به زراعی کشاورزی
دوره ۱۹ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۶
صفحه‌های ۶۰۳-۵۹۱

اثر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی وتیورگرس تحت شرایط تنش کم‌آبی

محمد صفری[۱]، مسعود ارغوانی[۲]* و عزیزاله خیری[۲]

۱. کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۵

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه وتیورگرس (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) به تنش کم‌آبی و کاربرد سالیسیلیک اسید در سال ۱۳۹۴ در گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انجام شد. پس از شش ماه از کاشت نشای گیاهان در گلدان، سه سطح آب در دسترس خاک (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد) و سالیسیلیک اسید (۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرحی کاملاً تصادفی در سه تکرار به مدت شش هفته اعمال شد. سالیسیلیک اسید به‌صورت هفتگی روی گیاهان محلول‌پاشی شد. به‌طور کلی، تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره و میزان کلروفیل برگ‌ها شد. طول ریشه، میزان فنل کل، میزان پرولین و نشت یونی برگ‌ها با کاهش میزان آب در دسترس افزایش یافت. کاربرد سالیسیلیک اسید در تمامی صفات آثار منفی تنش کم‌آبی را بهبود بخشید. این اثر در تیمار ۴۰ درصد آب در دسترس چشمگیرتر بود. در صفات وزن خشک ریشه و میزان فنل کل برگ‌ها، در تمام سطوح آب در دسترس تفاوت معناداری بین تیمارهای ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده نشد، ولی در سایر صفات کاربرد ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نتیجهٔ بهتری دربرداشت، به‌طوری که گیاهان در این تیمار وزن خشک شاخساره، پرولین و کلروفیل بیشتر و نشت یونی کمتری نسبت به تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید داشتند. بررسی غلظت‌های بالاتر این تنظیم‌کنندهٔ رشد در افزایش تحمل به کم‌آبی گیاه وتیورگرس پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آب در دسترس، تحمل، تنظیم‌کنندهٔ رشد، فنل کل، وزن خشک شاخساره.

* نویسنده مسئول
Email: arghavani@znu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

وتیورگرس[1] گیاهی چندساله متعلق به خانوادهٔ گندمیان[2]، بومی مناطق جنوب هند است. برگ‌های وتیورگرس باریک و راست است و ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر رشد می‌کند. قطر پایهٔ هر بوته حدود ۳۰ سانتی متر و ارتفاع آن به ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد [۳۶]. از این گیاه، علاوه‌بر استفاده به‌عنوان گیاه زینتی، به‌دلیل داشتن ریشه‌های متراکم در تثبیت خاک نیز استفاده می‌شود. همچنین، اسانس وتیورگرس یکی از مهم‌ترین مواد خامی است که در عطرسازی کاربرد دارد. از گیاه وتیورگرس در صنایع آرایشی- بهداشتی و از ریشهٔ آن در طب سنتی به‌عنوان ضد نفخ، محرک و معرق استفاده می‌شود [۳۶].

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ رشد و تولید محصول در سراسر دنیا به‌شمار می‌آید. این تنش از طریق ایجاد تغییرات آناتومیکی، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشدونمو گیاه تأثیر می‌گذارد. شدت خسارت‌های کم‌آبی بستگی به طول مدت تنش و مرحلهٔ رشد گیاه متفاوت است. این تنش باعث کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه ای، بیوماس، رشد و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود [۱۷].

سالیسیلیک اسید[3] یا اورتو هیدرکسی بنزوئیک اسید[4] تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاهی از گروه فنل‌ها و عامل غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی در تنظیم بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان با غلظت های کم مؤثر است. سالیسیلیک اسید در تعدادی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه نظیر تنفس، بسته‌شدن روزنه‌ها، جوانه‌زنی بذر، رسیدن میوه، گلیکولیز و گلدهی نقش مهمی ایفا می کند. استفاده از سالیسیلیک اسید باعث تغییر در بعضی فرایندهای فیزیولوژیکی می شود که مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد [۴۲].

تاکنون گزارشی در ارتباط با اثر سالیسیلیک اسید بر رشدونمو گیاه وتیورگرس در دسترس نیست. با این حال مطالعاتی در مورد سایر گیاهان خانوادهٔ گندمیان موجود است. در پژوهشی روی گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی سه سطح ۰/۴، ۰/۷ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و نتایج نشان داد که تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با افزایش شاخص سطح برگ و وزن دانه، بهترین نتیجه را در افزایش تحمل به خشکی دربرداشت [۱]. همچنین، با مقایسهٔ تیمارهای ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشخص شد که تیمار ۲ میلی‌مولار اثر بهتری در بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه ذرت در شرایط تنش شوری دارد [۴۳]. هر چند در مورد گندم، محلول‌پاشی گیاهان با ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اثر بهتری نسبت به تیمار ۱ میلی‌مولار در جهت افزایش تحمل به شوری داشت [۶].

هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی امکان افزایش تحمل به خشکی گیاه وتیورگرس با کاربرد سالیسیلیک اسید بود. از این‌رو، پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی این گیاه تحت تأثیر کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی مطالعه شده است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه وتیورگرس آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرحی کاملاً تصادفی با سه سطح تنش خشکی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد آب در دسترس، به‌عنوان فاکتور اول و سه سطح سالیسیلیک اسید صفر (آب مقطر)، ۱ و ۲ میلی‌مولار به‌عنوان فاکتور دوم در سه تکرار، در گلخانهٔ گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. هر واحد

1. Vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides* (L). Roberty
2. Poaceae
3. Salicylic Acid, (SA)
4. Ortho hydroxy benzoic acid

Archive of SID
www.SID.ir

آزمایشی (تکرار) شامل سه گلدان بود. نشاهای گیاه وتیورگرس به ارتفاع ۱۵ سانتی متر از شرکت تک جم تنکابن تهیه و در گلدان‌هایی به ارتفاع ۵۰ و قطر ۲۵ سانتی‌متر پر شده با خاک لوم کشت شد. پس از شش ماه رشد گیاه، تیمارها به‌مدت شش هفته اعمال شد. سطوح مختلف سالیسیلیک اسید به‌طور هفتگی روی شاخسارهٔ وتیورگرس محلول پاشی شد. برای اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی، میزان آب در دسترس[1]، ظرفیت زراعی[2] و نقطهٔ پژمردگی دائم[3] خاک مورد استفاده در آزمایشگاه خاک شناسی مشخص شد. از تفاضل اعداد رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم، میزان آب در دسترس به‌دست آمد و تیمارهای ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد آب در دسترس اجرا شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبهٔ تغییرات آن در حد فاصل دو آبیاری از دستگاه تتاپروب[4] استفاده شد.

در پایان آزمایش و پس از خارج‌کردن گیاهان از گلدان برای محاسبهٔ طول ریشه، میانگین ۱۰ عدد از بلندترین ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس، ریشه و شاخساره در آون با درجه حرارت ۷۰ درجهٔ سانتی گراد بهمدت ۴۸ ساعت خشک شد. وزن خشک آن با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد [۲].

در اندازه‌گیری میزان کلروفیل کل، مقدار ۰/۱ گرم وزن تازهٔ برگ در هاون چینی با ازت مایع خرد و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه شد. سپس، نمونه‌ها در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرارگرفت. میزان جذب عصارهٔ استخراج‌شده در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر[5] قرائت و میزان کلروفیل (میلی‌گرم کلروفیل در گرم وزن تر برگ) با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد [۱۹].

(۱)

$$mg\ Chl/g\ FW = [(20.2(D_{645\ nm}) + (8.02(D_{663\ nm}) \times V/G \times 1000\ ] \times 1000$$

در این فرمول D نشان‌دهندهٔ جذب عصاره، G وزن تر برگ‌ها به میلی‌گرم و V حجم نهایی عصاره به میلی‌لیتر است.

برای اندازه‌گیری میزان پرولین به‌طور خلاصه، ۰/۱ گرم نمونهٔ تازه با استفاده از نیتروژن مایع خردشده و با ۲ میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید[6] ۳ درصد هموژن شد. پس از ۲۰ دقیقه سانتریفوژ با شدت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه، ۰/۵ میلی‌لیتر از روشناور به‌همراه ۲ میلی‌لیتر اسید نین هیدرین[7] و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک به‌مدت یک ساعت داخل آب جوش قرار داده شد و واکنش در داخل یخ به پایان رسید. با اضافه‌کردن ۲ میلی‌لیتر تولوئن جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و میزان پرولین با استفاده از فرمول حاصل از منحنی استاندارد پرولین محاسبه شد [۲۰].

به‌منظور سنجش ترکیبات فنلی ۰/۱ گرم از وزن تر برگ در ۱ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد ساییده شد. عصارهٔ حاصل به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (در تاریکی) نگهداری، سپس سانتریفیوژ شد. ۱۰۰ مایکرولیتر از عصارهٔ گیاهی با ۲۰۰ مایکرولیتر از معرف فولین[8] و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و به مدت سه دقیقه در دمای اتاق قرارگرفت. سپس، ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد به مخلوط اضافه شد و به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق قرارگرفت. پس از این مدت، جذب رنگ آبی تولیدشده در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر

1. available water
2. field capacity
3. permanent wilting point
4. Theta Probe (Spectrum TDR Inc, USA)
5. Spectrophotometer (Analytikjena, Specord 250)
6. sulfosalicylic acid
7. acid ninhydrin
8. folin-cicalteu

Archive of SID
www.SID.ir

اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ غلظت پلی‌فنل‌ها از منحنی استاندارد گالیک اسید استفاده شد [۲۸].

به‌منظور محاسبهٔ نشت یونی، نمونه‌های برگی با آب مقطر شسته‌شده و در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شد. سپس، هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد. پس از آن لوله‌های آزمایش حاوی نمونه به‌مدت ۲۰ دقیقه در آب جوش قرارگرفت و پس از سردشدن در دمای اتاق، مجدداً هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد. میزان نشت یونی به صورت درصد، از تقسیم هدایت الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده محاسبه شد [۴۸]. آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 انجام شد. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها آثار سادهٔ سالیسیلیک اسید و آب در دسترس بر تمام صفات در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن معنادار بود. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و میزان آب در دسترس بر همهٔ صفات، به‌جز طول ریشه، معنادار بود. به‌همین دلیل در مورد این صفت مقایسهٔ میانگین آثار ساده ارائه شد.

۱.۳. رشد ریشه و شاخساره و طول ریشه

تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن خشک ریشه و شاخسارهٔ گیاه وتیورگرس شد. کاربرد سالیسیلیک اسید وزن خشک ریشه و شاخساره را در شرایط تنش افزایش داد. البته، در مورد وزن خشک ریشه، این اثر تنها در شرایط ۴۰ درصد آب در دسترس معنادار بود. همچنین، طول ریشه با کاربرد سالیسیلیک اسید، همچنین با کاهش میزان آب در دسترس افزایش یافت، هر چند برهم‌کنش تنش کم‌آبی و کاربرد سالیسیلیک اسید در رابطه با طول ریشه معنادار نشد (شکل ۱ و ۲).

