



نقش سالیسیلیک اسید در بهبود سیستم فتوسنتزی و عملکرد دانه ارقام سویا (*Glycin max L.*) در شرایط تنش خشکی

نسرین رزمی^{۱*}، علی عبادی^۲، جهانفر دانشیان^۳ و سدابه جهانبخش^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۷

چکیده

به منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر سیستم فتوسنتزی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا در شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه و آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۴ انجام شد. عوامل آزمایشی شامل تنش کم‌آبی در سه سطح (۸۵، ۶۵ و ۴۵ درصد ظرفیت مزرعه)، سالیسیلیک اسید در ۳ غلظت (صفر، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار) و ژنوتیپ‌های ویلیامز، D42X19 و L17 سویا بودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، غلظت کلروفیل‌های a و b، نسبت کلروفیل a/b، سطح برگ هر بوته، فلورسانس بیشینه و عملکرد کوانتوم در اثر تنش خشکی کاهش یافتند. کاربرد ۰/۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به غلظت بیشتر آن (۰/۸ میلی‌مولار) و شاهد تاثیر بیشتری در کاهش اثرات نامطلوب تنش داشت و توانست عملکرد دانه، درصد روغن، محتوای نسبی آب، غلظت کلروفیل‌های a و b، عملکرد کوانتوم و هدایت روزنه‌ای را در شرایط تنش خشکی کمتر کاهش دهد که نتیجه آن کاهش اثرات منفی تنش خشکی بود. کارتنوئیدها در اثر تنش خشکی و کاربرد ۰/۸ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در ژنوتیپ‌های سویا به خصوص ژنوتیپ L17 افزایش یافت. همچنین، سطح ویژه برگ در اثر تنش خشکی افزایش یافت که آن در ژنوتیپ L17 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد ژنوتیپ ویلیامز نسبت به دو ژنوتیپ دیگر توانایی بیشتری در تحمل به تنش خشکی را دارد و کاربرد ۰/۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش تحمل به تنش خشکی در هر سه ژنوتیپ ویلیامز، D42X19 و L17 سویا باشد.

واژگان کلیدی: عملکرد کوانتومی، کارتنوئید، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای.

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس آباد، ایران. (نگارنده‌ی مسئول)
nasrinrazmi@gmail.com

۲- دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مقدمه

سویا با نام علمی (*Glycine max* L. Merr) به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی و پروتئینی در دنیا می‌باشد که رتبه دوم را از نظر تولید و سطح زیر کشت دانه‌های روغنی در ایران به خود اختصاص داده است. تلاش‌های زیادی برای تولید ارقام متحمل به خشکی در دنیا انجام شده است (Fried *et al.*, 2019). زیرا خشکی مهم‌ترین و بزرگ‌ترین تنش محیطی می‌باشد که در تولید محصولات زراعی تاثیرگذار است (Ergen and Budak, 2009). رشد برگ اولین فرآیندی است که به کمبود آب واکنش می‌دهد و در نتیجه توسعه برگ در گیاه کاهش می‌یابد (Paye, 2000). پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که تنش خشکی، تعداد برگ و سطح آن را به شدت کاهش می‌دهد (Desuloux *et al.*, 2000). همچنین، یکی از واکنش‌های گیاهان در برابر تنش‌های محیطی افت فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌باشد. فلورسانس کلروفیل برای بررسی عملکرد فتوسنتز در بسیاری از گیاهان در تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفته است (Eshghizade and Ehsanzadeh, 2009). اندازه‌گیری مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند ارزیابی مناسبی از عملکرد کوانتومی و جریان الکترون در فتوسیستم II را نشان دهد (Lu and Zhang, 2000). در ژنوتیپ‌های مختلف، کاهش عملکرد کوانتومی و یا تغییرات فلورسانس در بازه‌ی زمانی به‌عنوان معیاری از درجه تحمل به تنش مورد استفاده قرار گرفته است (Eshghizade and Ehsanzadeh, 2009). کمبود آب به علت تخریب کلروفیل مانع فتوسنتز می‌شود (Moaveni, 2011).

رنگدانه‌های فتوسنتزی برای تولید محصول و تأمین انرژی مورد نیاز گیاه، ضروری می‌باشند (Farooq *et al.*, 2009; Fatma *et al.*, 2018) و نقش مهمی را در واکنش‌های فتوشیمیایی ایفا می‌کنند (Taiz and Zeiger, 2010). گزارش شده است که تحت تاثیر تنش، مقدار کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئیدها تغییر می‌یابد (Chéour *et al.*, 2014). مطالعات نشان می‌دهد که عدم تجزیه‌ی کلروفیل ممکن است مقدار انواع اکسیژن فعال تولید شده را به حدی افزایش دهد که قابلیت سم‌زدایی سیستم‌های آنتی اکسیدان را از میان ببرد (Sinha *et al.*, 2003). در پژوهشی که ایدرس و همکاران (Idrees *et al.*, 2011) انجام دادند تنش کم آبی، مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را کاهش داده، اما کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش این رنگیزه‌ها گردید. با کاربرد بیرونی سالیسیلیک اسید در گیاهان مدل، تغییر در فرایندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی اتفاق افتاده و موجب افزایش تحمل به کمبود آب می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید اثر منفی تنش خشکی روی وضعیت آبی، هدایت روزنه‌ای و فعالیت‌های فیزیولوژی سویا را کاهش می‌دهد (Hayat *et al.*, 2010).

با توجه به حساسیت سویا به تنش خشکی به نظر می‌رسد شناخت ارقامی که می‌توانند نسبت به تنش خشکی تحمل نشان دهند، ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، سالیسیلیک اسید هورمونی می‌باشد که پژوهشگران تاثیر مثبت آن را بر بسیاری از گیاهان مشاهده کرده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در افزایش توانایی تحمل تنش خشکی در ارقام سویا شامل ویلیامز، D42X19 و L17 در شرایط تنش کم آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تحمل ارقام سویا نسبت به شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه و آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. بدین منظور گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت ۷ کیلوگرم انتخاب و به تمام آنها مقدار مساوی خاک مزرعه اضافه گردید. بذور سویا پس از تلقیح با باکتری برادریزویوم (با غلظت 10^{10} در میلی‌لیتر) در عمق ۵ سانتی‌متری در گلدان‌ها کاشته شدند. از سویه‌ی سویار محصول شرکت بهدانه ناب برای تلقیح استفاده شد و جهت چسبندگی بهتر مرطوب شد. تا مرحله ۴ برگگی بوته‌ها به‌طور مطلوب آبیاری و بعد از آن تیمارهای تنش کم‌آبی (۸۵، ۶۵ و ۴۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) اجرا گردید. با وزن کردن روزانه تمامی گلدان‌ها در ساعت ۸ صبح، وضعیت رطوبتی آنها مشخص و به این ترتیب نقصان رطوبت گلدان‌ها در تیمارهای مختلف با اضافه نمودن آب به صورت روزانه و رساندن آنها به حد ظرفیت زراعی مدنظر جبران می‌شد. در این آزمایش برای تعیین وزن گیاه از گلدان‌های بدون گیاه استفاده شد تا برابر وزن گیاه به گلدان‌ها آب اضافه شود بدین ترتیب وزن گیاه منجر به اختلال در ظرفیت‌های زراعی نگردد.

