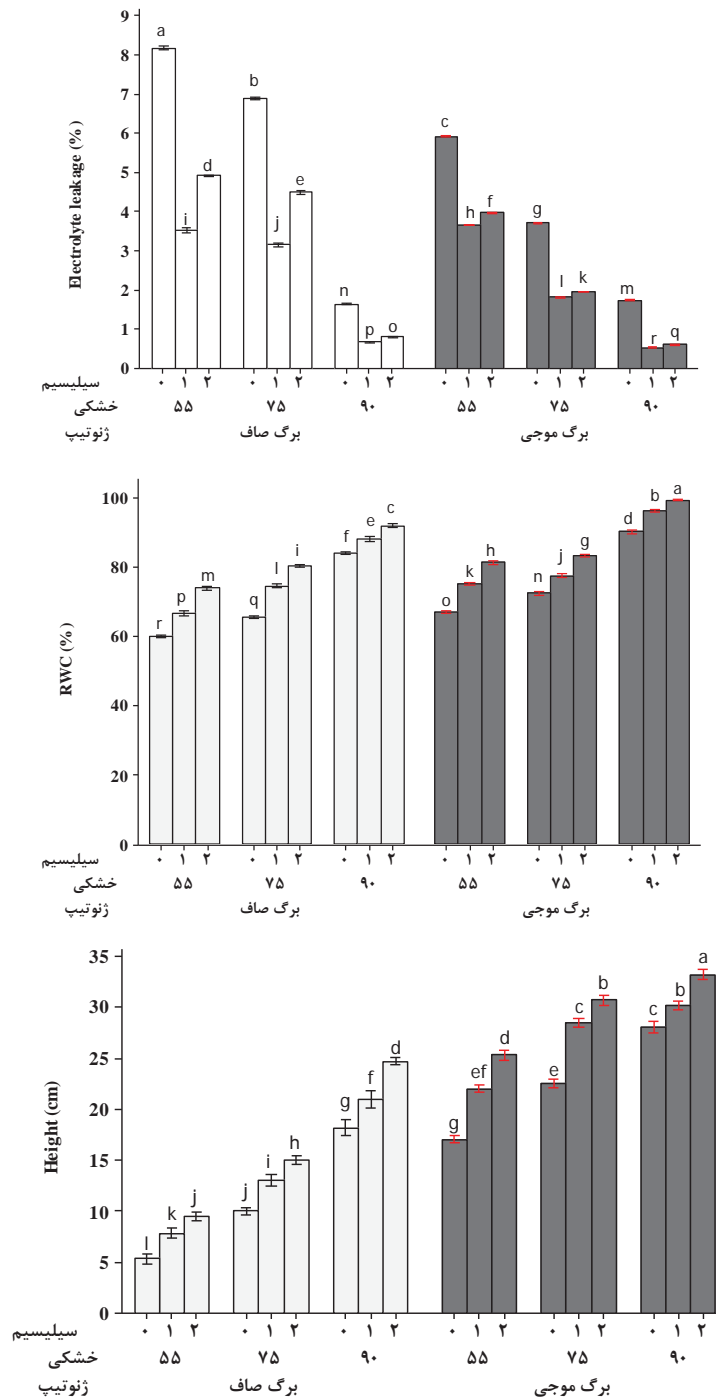
«برگ موجی» از «برگ صاف» بیشتر بود. بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار شاهد و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار و کمترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار خشکی ۵۵ درصد FC و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم تعلق گرفت (شکل ۱).

نتایج مقایسه 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 ۱ میلی‌مولار 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 ۱ میلی‌مولار تعلق گرفت (شکل ۱).