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس اثر میزان آب در دسترس و سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی وتیورگرس

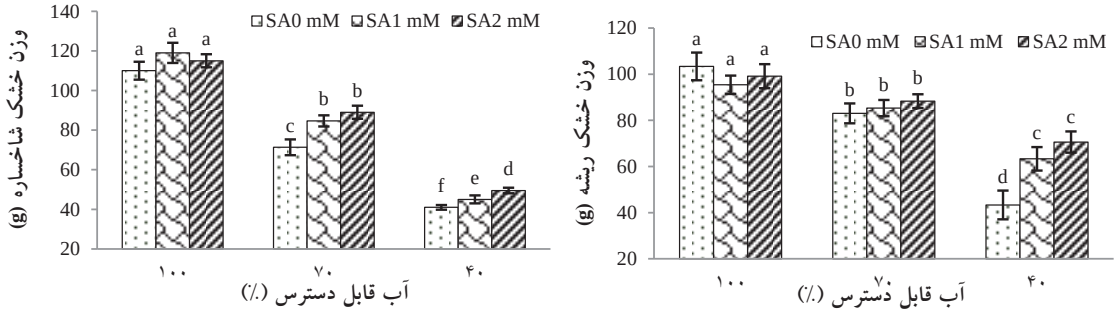
	میانگین مربعات							
منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	طول ریشه	کلروفیل	فنل کل	نشت یونی	پرولین
آب در دسترس	۲	۳۷۵۸/۷*	۲۸۱/۴**	۶۲/۴۸**	۰/۹۲۸**	۱۴/۰۱**	۱۸۱۳/۲*	۱۴/۷۹**
سالسیلیک اسید	۲	۲۰۰/۴۲*	۱۰۸۷۷**	۴۰۰/۰۳*	۰/۱۰۲**	۰/۲۷**	۴۶/۰۵*	۰/۲۳۲**
آب در دسترس × سالیسیلیک اسید	۴	۲۳۲/۴*	۴۴/۱۳**	۲/۳۷^{ns}	۰/۰۰۱۹**	۰/۰۱۸**	۱۰/۰۱*	۰/۰۳۳**
خطا	۱۸	۲۵/۹	۷/۲۵	۱/۱۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴۵	۲/۷۹	۰/۰۰۵۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۲۶	۳/۳۴	۲/۳۱	۱/۷۲	۱/۵۲	۶/۵۹	۱/۶۵

** و * به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱ و ۰/۵ درصد

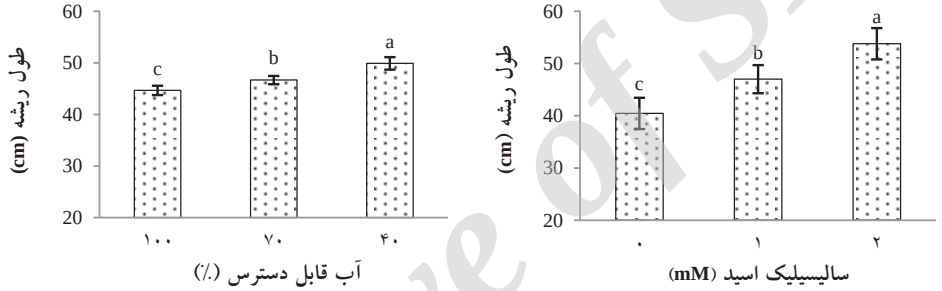
ns غیرمعنادار

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. برهم‌کنش تنش کم‌آبی و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک شاخساره و ریشهٔ گیاه وتیورگرس؛ در هر شکل میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارد. خطوط عمودی روی میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد است.



شکل ۲. اثر سالیسیلیک اسید و تنش کم‌آبی بر طول ریشهٔ گیاه وتیورگرس؛ در هر شکل میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارد. خطوط عمودی روی میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد است.

گزارش شده است که با کاهش میزان آب مورد نیاز گیاه، میزان فتوسنتز و تولید خالص کاهش می‌یابد، در نتیجه وزن خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد [۱۱]. کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت شرایط خشکی، در دو گونهٔ چمن فصل سرد کنتاکی و چمانوش نیز مشاهده شده است [۲۷].

ریشه جزء اصلی گیاه است و در استقرار و پایداری آن اهمیت ویژه‌ای دارد. ریشه‌های گیاهان در شرایط آبیاری کامل، لایه‌های کم‌عمق خاک را برای رشد ترجیح می‌دهد، اما در شرایط تنش آبی ریشه‌ها بیشتر در لایه‌های عمیق‌تر خاک رشد می‌کند که مرطوب است تا بدین وسیله آب مورد نیاز گیاه را تأمین کند [۱۵]. طول ریشه تحت شرایط کم‌آبی در گیاه مرزه [۵] و دو گونه چمن [۱۲] نیز افزایش یافته است. گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم روبیسکو را افزایش می‌دهد. در نتیجه، بر فتوسنتز اثر مثبت دارد. همچنین، سالیسیلیک اسید با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی گیاه در حفظ ساختار کلروپلاست در شرایط تنش مؤثر است [۴۱].