تیمار سالیسیلیک اسید در ۳ غلظت (صفر، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار) (Manzoor *et al.*, 2015) به صورت اسپری با استفاده از سم‌پاش پشتی روی برگ‌ها در دو مرحله قبل از اعمال تنش و مرحله شروع گلدهی انجام گردید. از ۳ میلی‌لیتر متانول جهت حل کردن سالیسیلیک اسید استفاده شد. سپس با توجه به مولاریته آن به محلول آب اضافه شد. تیمار صفر شامل محلول‌پاشی با آب مقطر و

۳ میلی‌لیتر متانول (جهت عدم تاثیرگذاری متانول بر تیمارها) بود. ارقام مورد مطالعه سویا در این بررسی شامل ویلیامز، D42X19 و L17 که متعلق به گروه‌های رشدی ۳ و دارای عادت رشدی نامحدود بودند. نیاز غذایی گیاهان با توجه به مقدار مواد غذایی موجود در خاک (جدول ۱) محاسبه و بر مبنای ۵۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفات و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم اعمال گردید.

برای سنجش کلروفیل از روش آرنون استفاده شد. مقدار کلروفیل و کارتنوئیدها طبق معادله‌های زیر به دست آمد (Arnon, 1967).

معادله (۱):

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) / 100W$$

معادله (۲):

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) / 100W$$

معادله (۳):

$$\text{Carotenoids} = 100 (A_{470}) + 3.27(\text{mg chl a}) - 104(\text{mg chl b})/227$$

در این روابط V حجم محلول نهایی و W وزن نمونه تر بودند.

هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پورومتر مدل (U.S.A SC-1 Leaf porometer) در مرحله ۱۰۰ درصد گلدهی (دو هفته پس از محلول‌پاشی) اندازه‌گیری شد. در این روش با قرار دادن قسمت میانی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته در داخل سنسور دستگاه، اعداد مربوط به مقدار هدایت روزنه‌ای بر حسب مول بر مترمربع در ثانیه قرائت گردید.

در این بررسی از نسبت سطح برگ به وزن خشک شده آن سطح برگ ویژه محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری فلورسانس بیشینه (F_m) و ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) از

مقدار رطوبت نسبی (۹۱٪) در رقم ویلیامز در شرایط عدم تنش مشاهده شد که اختلاف آماری معنی داری با سایر ارقام در این شرایط نداشت ولی با افزایش شدت تنش کم آبی از مقدار آن به طور معنی داری کاسته شد و کمترین مقدار آن (۶۷٪) مربوط به تنش شدید در رقم L17 بود (شکل ۱- A). تایید شده است که تنش خشکی موجب کاهش RWC می شود (Moaveni, 2011).

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، مقدار RWC در رقم L17 در شرایط تنش کاهش یافت که نشان می‌دهد احتمالاً این ژنوتیپ قادر به حفظ محتوای آب نسبی نیست. تنظیم اسمزی ارتباط زیادی با رطوبت نسبی داشته و نتایج محققین نشان می‌دهد که استفاده از مقادیر بالای شاخص محتوای آب نسبی برگ و مقدار پایین تر آب نسبی از دست رفته به منظور گزینش لاین‌های متحمل به کمبود آب مفید می‌باشد (Siddiqui et al., 2015). همچنین، با توجه به شکل (B-۱) تاثیر سالیسیلیک اسید بر RWC در ارقام مختلف متفاوت بود. به طوری که، کاربرد غلظت ۰/۸ میلی مولار سالیسیلیک اسید در ژنوتیپ‌های ویلیامز و D42XI9 موجب افزایش RWC شد. بیشترین مقدار محتوای نسبی آب (۸۵٪) به کاربرد ۰/۸ میلی مولار سالیسیلیک اسید در رقم ویلیامز تعلق گرفت و کمترین مقدار آن (۷۷٪) در ژنوتیپ L17 و در اثر کاربرد ۰/۸ میلی مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد. کاربرد بیرونی سالیسیلیک اسید از طریق بهبود وضعیت آبی گیاه و افزایش RWC موجب بهبود رشد، عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی شده و فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد (Hussain et al., 2009).

انتهایی‌ترین برگ توسعه یافته استفاده شد. این کار با استفاده از دستگاه فلورومتر (chlorophyll fluorometer) مدل Optic Science- OS-30 در ساعت ۱۲ ظهر اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ گیاهان به مدت ۲۰ دقیقه با تاریکی سازگار شده و سپس مقدار فلورسانس تیمارها در شدت نور ۱۰۰۰ میکرومول (فوتون) بر مترمربع در ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفت.

F_m (مقدار فلورسانس حداکثر، بعد از تابیدن یک پالس نور اشباع بر روی گیاه سازگار شده به تاریکی)، F_0 (مقدار فلورسانس بعد از آنکه روی گیاه سازگار شده به تاریکی یک پرتو تعدیل شده و ضعیف تابیده شد)، مقدار F_v (فلورسانس متغیر که برابر تفاوت بیشترین و کمترین حد فلورسانس می‌باشد). F_v/F_m مقدار عملکرد کوانتومی فتوسیستم II مطابق فرمول ذیل محاسبه شد:

$$\text{معادله (۴): } \Phi_{II} = (F_m - F_0) / F_m = F_v / F_m$$

تجزیه آماری به وسیله نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید. برای ارزیابی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بار تلت انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب (RWC): نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی دار بین ارقام سویا با تنش خشکی و ارقام سویا با سالیسیلیک اسید در مورد رطوبت نسبی بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تشدید تنش خشکی از مقدار RWC در تمامی ژنوتیپ‌های سویا کاسته شد. بیشترین

هدایت روزنه‌ای: نتایج جدول تجزیه

واریانس نشان دهنده تاثیر معنی‌دار تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر مقدار هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های سویا بود (جدول ۱). تشدید تنش موجب کاهش شدید هدایت روزنه‌ای در ارقام سویا گردید. این در حالی بود که کاربرد سالیسیلیک اسید به‌خصوص در غلظت ۰/۴ میلی‌مولار موجب افزایش این صفت شد. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها، رقم L17 بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید قرار گرفت. به‌طوری‌که حداقل مقدار هدایت روزنه‌ای (۱۱/۲۳ مول بر مترمربع در ثانیه) در اثر عدم کاربرد سالیسیلیک اسید در ژنوتیپ L17 و در شرایط تنش شدید مشاهده گردید و حداکثر آن (۳۲/۸ مول بر مترمربع در ثانیه) به همان ژنوتیپ در شرایط رطوبتی نرمال (۸۵٪ ظرفیت زراعی (شاهد) و کاربرد ۰/۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اختصاص یافت (جدول ۳). سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید موجب تحمل تنش خشکی می‌شود و قادر است از طریق افزایش هدایت روزنه‌ای موجب بهبود رشد و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه گردد (Hayat et al., 2010).