۲.۴. ویژگی‌های بیوشیمیایی

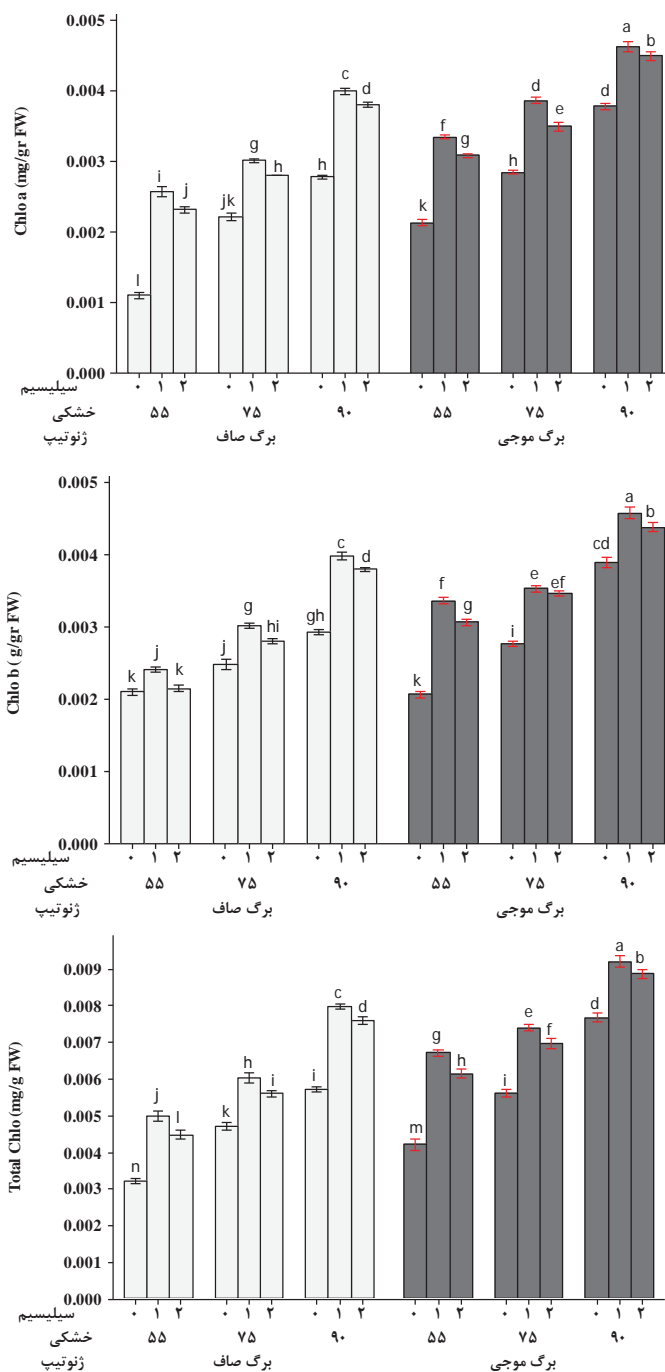
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تمامی فاکتورهای مورد مطالعه و آثار متقابل آن‌ها تأثیر معناداری ($p < 0/01$) بر ویژگی‌های بیوشیمیایی (پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و آنتوسیانین) داشت. نتایج مقایسه میانگین این مطالعه نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل a، b و کل شد. 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.

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



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 نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

بیژن مهرگان و همکاران



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

بزرگ‌کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۷

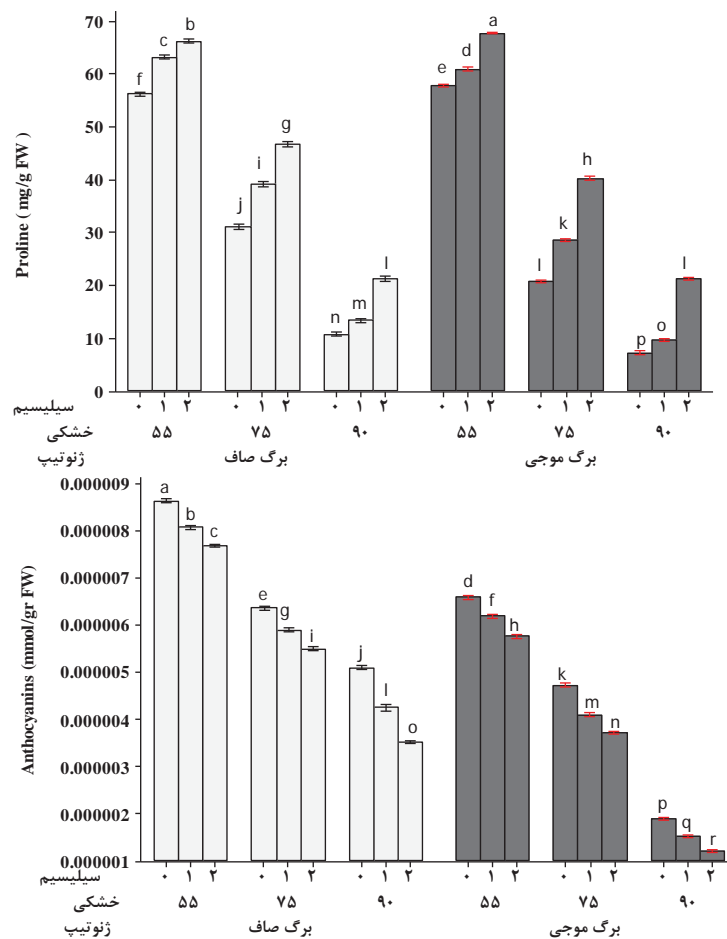
۳۰۸

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

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 میلی مولار و کمترین میزان پرولین مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار خشکی شاهد و عدم مصرف سیلیکات پتاسیم تعلق گرفت (شکل ۳).

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 ۱ میلی مولار 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 به طور کلی مقدار پرولین در ژنوتیپ‌های آلترنانترا مورد مطالعه تحت تأثیر هم‌زمان تنش اعمال شده و سیلیکات پتاسیم فرار گرفته



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 ۵ درصد براساس آزمون LSD نیستند. میله‌های بالای شکل‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

روزنه‌ها با کاهش سطح برگ در پاسخ به تنش خشکی نسبت داده شود. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج انجام شده در گیاه نخود [۱۷]، یونجه [۷] و گوجه فرنگی [۱۹] مطابقت داشت.