افزایش مشاهده‌شده در وزن خشک شاخساره و ریشه را می‌توان به بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید نسبت داد. با توجه به غیرمعنادار بودن اثر سالیسیلیک اسید در شرایط بدون تنش، به‌نظر می‌رسد در این رابطه نقش

Archive of SID
www.SID.ir

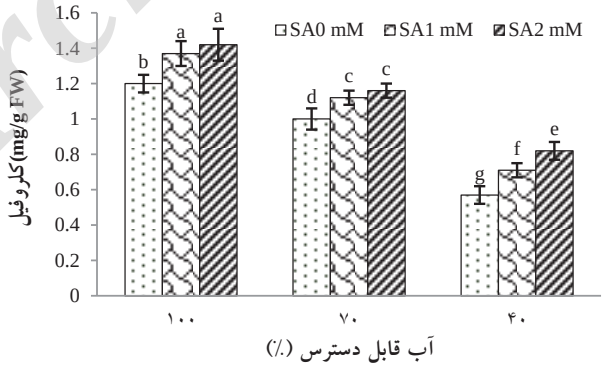
غیرمستقیم این تنظیم‌کنندهٔ رشد در افزایش فتوسنتز، یعنی بالابردن توان دفاعی گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن، مؤثرتر بوده است.

در پژوهشی روی گندم کاربرد سالیسیلیک اسید علاوهبر افزایش سطح و تعداد برگ، میزان فتوسنتز کل گیاه را افزایش داد و باعث تجمع مادهٔ خشک در شرایط تنش شوری شد [۲۹]. از دیگر دلایل اثر مثبت سالیسیلیک اسید بر میزان رشد گیاه بهبود جذب آب و مواد معدنی در اثر کاربرد این ماده است [۲۹]. مشاهدات دیگری نیز در ارتباط با افزایش رشد ریشه و شاخساره در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید وجود دارد [۸، ۳۴، ۳۷]. همچنین، سالیسیلیک اسید توانسته است طول ریشه را در گیاهان گلرنگ [۳] و گندم [۷] افزایش دهد که با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

۲.۳. میزان کلروفیل کل

میزان کلروفیل کل برگ‌ها با کاهش میزان آب در دسترس در محیط ریشهٔ گیاهان کاهش یافت. کاربرد سالیسیلیک اسید در تمام سطوح تنش کم‌آبی سبب افزایش میزان کلروفیل شد. البته، تنها در تیمار ۴۰ درصد آب در دسترس بین سطوح ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تفاوت معنادار مشاهده شد (شکل ۳).

میزان کلروفیل در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی و نشانگر جهت تنش خشکی است [۵۰]. از جمله دلایلی که برای کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی عنوان‌شده می‌توان به تخریب غشای تیلاکوییدهای کلروپلاست و اکسایش نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز اشاره کرد [۱۸]. همچنین، در اثر تنش خشکی تشکیل پلاستیدهای جدید حاوی کلروفیل کاهش می‌یابد. از دیگر عوامل کاهش کلروفیل، رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز و آنزیم گلوتامات لیگاز در شرایط تنش کم‌آبی است که باعث شده تا پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف سنتز پرولین برسد. در نتیجه بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود [۹]. کاهش میزان کلروفیل برگ چمن پوا پراتنسیس [۴] و جو وحشی [۱۰] در اثر تنش خشکی مشاهده شده است.



شکل ۳. برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل برگ گیاه وتیورگرس؛ در هر شکل میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارد. خطوط عمودی روی میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد است.

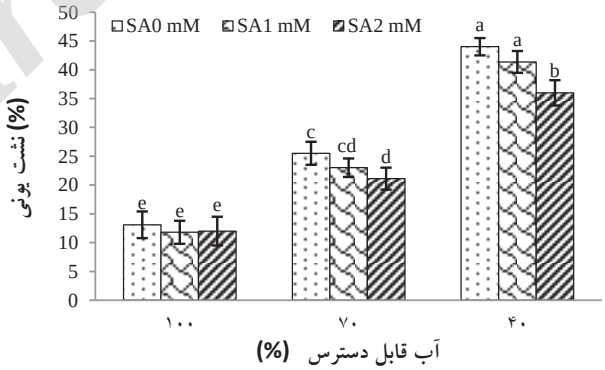
Archive of SID
www.SID.ir

مشابه نتایج پژوهش حاضر، کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی موجب افزایش کلروفیل برگ ذرت شد [۱۳]. محتوای کلروفیل برگ وابستگی زیادی به سلامت کلروپلاست‌ها دارد و عواملی که سبب آسیب به غشای کلروپلاست می‌شود، در کاهش میزان کلروفیل نقش دارد [۳۵]. با توجه به افزایش نشت یونی در اثر تنش کم‌آبی در این آزمایش که نشان‌دهندهٔ آسیب به غشای سلولی است، احتمالاً یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل آسیب به غشای کلروپلاست‌ها بوده است. از طرفی، در مطالعات مختلف به نقش سالیسیلیک اسید در کاهش خسارت به غشاهای سلولی و افزایش پایداری غشا اشاره شده است [۱۳، ۱۴] که توجیهی در جهت اثر مثبت کاربرد سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل است.