با وجود این‌که هدایت روزنه‌ای رقم ویلیامز در شرایط بدون تنش در حد متوسط بود، اما تحت شرایط تنش ۴۵٪ نسبت به شاهد کاهش یافت. با توجه به این‌که ژنوتیپ‌هایی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند، برای مناطق خشک مناسب‌تر هستند (Khan et al., 2016)، به نظر می‌رسد رقم ویلیامز می‌تواند در شرایط تنش خشکی تحمل بالایی داشته باشد.

کارتنوئید: تجزیه واریانس داده‌های

آزمایشی نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و ارقام سویا بر مقدار کارتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به نتایج، در اثر کاربرد ۰/۸ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار کارتنوئید (۹/۶۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، در ژنوتیپ D42XI9 در شرایط تنش خشکی ملایم (FC ۶۵٪) مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین مقدار کارتنوئید (۳/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در اثر عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و تحت تنش شدید (FC ۴۵٪) به همان ژنوتیپ تعلق گرفت (جدول ۳). از آنجایی که کارتنوئیدها در سیستم فتوسنتزی برای حفاظت از کلروفیل‌ها فعالیت می‌کنند، اهمیت زیادی در شرایط تنش دارند. کارتنوئیدها فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند و به حفظ ساختار غشاهای تیلاکوئیدها در شرایط تنش کمک می‌کنند (Havaux et al., 2005). نتایج سایر محققان نیز نشان داد که خشکی شدید از طریق تحریک پیری موجب کاهش کلروفیل‌های a و b (شکل ۴ و ۵) و کارتنوئید (شکل ۶) شد (Abreu and Munné-Bosch, 2008). با این حال سالیسیلیک اسید توانست موجب افزایش کارتنوئیدها شود (Eraslan et al., 2007). زیرا سالیسیلیک اسید می‌تواند سطح رونویسی از ژن‌های مرتبط با پیری مانند SAG102 را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد (Morris et al., 2000). موهارکار و همکاران (Moharekar et al., 2003) نیز گزارش کردند که سالیسیلیک اسید موجب فعال شدن بیوسنتز کارتنوئید و زانتوفیل شد. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی سویا نیز ژنوتیپ L17 توانایی بالایی در تولید کارتنوئید نشان داد. به نظر می‌رسد این ژنوتیپ از کارتنوئیدها برای محافظت از سیستم

کم‌آبی موجب القاء تغییر در نسبت کلروفیل a و b و کارتنوئیدها می‌شود (Farooq *et al.*, 2009). به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش کمبود آب به دلیل اکسایش نوری رنگیزه‌ها و تخریب کلروپلاست تحت تنش اکسیداتیو بوده (Farooq *et al.*, 2009)، یا ممکن است علت کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش به واسطه اثر کلروفیل‌لاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد. عدم تجزیه کلروفیل ممکن است مقدار ROS تولید شده را به حدی افزایش دهد که قابلیت سم‌زدایی سیستم‌های آنتی‌اکسیدان را از میان ببرد (Sinha *et al.*, 2003). با توجه به این نتایج، به نظر می‌رسد بروز تنش، موجب کاهش کلروفیل برگ در ژنوتیپ D42XI9 شده است. یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آنها توسط گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد. کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو، کاهش فعالیت فتوسیستم II و مهار سنتز ATP منجر به تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها شده است (Lawlor and Cornic, 2002).

کلروفیل b: اثرات ساده سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر مقدار کلروفیل b معنی‌دار بود و ارقام تفاوتی در مورد کلروفیل b نشان ندادند (جدول ۱). با توجه به نتایج به دست آمده تشدید تنش از ۸۵٪ به ۶۵٪ و ۴۵٪ ظرفیت زراعی به طور معنی‌داری موجب کاهش کلروفیل b گردید. به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل b (۳/۴۷ میلی‌گرم در گرم) به شرایط بدون تنش (۸۵٪ ظرفیت زراعی) تعلق گرفت (شکل ۳-A) و کاربرد غلظت ۰/۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار کلروفیل b (۲/۹ میلی‌گرم در گرم) را نشان داد (شکل ۳-B). برخی از بررسی‌ها نشان دادند

فتوسنتزی خود بهره بیشتری برده است. این برتری فقط در ۴۵٪ و ۸ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بوده است.

کلروفیل a و نسبت کلروفیل a/b: نتایج

پژوهش نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار اثر متقابل ارقام در تنش خشکی و اثر ساده سالیسیلیک اسید بر مقدار کلروفیل a و نسبت a/b بود (جدول ۱). در هر سه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، افزایش شدت تنش کم‌آبی منجر به کاهش مقدار کلروفیل a گردید. به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل a (۱۳/۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در هر سه رقم ویلیامز، L17 و D42XI9 در شرایط بدون تنش و کمترین مقدار آن (۸/۴۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در ژنوتیپ L17 تحت تنش شدید (FC ۰/۴۵) قابل مشاهده بود (شکل ۲-A). همچنین، نسبت کلروفیل a/b در ژنوتیپ‌های مورد بررسی از یک روند مشابه برخوردار نبود. بلکه در رقم ویلیامز تشدید تنش موجب کاهش این نسبت گردید. در حالی که در ژنوتیپ D42XI9 با افزایش شدت تنش بر مقدار نسبت کلروفیل a/b افزوده شد که به دلیل کلروفیل a بیشتر در شرایط تنش بود. این موضوع نشان می‌دهد این ژنوتیپ در شرایط تنش توانایی بیشتری در محافظت از کلروفیل a دارد (شکل ۲-B). حداکثر این نسبت (۴/۳) به رقم ویلیامز در شرایط نرمال تعلق گرفت که با ژنوتیپ D42XI9 در شرایط تنش در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین، کمترین نسبت کلروفیل a/b (۳/۴) در شرایط نرمال (۸۵٪ ظرفیت زراعی) در ژنوتیپ D42XI9 مشاهده گردید.

اهمیت رنگیزه‌های فتوسنتزی اساساً برای جذب نوری و تولید احیاء‌کننده‌های انرژی مانند ATP و NADPH می‌باشد. همچنین، کلروفیل a و b مستعد آسیب در برابر خشکی بوده و تنش

میزان را به خود اختصاص داد و نسبت به شاهد ۲۵ درصد کاهش یافت. مقدار F_v/F_m نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون PSII است، بنابراین کاهش ۲۵ درصدی نسبت F_v/F_m نشانه کاهش مقدار حفاظت نوری بوده و دلیلی است بر این‌که تنش خشکی بر کارایی فتوسنتز اثر معنی‌داری داشته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش F_v/F_m عمدتاً به خاطر وقوع آشفستگی در کلروپلاست بوده است، زیرا فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارایی فتوسیستم نام برد (Paknejad *et al.*, 2007). با افزایش مقدار تنش نسبت F_v/F_m کاهش یافته که نشانه کاهش مقدار حفاظت نوری و تقلیل کارایی فتوسنتزی است. مقدار F_v/F_m نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون از فتوسیستم II است (Paknejad *et al.*, 2007)

بازدارندگی نوری با کاهش کارایی مصرف فوتون‌ها به‌وسیله فتوسیستم II مشخص می‌شود. کاهش کارایی فتوسیستم II در دو وضعیت رخ می‌دهد: اول زمانی که برگ‌ها به‌طور ناگهانی در معرض نور شدید قرار گیرند که به مرکز فتوسیستم II صدمه می‌زند، و دوم وقتی که در معرض محدودیت آبی واقع شوند. در این حالت، این کاهش مربوط به افزایش شدید انرژی برانگیختگی غیرتثبیلی است که منجر به آزاد سازی انرژی به‌صورت حرارت می‌شود (Askari *et al.*, 2014). افزایش عملکرد کوانتومی (F_v/F_m) نشانگر این است که تنش‌های محیطی تأثیری بر کارایی فتوسنتز ندارد. اگرچه سیستم نوری II تا حد زیادی نسبت به خشکی مقاوم است، اما خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در این

که کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت پایین توانست موجب افزایش کلروفیل شود (Fariduddin *et al.*, 2003). در پژوهش انجوم و همکاران (Anjum *et al.*, 2003) در جو، تنش خشکی شدید موجب کاهش میزان کلروفیل b شد.