با اینکه تنش خشکی آثار مضر بر صفات رشدی داشت، کاربرد سطوح بالای سیلیکات پتاسیم در این تحقیق سبب افزایش ارتفاع، قطر ساقه و طول ریشه و سایر صفات رشدی گیاه آلترناترا شد. در آزمایشی که بر دو رقم گندم تحت تنش خشکی انجام شد، نشان داده شد که در مقایسه با گیاهانی که تنها تحت تیمار خشکی بودند، تیمار سیلیکون باعث افزایش در محتوای کلروفیل a، b، کل، پرولین و گلیسین بتائین شد. آن‌ها با اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گزارش کردند که نقش سیلیکون در افزایش تحمل به خشکی در گندم به دلیل افزایش در فعالیت آنزیم‌های ضد اکسندهاست، زیرا این گونه‌های فعال اکسیژن باعث خسارات اکسیداتیو می‌شوند [۱].

گزارش‌ها نشان می‌دهد که آسیب به غشاء گیاهان تحت تنش خشکی، با افزایش در میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط است. بنابراین ثبات غشاءهای زیستی دال بر مقاومت به تنش خشکی است. تجمع رادیکال‌های آزاد تحت تنش خشکی باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه در غشاء پلاسمایی می‌شود [۲۷]. در این مطالعه سیلیکات پتاسیم توانست نشت الکترولیت‌ها را کاهش دهد. در این زمینه سیلیکات پتاسیم با مهار گونه‌های فعال اکسیژن مانع تخریب غشاء و کاهش نشت یونی می‌شود [۲۱]. از جهت دیگر کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. به نظر می‌رسد سیلیکات پتاسیم در تولید اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین مؤثر باشد و از این طریق با افزایش اسمولیت‌های سازگار و در نتیجه کاهش پتانسیل آب، جذب آب در گیاه را تحت تنش بالا برده و

نتایج مقایسه میانگین آثار سه گانه نشان داد که به‌طور کلی آنتوسیانین تحت تأثیر همزمان تنش اعمال شده و سیلیکات پتاسیم قرار گرفته است. تنش خشکی باعث افزایش میزان آنتوسیانین شد، به گونه‌ای که اعمال تیمار تنش خشکی ۵۵ درصد FC در مقایسه با تیمار خشکی شاهد باعث افزایش ۱/۴ برابری میزان آنتوسیانین شد (شکل ۳). اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم باعث کاهش میزان آنتوسیانین شد، به گونه‌ای که اعمال تیمار سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار در مقایسه با تیمار سیلیکات پتاسیم صفر میلی‌مولار باعث کاهش میزان آنتوسیانین به میزان ۱۷/۸ درصد شد (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که آنتوسیانین در ژنوتیپ «برگ صاف» از ژنوتیپ «برگ موجی» بیشتر است با این وجود بیشترین میزان آنتوسیانین مربوط به ژنوتیپ «برگ صاف» در تیمار تنش خشکی ۵۵ درصد FC و سیلیکات پتاسیم صفر میلی‌مولار و کمترین میزان آنتوسیانین مربوط به ژنوتیپ «برگ موجی» در تیمار شاهد تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم ۲ میلی‌مولار بود (شکل ۳).

تنش خشکی نظیر سایر تنش‌های محیطی، از رشد گیاه ممانعت می‌کند. رشد کمتر، ویژگی‌ای سازشی برای زنده ماندن گیاه تحت شرایط تنش است. به گونه‌ای که میزان تحمل به خشکی به صورت معکوس با میزان رشد در ارتباط است. یک دلیل کاهش میزان رشد در شرایط تنش، فتوسنتز ناکافی در نتیجه بسته بودن روزنه‌ها و جذب محدود دی‌اکسیدکربن است [۱۸].

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی بر ارتفاع، قطر و طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه گیاه تأثیر معناداری داشت. به گونه‌ای که سطوح بالاتر تنش خشکی سبب کاهش این صفات رشدی در گیاه آلترناترا شد. کاهش صفات رشدی ممکن است نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز تحت تنش خشکی باشد که می‌تواند به بسته شدن

تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانتر

(*Alternanthera repens* L.) تحت تنش خشکی

۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تنش خشکی آثار مخرب خود را از طریق کاهش مقدار رنگدانه‌های گیاهی، طول، قطر، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ و افزایش شدید نشت الکتروولت‌ها بروز می‌دهد. این تغییرات می‌تواند با ادامه تنش، به نابودی کامل گیاه منجر شود. اما کاربرد برون زای سیلیکات پتاسیم می‌تواند 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 مطالعه حاضر نشان داد ارقام مختلف آلترنانتر 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. مجله 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. مجله 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.

در نتیجه محتوای نسبی آب برگ افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای 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].

بررسی‌ها 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 آلترنانتر جلوگیری کرده و محتوای کلروفیلی گیاه را حفظ کند.

آنتوسیانین‌ها رنگبزه 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 وسیله حذف مستقیم ROS‌ها 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.

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

تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانتر

(*Alternanthera repens* L.) تحت تنش خشکی

- (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.



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 Mehregan¹, Sadegh Mousavi-Fard^{2}, Abdolhossein Rezaei Nejad³*

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 *Alternanthera* 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.