۳.۳. نشت یونی

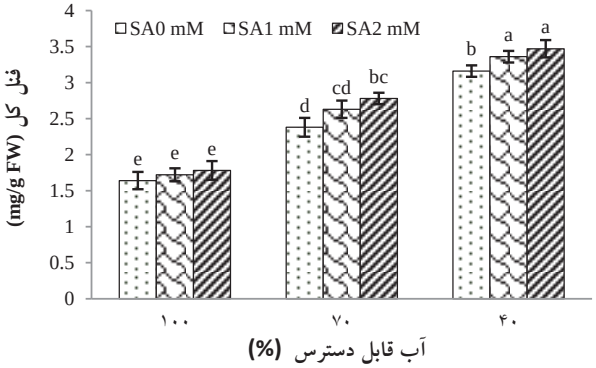
در پژوهش حاضر، تنش کم‌آبی نشت یونی سلول‌ها را در شاخساره به‌طوری معناداری افزایش داد. در تیمارهای ۴۰ و ۷۰ درصد آب در دسترس، بین گیاهانی که ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید دریافت کرده بودند و گیاهان تیمارنشده تفاوت معناداری از نظر نشت یونی مشاهده نشد. همچنین، در شرایط ۷۰ درصد آب در دسترس بین سطوح ۱ و ۲ میلی‌مولار هم تفاوت معنادار وجود نداشت. ولی کاربرد ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی توانست نشت یونی را به‌طور معناداری نسبت به گیاهان تیمارنشده کاهش دهد (شکل ۴).

از راهبردهای مهم توسعهٔ مقاومت به خشکی در گیاهان، حفاظت غشای سلولی در زمان مواجهه با خشکی است. کمبود آب سبب خسارت به غشای سلولی می‌شود. نتیجهٔ آن افزایش نشت الکترولیت‌هاست. افزایش میزان نشت الکترولیت متناسب با افزایش شدت تنش خشکی گزارش شده است [۳۲]. افزایش تنش کم‌آبی سبب افزایش تولید و تجمع ترکیبات سمی اکسیژن‌دار و رادیکال‌های آزاد در گیاهان تحت تنش می‌شود و این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسایش ترکیبات لیپیدی بافت‌ها نظیر فسفولیپیدهای غشای سلولی می‌شود. تغییر در ساختار غشای سلول موجب افزایش تراوایی سلول می‌شود و الکترولیت‌های سلول به بیرون تراوش می شود و گیاه دچار پژمردگی می‌گردد [۲۶].



شکل ۴. برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر نشت یونی برگ گیاه وتیورگرس. در هر شکل میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارد. خطوط عمودی روی میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر میزان فنل کل برگ گیاه وتیورگرس. در هر شکل میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارد. خطوط عمودی روی میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد است.

سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، گیاه را از صدمات حاصل از واکنش‌های اکسایشی حفظ می‌کند. همچنین، کاربرد سالیسیلیک اسید میزان پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که به یکپارچگی و حفظ غشا تحت شرایط تنش خشکی کمک می‌کند [۴۵]. کاهش میزان نشت یونی در شرایط تنش کم‌آبی در گیاهانی مانند ذرت و خردل نیز گزارش شده است [۸، ۱۳].

۴.۳. فنل کل

میزان فنل کل شاخساره با پیشرفت تنش کم‌آبی افزایش یافت. به‌طور کلی، گیاهان تیمارشده با سالیسیلیک اسید فنل کل بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشت، هر چند که اختلاف معنادار بین سطوح ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید دیده نشد (شکل ۵).

ترکیبات فنلی یکی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شناخته شده است که با سازوکارهای متعددی نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا می‌کند، مثل حذف رادیکال‌های آزاد و قطع واکنش‌های زنجیره‌وار اکسایشی، دادن هیدروژن به رادیکال‌های پراکسیل، کلاته‌کردن یون‌های فلزی و قرارگرفتن به‌عنوان سوبسترای آنزیم‌های پراکسیداز. افزایش ترکیبات پلی‌فنلی در شرایط تنش مربوط به ساختار ژنتیکی و محیط رشد گیاهان است. در واقع، تنش‌های غیرزیستی باعث تجمع ترکیبات پلی‌فنلی در گیاه می‌شود [۲۲].

در گیاهان مختلف، به‌دلیل وجود درجات متفاوتی از مقاومت به خشکی، میزان تجمع ترکیبات فنولیک برای پاکسازی رادیکال‌های آزاد متغیر است [۲۱]. بر اساس تحقیقات انجام‌شده مسیر فنیل پروپانوئید مسئول سنتز طیف متفاوتی از متابولیت‌های فنولیک است که اغلب آن‌ها در اثر تنش تولید می‌شود و دارای پیش‌سازها و مواد حدواسط مشترکی است [۳۰]. در بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول در گیاه گندم مشخص شد که علت بالارفتن سطوح ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزی فنل‌ها (فنیل‌آلانین آمونیالیاز)[1] است [۴۹].