فلورسانس بیشینه (F_m) و ظرفیت

فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی در ارقام سویا بر F_m و ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش شدت تنش، از مقدار فلورسانس بیشینه (F_m) در ژنوتیپ‌های سویا کاسته شد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار F_m (۵۹۶/۸۹) در شرایط نرمال و در رقم ویلیامز مشاهده شد. کمترین مقدار آن نیز به ژنوتیپ ویلیامز تحت شرایط تنش شدید تعلق گرفت که با شرایط تنش متوسط و شدید در همه ژنوتیپ‌های تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. به عبارتی در همه ژنوتیپ‌ها تشدید تنش به یک مقدار از حداکثر فلورسانس کاستند (شکل ۴A). نتایج آزمایش‌های و همکاران (Mohammadian *et al.*, 2003) نیز نشان داد که فلورسانس حداکثر (F_m) تحت شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافت.

همچنین تشدید تنش از مقدار عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاست. به طوری که بیشترین مقدار عملکرد کوانتومی (۰/۸۶) به شرایط عدم تنش (۰/۸۵٪ ظرفیت زراعی) در هر سه ژنوتیپ ویلیامز، L17 و D24X19 تعلق گرفت و کمترین مقدار آن (۰/۶۴) از تنش شدید کم‌آبی در ارقام ویلیامز و L17 حاصل شد (شکل ۶). مقدار عملکرد کوانتومی با افزایش شدت تنش خشکی روند کاهشی نشان داد به‌طوری‌که مقدار F_v/F_m در تیمار ۴۵٪ ظرفیت زراعی کمترین

بوته (۱۶۹ سانتی متر مربع) در شرایط تنش شدید (۴۵ درصد ظرفیت زراعی) در ژنوتیپ L17 مشاهده شد. این در حالی بود که در ژنوتیپ L17 و تحت شرایط بدون تنش بیشترین مقدار سطح برگ بوته (۵۲۰ سانتی متر مربع) به دست آمد (شکل ۶). با توجه به تاثیر تنش بر سطح برگ در بوته ژنوتیپ L17، به نظر می‌رسد که رشد این ژنوتیپ حساسیت بیشتری نسبت به سایر ارقام نسبت به تنش خشکی دارد. همچنین، یافته‌های این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش شدید (۴۵ درصد ظرفیت زراعی) سطح برگ رقم ویلیامز بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود که نشان‌دهنده توانایی آن در حفظ سطح برگ در شرایط نامطلوب تنش می‌باشد. به نظر می‌رسد کمبود آب با کاهش آماس سلولی، رشد و تقسیم سلول‌ها را تحت تاثیر قرار داده و در نتیجه مساحت برگ در گیاه کاهش داد. تنش خشکی از طریق کاهش مساحت برگ موجب اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب کاهش عملکرد دانه شد (Ak and Lösel, 2006).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی با غلظت سالیسیلیک اسید و ژنوتیپ‌های سویا در مورد درصد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به شکل ۷ در شرایط بدون تنش در رقم ویلیامز حداکثر درصد روغن (۰/۲۴) به دست آمد که بین غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. در مورد کمترین درصد روغن (۰/۲۲) نیز بین تیمارهای سالیسیلیک اسید و ارقام ویلیامز و L17 تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. در این پژوهش مشاهده شد که تنش ملایم (۶۵٪ درصد ظرفیت زراعی)

سیستم نوری شده و از این رو از کارایی فتوسنتز کاسته شده و بر مقدار فلورسانس کلروفیل افزوده می‌شود (Paknejad *et al.*, 2007). کمترین عملکرد کوانتومی به ترتیب مربوط تنش شدید ۲۵٪ ظرفیت زراعی می‌باشد.

سطح ویژه برگ (SLA): تجزیه واریانس

داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی در ارقام سویا بر سطح ویژه برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). حداکثر مقدار SLA (۲/۳۷) در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ L17 مشاهده شد. در واقع تنش خشکی موجب افزایش SLA گردید. در شرایط تنش کم‌آبی ژنوتیپ‌های سویا، SLA را افزایش دادند به طوری که حداقل SLA در شرایط بدون تنش و در ارقام ویلیامز و L17 قابل مشاهده بود (شکل ۵). به نظر می‌رسد SLA بیشتر با کاهش سرعت فتوسنتز همراه است. طبق گزارش ناس (Nass, 1973) بین نازکی برگ و عملکرد همبستگی ضعیفی وجود دارد. تحت تنش خشکی سطح برگ به واسطه کاهش اندازه سلولی کاهش می‌یابد که باعث کاهش SLA می‌شود (Ramya *et al.*, 2016). از نظر رامایا و همکاران (Ramya *et al.*, 2016) یکی از جنبه‌های تطابقی گیاهان تحت شرایط خشکی سطح کمتر برگ نسبت به وزن خشک آن (SLA کمتر) است.

سطح برگ بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی در ارقام سویا و سالیسیلیک اسید بر سطح برگ هر بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار سطح برگ در بوته کاهش یافت. با وجود این که ژنوتیپ L17 در شرایط بدون تنش سطح برگ مناسبی نشان داد اما مقدار این صفت تحت تنش به شدت کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار سطح برگ

ظرفیت زراعی) حداکثر عملکرد (۳۵۵۵) کیلوگرم در هکتار) را نشان داد (شکل ۸A). از آنجایی که کمبود آب بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تاثیر دارد، می‌تواند مهم‌ترین عامل محدود کننده‌ی تولید محصولات باشد. کاهش اساسی عملکرد نیز در بسیاری از محصولات زراعی به دلیل محدود شدن آب مشاهده شده است. به نظر می‌رسد ژنوتیپ D42X19 رفتاری مابین این دو ژنوتیپ نشان می‌دهد. اثر سالیسیلیک اسید در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. به طوری که در اثر کاربرد ۰/۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مقدار عملکرد در هر سه ژنوتیپ افزایش یافت که در رقم ویلیامز نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تاثیر بیشتری داشت. این در حالی بود که کمترین عملکرد دانه (۲۲۷۶) کیلوگرم در هکتار) به کاربرد ۰/۸ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در ژنوتیپ L17 تعلق داشت که با شرایط بدون کاربرد سالیسیلیک اسید در این ژنوتیپ در یک گروه آماری قرار گرفت. برخلاف تاثیر مثبت غلظت ۰/۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد که اثر ۰/۸ میلی‌مولار این هورمون مثبت نمی‌باشد و حتی گاهی نسبت به شاهد (رقم ویلیامز) اثر منفی بر مقدار عملکرد محصول دارد (شکل ۸B). سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند که غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید از تاثیر بازدارنده‌ای برخوردار می‌باشد (Fariduddin et al., 2003).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی از مقدار کلروفیل، عملکرد کوانتوم، هدایت روزنه‌ای و RWC کاست. به نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش جذب CO₂، سبب کاهش عملکرد کوانتوم و در نهایت تخریب کلروفیل‌ها را موجب

در رقم L17 و D42X19 نه تنها تاثیر منفی بر درصد روغن نداشت بلکه درصد روغن را به طور معنی‌داری افزایش داد. احتمالاً گیاه در شرایط تنش ملایم نیازی به ایجاد مکانیزم‌های تحمل به تنش نداشت و به همین دلیل درصد روغن را افزایش داده است. سالیسیلیک اسید نیز موجب بهبود درصد روغن در شرایط بدون تنش رطوبتی و تنش خشکی گردید و تا حدودی کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی را جبران کرد. حسین و همکاران (Hussain et al., 2009) نیز مشاهده کردند که محتوای روغن و عملکرد آفتابگردان در اثر تنش خشکی در این دو ژنوتیپ کاهش یافت. اما کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش عملکرد و درصد روغن گردید. تنش خشکی وارده به گیاه از مهم‌ترین عوامل کاهش درصد روغن در گیاه می‌باشد. به نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق افزایش پروتئین موجب کاهش درصد روغن شده است.

عملکرد دانه

عملکرد مهم‌ترین شاخص برای ارزیابی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف می‌باشد. در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی در ارقام سویا و غلظت سالیسیلیک اسید در در ارقام سویا بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاکی از آن است که سطوح مختلف تنش تاثیر معنی‌دار و متفاوتی بر ارقام سویا داشت. به طوری که تشدید تنش از مقدار عملکرد دانه به شدت کاست و در ژنوتیپ L17 حداقل عملکرد (۱۵۶۱) کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش شدید مشاهده شد. این در حالی بود که در رقم ویلیامز در شرایط تنش و بدون تنش مقدار عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود و این رقم در شرایط بدون تنش (۸۵٪)

به طوری که کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش هدایت روزنه‌ای، کلروفیل‌ها و عملکرد کوانتومی گردید.

شده است. در میان ارقام مورد بررسی ویلیامز توانست در برابر تنش خشکی تحمل نشان دهد و تاثیر کاربرد سالیسیلیک اسید بر سیستم فتوسنتزی این رقم و سایر ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک حاصل از عمق ۳۰- صفر سانتی‌متر
Table 1- Results of soil sample analysis from 0-30 cm depth

کربنات کلسیم Calcium carbonate %	آهن قابل جذب Fe absorbable	پتاسیم قابل جذب K absorbable	فسفر قابل جذب P absorbable	کربن آلی Organic carbon %	pH	EC (ds/m)
5-10	3	200-300	5-10	1.5	7.8	2

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای گلخانه (تنش خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) بر سیستم فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های سویا

Table 2- ANOVA of greenhouse treatments (drought stress and foliar application of salicylic acid) on photosynthetic system in soybean genotype

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S.					
		هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	RWC	کارتنوئید carotenoids	نسبت a/b	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
آبیاری (I) Irrigation	2	1557**	0.3**	216442**	1.44*	1681581**	163635**
ژنوتیپ (G) Genotype	2	62.8**	0.01**	42286*	0.25 ^{ns}	37003 ^{ns}	2223 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک (SA)	2	79.1**	0.01**	139153**	0.66 ^{ns}	211077**	15508**
آبیاری × ژنوتیپ G × I	4	94.4**	0.007**	76439**	1.26*	32796*	4377 ^{ns}
آبیاری × اسیدسالیسیلیک SA × I	4	3.1**	^{ns} 0.002	56812**	0.7 ^{ns}	17481 ^{ns}	2545 ^{ns}
ژنوتیپ × اسیدسالیسیلیک SA × G	4	33.1**	0.006**	79589**	0.26 ^{ns}	12025 ^{ns}	2485 ^{ns}
آبیاری × ژنوتیپ × اسیدسالیسیلیک SA × G × I	8	1.6*	^{ns} 0.002	23637*	0.45 ^{ns}	8418 ^{ns}	2847 ^{ns}
خطا Error	54	0.6	0.0001	9557	0.43	12215	2321
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	3.6	4.9	15.9	16.4	10.8	18.23

***, ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

***, * and ns: Significant at 1%, 5% and nonsignificant, respectively.

ادامه جدول ۲-
Table 2-Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S.					
		فلورسانس بیشینه Fm	عملکرد کوانتوم Quantum yield	سطح برگ ویژه Special leaf area	سطح برگ هر بوته Leaf area	درصد روغن oil percentage	عملکرد yield
Irrigation (I) آبیاری	2	1098934**	0.28**	4.46**	334838**	3.47**	19762521**
Genotype (G) ژنوتیپ	2	47680*	0.011**	0.68*	35144**	1.81**	712406.1**
سالیسیلیک اسید (SA)	2	21137ns	0.0007 ^{ns}	0.25 ^{ns}	246047**	0.002 ^{ns}	708312.2**
G×I آبیاری×ژنوتیپ	4	39654*	0.006**	0.93**	46047**	2.88**	90938.71*
SA×I آبیاری×اسیدسالیسیلیک	4	8689ns	0.0004 ^{ns}	0.29 ^{ns}	245 ^{ns}	0.009*	25965.15 ^{ns}
ژنوتیپ×اسیدسالیسیلیک SA×G	4	11994ns	0.0001 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2007 ^{ns}	0.021**	126797.1**
آبیاری×ژنوتیپ×اسیدسالیسیلیک SA×G×I	8	3791ns	0.0009 ^{ns}	0.05 ^{ns}	802 ^{ns}	0.12**	19392.4 ^{ns}
Error خطا	54	13396	0.0006	0.13	1521	0.002	28056.94
(%) C.V. ضریب تغییرات	-	13.04	3.54	25.4	13	2.23	6.8

**، * and ns: Significant at 1%, 5% and nonsignificant, respectively.

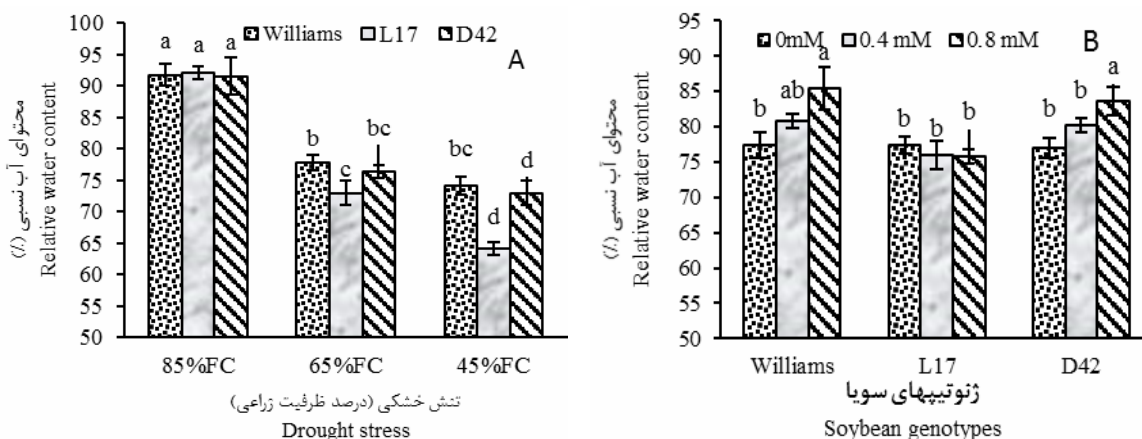
ns غیر معنی دار.

جدول ۳- اثر تنش خشکی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر هدایت روزنه‌ای و کارتنوئید در ارقام سویا
Table 3- Effect of drought stress and foliar application of salicylic acid on stomatal conductance and carotenoid content in soybean genotypes

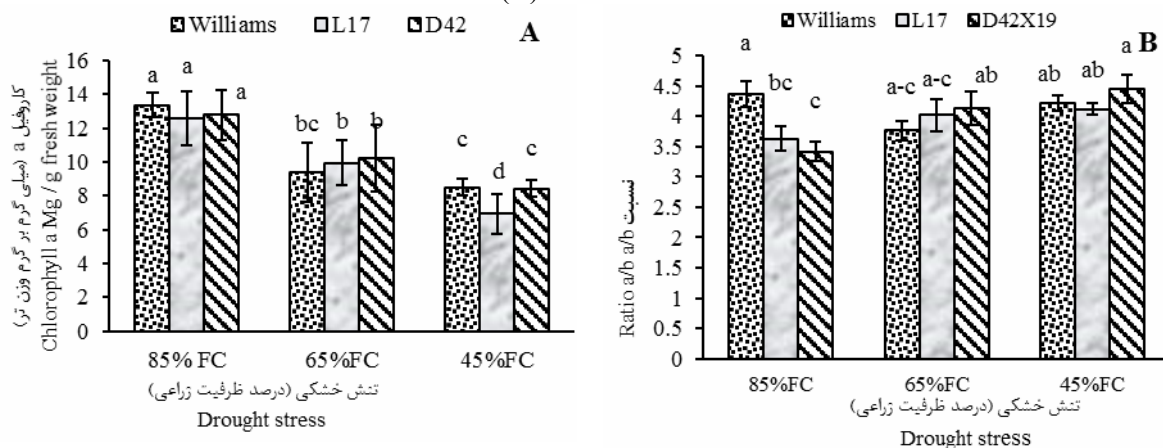
تنش خشکی (آب قابل استفاده) Water deficit (%F.C.)	ارقام سویا Soybean cultivars	سالیسیلیک اسید (میلی مولار)	کارتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	هدایت روزنه ای (مول بر متر مربع در ثانیه)	
85%	Williams	0	4.21j-l	27.6 e	
		0.4	4.03kl	30.4 c	
		0.8	5g-l	29.9 cd	
	L17	0	3.66l	31 c	
		0.4	5.2f-l	34.6 a	
		0.8	6.27c-i	33.03 b	
	D42X19	0	4.33j-l	24.5f	
		0.4	7.15b-e	28.8de	
		0.8	5.92d-j	28e	
	65%	Williams	0	5.56d-j	20.5hi
			0.4	4.7h-l	24.9f
			0.8	7.36b-e	22.26g
L17		0	4.67i-l	16lm	
		0.4	6.78c-g	17.6jk	
		0.8	7.26b-e	15.16lm	
D42X19		0	5.71e-k	18.86ij	
		0.4	8.93ab	23g	
		0.8	8a-c	19.73hi	
45%		Williams	0	7.94c-f	15.5lm
			0.4	5.02g-l	20.7h
			0.8	7.06b-d	17.3k
	L17	0	6.6c-h	11.23o	
		0.4	6.96c-f	12.23o	
		0.8	9.36a	11.53o	
	D42X19	0	7.33b-e	13.73n	
		0.4	4.83h-l	17.36k	
		0.8	5.03g-j	14.36m	

اختلاف میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن، معنی دار نمی‌باشد.

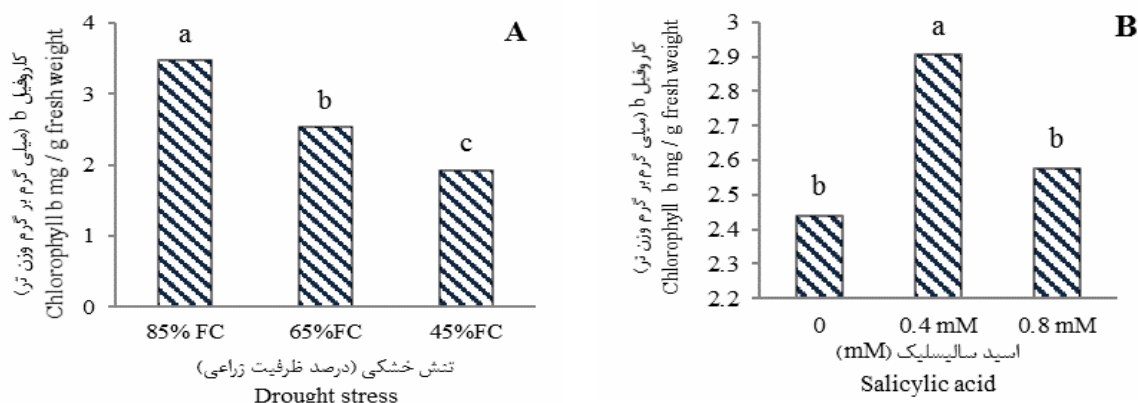
* Values followed by the same letter within the same columns do not differ significantly at $p=1\%$ according to Duncan



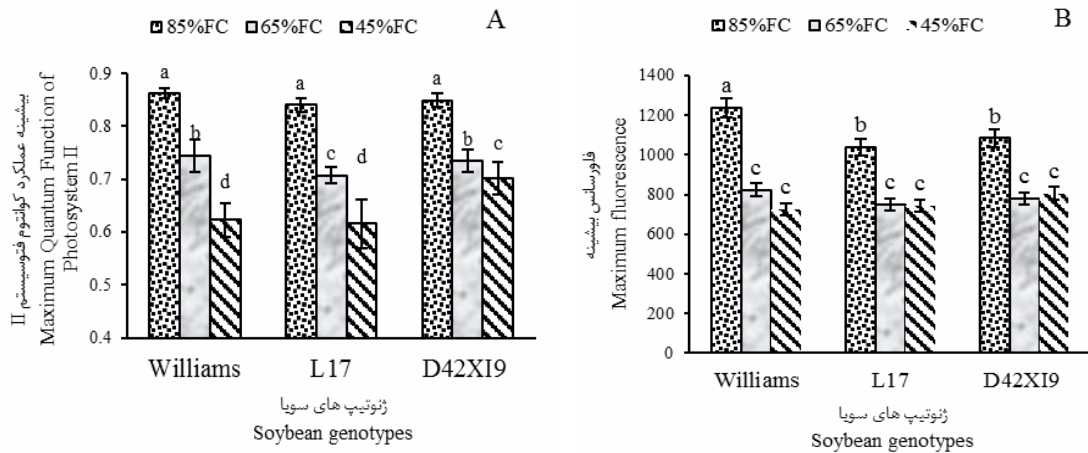
شکل ۱- اثر تنش خشکی و ارقام سویا (A) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در ارقام سویا (B) بر تغییرات RWC
Figure 1- Effect of drought stress and soybean genotypes (A), salicylic acid and soybean genotypes (B) on RWC



شکل ۲- تغییرات کلروفیل a (A) و نسبت کلروفیل a/b (B) در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ‌های سویا
Figure 2- Changes of chlorophyll a (A) and chlorophyll a / b ratio (B) due to drought stress in soybean genotypes

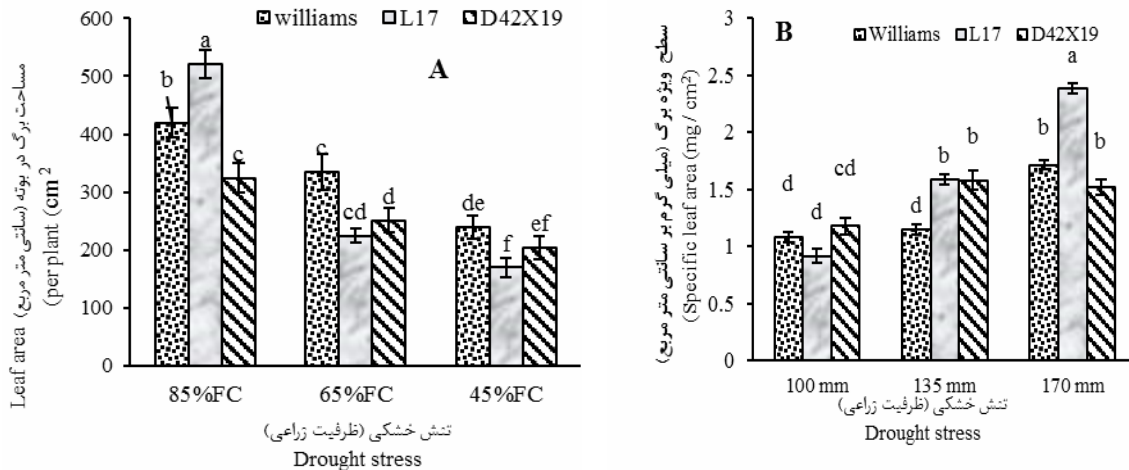


شکل ۳- تغییرات کلروفیل b در اثر تنش خشکی (A) و سالیسیلیک اسید (B)
Figure 3- Changes of Chlorophyll b due to drought stress (A) and salicylic acid (B)



شکل ۴- تغییرات بیشینه عملکرد کوانتوم فتوسیسستم II (A) و فلورسانس بیشینه (B) در اثر تنش خشکی در ارقام سویا

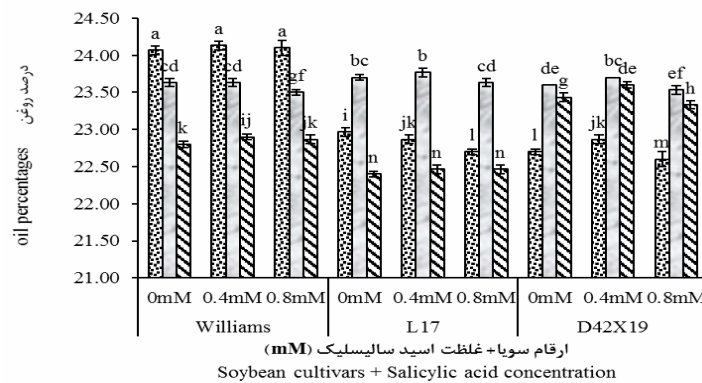
Figure 4- Change of Fv/fm (A) and fm (B) due to drought stress in soybean genotypes



شکل ۵- اثر تنش خشکی بر نازکی برگ در ارقام سویا

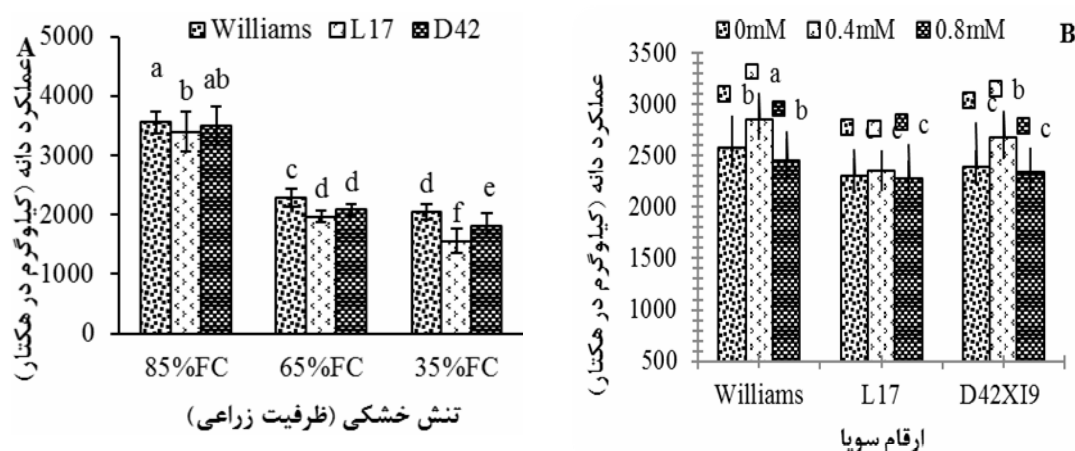
شکل ۶- Effect of drought stress on Leaf area in soybean genotypes

Figure 5- Effect of drought stress on leaf thickness in soybean genotypes



شکل ۷- اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر درصد روغن ارقام سویا

Figure 7- Effect of drought stress and SA on oil percentage in soybean genotypes



شکل ۸- اثر تنش خشکی و ژنوتیپ‌های سویا (A) و ژنوتیپ‌های سویا و غلظت سالیسیلیک اسید (B) بر عملکرد دانه

Figure 8- Effect of drought stress and soybean genotypes (A) and soybean genotypes and SA on grain yield

References

منابع مورد استفاده

- Ak, Ş., and D.M. Lösel. 2006. Plant water-stress response mechanisms. Published by Intech.
- Anjum, F., M. Yaseen, E. Rasool, A. Wahid, and S. Anjum. 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) II. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. *Pakistan Journal of Agricultural Science*. 40(1-2): 41-49.
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23: 112-121.
- Askari, M., V.R. Saffari, and A.A. Maghsoudi Mood. 2014. Study of some physiological characteristics and yield of corn hybrids (*Zea mays* L.) under salinity stress conditions. *Journal of Production and Processing of Crop and Gardening*. 3(9): 93-103 (In Persian).
- Chéour, F., I. Kaddachi, D. Achouri, S. Bannour, and L. Zorgui, 2014. Effects of water stress on relative water, chlorophylls and proline contents in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 7(6): 13-16.
- Desuloux, D., T.T. Huynh, and P. Roumet. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*. 40: 716-722.
- Ebreu, M.E., and S. Munné-Bosch. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*. 64: 105-112.
- Eraslan, F., A. Inal, A. Gunes, and M. Alpaslan. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity, and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulture*. 113: 120-128.

- Ergen, N.Z., and H. Budak, 2009. Sequencing over 13000 expressed sequence tags from six subtractive cDNA libraries of wild and modern wheats following slow drought stress. *Plant, Cell and Environment*. 32(3): 220–236.
- Eshghizade, H.R., and P. Ehsanzadeh, 2009. Maize hybrids performance under differing irrigation regimes: 1-chlorophyll fluorescence, growth, and grain yield. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 32: 60- 87.
- Fariduddin, Q., S. Hayat, and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*. 41: 281–284.
- Farooq, M., S.M. Basra, A. Wahid, N. Ahmad, and B.A. Saleem. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195: 237–246.
- Fatma, F., A. Kamal, and A. Srivastava. 2018. Exogenous application of salicylic acid mitigates the toxic effect of pesticides in (*Vigna radiata* L.) wilczek. *Journal Plant Growth Regulation*. 37(4): 1185-1194
- Fried, H.G., S. NarayananI, and B. Fallen. 2019. Evaluation of soybean (*Glycine max* L. Merr.) genotypes for yield, water use efficiency, and root traits. *Plos one*. 14(2). e0212700. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212700>
- Havaux, M., F. Eymery, S. Porfirova, P. Rey, and P. Dormann, 2005. Vitamin E protects against photoinhibition and photooxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*. 17: 3451-3469.
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Ifran, and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and Experimental Botany*. 68: 14-25.
- Hussain, M., M.A. Malik, M. Farooq, M.B. Khan, M. Akram, and M.F. Saleem. 2009. Exogenous glycine betaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195: 98–109.
- Idrees, M., M.M.A. Khan, M. Naeem, T. Aftab, N. Hashmi, and M. Alam, 2011. Modulation of defence responses by improving photosynthetic activity, antioxidative metabolism, and vincristine and vinblastine accumulation in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don through salicylic acid under water stress. *Russian Agricultural Sciences*. 37: 474-482.
- Khan, A., V. Sovero, and D. Gemenet. 2016. Genome-assisted breeding for drought resistance. *Curr Genomics*. 17: 330–342.
- Lawlor, D.W., and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants affected by N fertilization. *Agronomy Journal*. 73: 583-587.
- Lu, C., and J. Zhang. 2000. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*. 151(2): 135-143.

- Manzoor, K., N. Ilyas, N. Batool, B. Ahmad, and M. Arshad. 2015. Effect of salicylic acid on the growth and physiological characteristics of maize under stress conditions. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 37(03): 588-593.
- Moaveni, P. 2011. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Science Research Journal*. 1(1): 64-68.
- Mohammadian, R., H. Rahimian, M. Moghaddam, and S.Y. Sadeghian. 2003. Effect of early drought stress on sugar beets chlorophyll fluorescence. *Pakistan Journal of Biological Science*. 6(20): 1763-1769.
- Moharekar, S.T., S.D. Lokhande, T. Hara, R. Tanaka, A. Tanaka, and P.D Chavan. 2003. Effects of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents on wheat and moong seedlings. *Photosynthetica*. 41: 315-317.
- Morris, K., S.A. Mc Kerness, T. Page, C.F. John, A.M. Murphy, J.P. Carr, and V. Buchanan-Wollaston. 2000. Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence. *Plant Journal*. 23: 677-685.
- Nass, H.G. 1973. Determination of characters for yield selection in spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 53: 755-782.
- Paknejad, F., M. Nasri, H.R.T. Moghadam, H. Zahedi, and M.J. Alahmadi. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat genotypes. *Journal of Biological Sciences*. 7(6): 841-847.
- Paye, W.A. 2000. Water relations of sparse conopied crops. *Agronomy Journal*. 92: 807-814.
- Ramya, P., P.S. Gyanendra, and J. Neelu. 2016. Effect of recurrent selection on drought tolerance and related morpho-physiological traits in bread wheat. *Plos One*. 11: 1-17.
- Siddiqui, M.H., M.Y. Al-Khaishany, and M.A. Al-qutami. 2015. Response of different genotypes of *Faba bean* plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 16(5):10214-10227 .
- Sinha, S., K. Bhatt, K. Pandey, S. Singh, and R. Saxena, 2003. Interactive metal accumulation and its toxic effects under repeated exposure in submerged plant *Najas indica* Cham. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 70: 696-704.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2010. Plant physiology. Ed Fifth. Sinauer Associates, U.S.A.
- Wani, A.B., H. Chadar, A.H. Wani, S. Singh, N. Upadhyay. 2016. Salicylic acid to decrease plant stress salicylic acid to decrease plant stress. *Environmental Chemistry Letters*. 14 (3): 317-329.

The Role of Salicylic Acid in Improving the Photosynthetic System of Soybean (*Glycin max* L.) Genotypes under Drought Stress

Nasrin Razmi^{1*}, Ali Ebadi², Jahanfar Daneeshian³ and Soodabe Jahanbakhsh²

Received: January 2019, Revised: 19 June 2019, Accepted: 31 July 2019

Abstract

To investigate the effect of salicylic acid on photosynthetic system and seed yield in soybean genotypes under drought stress a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in both greenhouse and laboratory of Mohaghegh Ardebili University in 2015. The factors consisted of water stress at 3 levels (85, 65 and 45% of field capacity), salicylic acid at 3 concentrations (0, 0.4 and 0.8 mM) and three soybean genotypes, Williams, D42X19, and L17. The results showed that the relative water content, stomatal conductance, chlorophyll a and b, chlorophyll a/b ratio, leaf area, maximum fluorescence and quantum yield decreased as the result to drought stress, while Williams showed more tolerance to drought stress as compared to other two genotypes. Application of 0.4 mM salicylic acid as compared to high concentration (0.8 mM) and control was the most effective treatment on reducing the adverse effects of drought stress. It could be said that this may increase the relative water and chlorophylls contents, leaf area, quantum yield and stomatal conductance under drought stress conditions. It seems that carotenoid contents as a result of drought stress and application of 0.8 mM salicylic acid were increased in soybean genotypes, especially in L17. SLA was also increased due to drought stress, which was higher in L17 genotype than other genotypes. According to the results of this study, Williams genotype was the most tolerant to drought stress as compared to the other genotypes, and the application of salicylic acid would enhance tolerance to drought stress in soybean genotypes.

Key words: Carotenoids, Chlorophylls, Quantum yield, Stomatal conductance.

1- Horticulture Crops Research Department, Ardebil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Parsabad, Iran.

2- Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran

3- Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

*Corresponding Author: nasrinrazmi@gmail.com