همسو با نتایج پژوهش حاضر، افزایش ترکیبات فنلی تحت تنش خشکی در گیاهان دیگر نیز گزارش شده است [۱۶، ۳۸]. سالیسیلیک اسید جزء پیام‌رسان کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه شناخته

1. Phenylalanine ammonialyase

Archive of SID
www.SID.ir

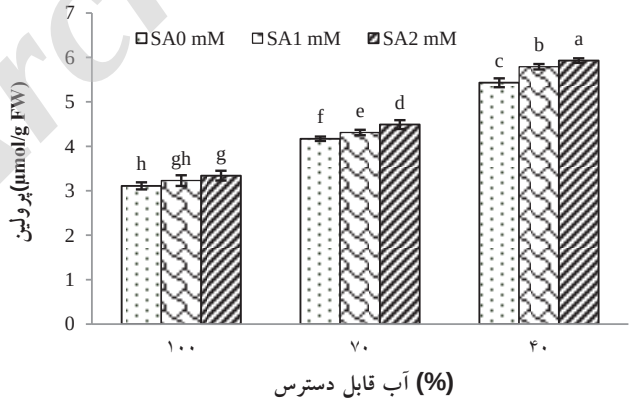
می‌شود و مولکولی پیام‌رسان است که سبب افزایش رونویسی mRNA خاص آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز می‌شود که پاسخ‌های دفاعی گیاه و بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنولیکی را به‌دنبال دارد. در نتیجه، استفاده از ترکیبات الیسیتوری مانند سالیسیلیک اسید راهکاری مؤثر در افزایش تولید متابولیت های ثانویه مانند ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها و سایر ترکیبات شناخته شده است [۴۴].

اثر محرک سالیسیلیک اسید بر آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در گیاه سیاهدانه [۳۳] و کنگرفرنگی [۴۴] گزارش شده است. همچنین، کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه برنج موجب القای بیان ژن پروتئین‌های مربوط به سوخت‌وساز فنیل پروپانوئید و القای سنتز ترکیبات فنلی شد [۲۵]. افزایش میزان ترکیبات فنلی تحت تأثیر سالیسیلیک اسید در گیاه مریم‌گلی نیز مشاهده شده است [۲۳].

۵.۳. میزان پرولین

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان پرولین شاخساره می‌شود. کاربرد ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بر شاخساره در سطوح آب در دسترس ۴۰ و ۷۰ درصد به‌طور معناداری موجب افزایش پرولین شد (شکل ۶).

پرولین از طریق سازوکارهای مختلف شامل تنظیم وضعیت اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن و ثبات آنزیم‌ها یا پروتئین‌ها، گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی محافظت می‌کند. در برخی گیاهان ثابت شده است که تغییرات میزان پرولین با توانایی آن‌ها در تحمل یا سازش به شرایط تنش مرتبط است و شاخصی برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش استفاده می‌شود [۳۹]. افزایش پرولین هنگام تنش نشان‌دهندهٔ نقش این اسید آمینه در تنظیم فشار اسمزی است. تنظیم اسمزی در گیاهان سازوکار اصلی اجتناب از تنش‌های آبی در محیط‌های خشک و شور است [۴۰]. تنش خشکی از دو طریق افزایش بیان آنزیم‌های سنتزکنندهٔ پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کنندهٔ پرولین باعث افزایش میزان پرولین در گیاه می‌شود [۳۱].



شکل ۶. برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ گیاه وتیورگرس؛ در هر شکل میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن ندارد. خطوط عمودی روی میانگین‌ها نشان‌دهندهٔ خطای استاندارد است.

Archive of SID
www.SID.ir

در پژوهش‌های متعدد افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است [۱۲، ۱۴]. در گندم سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای آبسیزیک اسید شد. یکی از دلایل اثر سالیسیلیک اسید بر تجمع پرولین، ممکن است القای تولید آبسیزیک اسید باشد [۴۶]. همچنین، گزارش شده است که سالیسیلیک اسید از طریق فعال‌سازی ژن P_5CS_2 به افزایش بیوسنتز و تجمع پرولین می‌انجامد [۲۴]. افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در برخی آزمایش‌های دیگر نیز مشاهده شده است [۱، ۴۷].

در مجموع، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در رابطه با برهم‌کنش تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات اندازه‌گیری‌شده میتوان نتیجه گرفت که استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط بدون تنش، تأثیر کمتری بر بهبود شاخصهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه وتیورگرس داشت، ولی در شرایط تنش کم‌آبی کاربرد این تنظیم‌کنندهٔ رشد توانست با جلوگیری از کاهش شدید میزان کلروفیل برگ‌ها، افزایش محتوی پرولین، فنل کل و کاهش خسارت‌های واردشده به غشای سلولی، رشد ریشه و شاخسارهٔ گیاه را افزایش دهد. در تیمار ۴۰ درصد آب در دسترس، به‌غیر از صفات فنل کل و وزن خشک ریشه، در سایر صفات کاربرد ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نتیجهٔ بهتری نسبت به تیمار ۱ میلی‌مولار داشت و پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی غلظت‌های بالاتر این ماده مطالعه شود.

منابع

۱. ابراهیمی م و جعفری‌حقیقی ب (۱۳۹۱) اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در شرایط تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴(۱۰): ۱۳-۱.

۲. ارغوانی م (۱۳۸۸) مطالعهٔ فیزیولوژی و مورفولوژیکی چمن‌های لولیوم پرنه و پوآ پراتنسیس، تحت تأثیر کاربرد ترینگزاپک اتیل، مدیریت سربرداری و منبع نیتروژن در شرایط تنش شوری. دانشگاه تهران. تهران. رسالهٔ دکتری.

۳. امیری ا، یدالهی‌ده‌چشمه پ، سیروس‌مهر س و اسماعیل‌زاده‌بهابادی ص (۱۳۹۴) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر صفات مورفولوژیک گیاه گلرنگ در منطقهٔ سیستان. نشریه تولید گیاهان روغنی. ۲(۱): ۵۵-۴۳.

۴. تاتاری م، فتوحی‌قزوینی ر، اعتمادی نا، احدی ع‌م و موسوی ا (۱۳۹۲) مطالعهٔ واکنش‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چمن *Poa pratensis* L. رقم Barimpala تحت تنش خشکی. علوم باغبانی ایران. ۴۴: ۳۲۹-۳۴۰.

۵. سودائی‌زاده ح، شمسایی م، تجملیان م، میرمحمدی س‌ع و حکیم‌زاده م‌ع (۱۳۹۵) بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی از صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرزه. فرایند و کارکردهای گیاهی.۵(۱۵): ۱۲-۱.

۶. شعاع م و میری ح (۱۳۹۱) کاهش اثرات سوء تنش شوری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گندم از طریق کاربرد اسید سالیسیلیک. مجلهٔ الکترونیکی تولید گیاهان زراعی. ۵(۱): ۸۸-۷۱.

۷. عبداللهی م و شکاری ف (۱۳۹۲) اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید روی بنیه و کارکرد گیاهچه‌های گندم در تاریخ‌های کاشت متفاوت. تحقیقات غلات. ۳(۱): ۳۲-۱۷.

Archive of SID
www.SID.ir

۸. فاضلی‌کاخاکی س‌ف، غیاث‌آبادی م و گلدانی م (۱۳۹۳) اثر سالیسیلیک اسید در تخفیف تنش خشکی از طریق بهبود برخی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد بوته و اجزای آن در گیاه خردل. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۷: ۶۵-۷۷.

۹. کافی م، برزویی ا، صالحی م، کمندی ع، معصومی ع و نباتی ج (۱۳۹۳) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۴ ص.

۱۰. گنجی م، فرهمندفر ا، شهبازی م و زهزاوی م (۱۳۹۵) بررسی خصوصیات بیوشیمیایی و عملکرد دانهٔ ژنوتیپ‌های منتخب جو وحشی (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*) در سطوح مختلف تنش خشکی. فرایند کارکرد گیاهی. ۵(۱۵): ۸۹-۷۵.

۱۱. لباسچی مح و شریفی‌عاشورآبادی ا (۱۳۸۳) شاخص‌های رشد برخی گونه‌های گیاهان دارویی در شرایط مختلف تنش خشکی. فصلنامهٔ پژوهشی تحقیقاتی گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۰ (۳): ۲۶۱-۲۴۹.

۱۲. مصطفائی ا، روزبان م، اعتمادی ن و عرب م (۱۳۹۴) ارزیابی مقاومت به خشکی در دو گونه چمن بومی ایران. فرایند و کارکرد گیاهی. ۴(۱۴): ۴۰-۳۱.

۱۳. مهرابیان مقدم ن، آرویـن مج، خواجویی‌نژاد غ و مقصودی ک (۱۳۹۰) اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد علوفه و دانهٔ ذرت در شرایط تنش خشکی در مزرعه. به‌زراعی نهال و بذر. ۲۷ (۱): ۵۵-۴۱.

۱۴. نقی‌زاده م و غلامی‌توران‌پشتی م (۱۳۹۳) بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های منتخب جو وحشی در سطوح مختلف تنش خشکی. نشریهٔ بوم‌شناسی کشاورزی. ۶(۱): ۱۷۰-۱۶۲.

15. Abdalla MM and El-Khoshiban NH (2007) The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two (*Triticum aestivum*) cultivars. Journal of Applied Sciences Research. 3(12): 2062-2074.

16. Abdelrahman R, Ahmed MM and Hanan MA (2012) Effect of drought and salinity stress on total phenolic, flavonoids and flavonols contents and antioxidant activity in in vitro sprout cultures of garden cress (*Lepidium sativum*). Journal of Applied Sciences Research. 8: 3934-3942.

17. Abdul Jaleel C, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Somasundaram R and Panneerselvam R (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology. 11: 100-105.

18. Alonso R, Elvira S, Castillo FJ and Gimeno BS (2001) Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. Plant Cell and Environment. 24: 905-916.

19. Arnon DJ (1956). Chlorophyll absorption spectrum and quantitative determination. Biochemical and Biophysical Acta. 20: 449-461.

20. Bates L, Waldern RP and Teare D (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.

21. Boscaiu M, Sanchez M, Bautista I, Donat P, Lidon A, Llinares J, Llul C, Mayoral O, and Vicente O (2010) Phenolic compounds as stress markers in plants from gypsum habitats. Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Horticulture. 67: 44-49.

Archive of SID
www.SID.ir

22. Chu YH, Chang CL and Hsu HF (2000) Flavonoid content of several vegetable and their antioxidant activity. Journal of the Science of Food and Agriculture. 80(5): 561-566.

23. Dong J, Wan G and Liang Z (2010) Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzyme in *Salvia miltiorrhiza* cell culture. Journal of Biotechnology. 148: 99-104.

24. Fabro G, Kovacs I, Pavet V, Szabados, L and Alvarez ME (2004) Proline accumulation and At P5CS2 gene activation are induced by plant pathogen incompatible interactions in Arabidopsis. Molecular Plant-Microbe Interactions. 17: 345-350.

25. Fang CX, Xiong J, Qiu L, Wang HB, Song BQ, He HB, Lin RY and Lin WX (2009) Analysis of gene expression associated with increased allelopathy in rice (*Oryza sativa* L.) induced by exogenous salicylic acid. Plant Growth Regulation. 57: 163-172.

26. Foyer CH, Leadis M and Kunert KJ (1994) Photo oxidative stress in plants. Plant Physiology. 92: 696-717.

27. Fu J and Huang B (2001) Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany. 45: 105-114.

28. Gao X, Ohlander M, Jeppsson N, Bjork L and Trajkovski V (2000) Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruit of sea buckthourn (*Hippophae rhamnoides* L.) during maturation. Agricultural and Food Chemistry. 48: 1458-1490.

29. Hamada AM and Al-Hakimi AMA (2001) Salicylic acid versus salinity drought-induced stress on wheat seedlings. Rostlinna Vyroba. 47(10): 444-450.

30. Hernandez I, Alegre L and Munne-Bosch S (2004) Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. Tree Physiology. 24: 1303-1311.

31. Heuer B (1994) Osmoregulatory role of proline in water and salt stressed plants. In: Pessarakli M (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker Pub., New York. pp. 363- 481.

32. Hura T, Hura K, Grzesiak M and Rezepka A (2007) Effect of long-term drought stress on leaf gas exchange and fluorescence parameters in C_3 and C_4 Plant. Acta Physiologiae Plantarum. 29: 103-113.

33. Kabiri R, Nasibi F and Farahbakhsh H (2014) Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in *nigella sativa* under hydroponic culture. Journal of Plant Protection Science. 50 1): 43-51.

34. Khodary SFA (2004) Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. International Journal of Agriculture and Biology. 6: 5-8.

35. Krause GH and Weis E (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The Basics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 42: 313-349.

36. Maffei M (2002) Vetiveria; The Genus *Vetivreia*. Taylors and Francis, London, 193 p.

37. Metwally A, Finkemeier I, Georgi M and Dietz KJ (2003) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology. 132: 272-281.

38. Min oh M, Cary E and Rajashekar CB (2010)

Archive of SID
www.SID.ir

Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce. Journal of American Society for Horticultural Science. 135: 223-229.

39. Niknam V, Razavi N, Ebrahimzadeh H and Sharifizadeh B (2006) Effect of NaCl onbiomass, protein and proline contents andantioxidant enzymes in seedlings and calii of two Trigonella Species. Biologia Plantarum. 50(4): 591-596.

40. Perez-Perez JG, Robles JM, Tovar JC and Botia P (2009) Response to drought and salt stress of lemon Fino 49' under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. Scientia Horticulturae. 122: 83-90.

41. Popova LP, Maslenkova LT, Yordanova RY, Ivanova AP, Krantev AP, Szalai G and Janda T (2009) Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 47: 224-231.

42. Raskin I (1992) Salicylate, a new plant hormone. Plant Physiology. 99: 799-803.

43. Saeidnejad A, Mardani H and Naghibolghora M (2012) Protective effects of salicylic acid on physiological parameters and antioxidants response in maize seedlings under salinity stress. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 2(8): 364-373.

44. Samadi S, Ghasemnezhad A and Alizadeh M (2014) Investigation on phenylalanine ammonia-lyase activity of artichoke (*Cynara scolymus* L.) affected by methyl jasmonate and salicylic acid in in-vitro conditions. Journal of Plant Production Research. 21(4): 135-148.

45. Senaratna T, Touchell D, Bunn E and Dixon K (1999) Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation. 30: 157-161.

46. Sakhabutdinova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM (2003) Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special issue: 314-319.

47. Singh B and Usha K (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 39: 137-141.

48. Wang Z and Huang B (2004) Physiological Recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. Crop science. 44: 1729-1736.

49. Wen PF, Chen JY, Wan SB, Kong WF, Zhang P, Wang W, Zhan J, Pan QH and Hung WD (2005) Salicylic acid activates phenylalanine ammonia-lyase in grape berry in response to high temperature stress. Plant Growth Regulation. 55: 1-10.

50. Yanbao L, Chunying Y and Chunyang L (2006) Differences in some morphological, physiological and biochemical responses to drought stress in two contrasting population of *populous przewalskii*. Physiologia Plantarum. 127: 182-191.

Archive of SID
www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 19 ■ No. 3 ■ Autumn 2017

Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of vetiver grass under water deficit stress conditions

Mohammad Safari[1], *Masoud Arghavani*[2*] *and Azizollah Kheiry*[2]

1. M.Sc., Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: August 3, 2016 **Accepted: September 26, 2016**

Abstract

This experiment was conducted in order to investigate the morphological and physiological responses of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty), to water deficit stress and salicylic acid application at Department of Horticultural Sciences, University of Zanjan in 2015. After 6 months of planting transplants into pots, three soil available water levels (40, 70 and 100%) and salicylic acid concentrations (0, 1 and 2 mili Molar) were applied in a factorial experiment based on completely randomized design with three replications for six weeks. Salicylic acid applied through foliar spray weekly. Generally, water deficit reduced root and shoot dry weight and leaf chlorophyll content. Root length, total phenol, proline and electrolyte leakage of leaves were increased by reducing the amount of available water. Salicylic acid application improved negative effects of water deficit in all attributes and its effect was more pronounced in 40% available water treatment. In all available water levels, there was no significant difference between 1 and 2 mili Molar salicylic acid treatments in root dry weight and leaves total phenol whereas in other factors. 2 mili Molar salicylic acid application had better result and plants in this treatment had higher shoot dry weight, proline and chlorophyll content and less electrolyte leakage than 1 mili Molar salicylic acid treatment, suggesting that in order to increase water deficit tolerance of vetiver grass, higher concentration of this plant growth regulator must be evaluated.

Keywords: available water, growth regulators, shoot dry weight, tolerance, total phenol.

Corresponding Author: arghavani@znu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir