تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۷۱-۱۵۳

مقاله پژوهشی

اثر کاربرد سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم ماش (*Vigna radiata* L.) در سیستان

مسعود برجاس[۱]، لیلا مهرآوران[۲*]، مریم اله دو[۲]، صالحه گنجعلی[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژنتیک و به نژادی گیاهی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: lmehravaran@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.309460.1139**

چکیده

تنظیم‌کننده‌های رشد مانند سالیسیلیک اسید، با کاهش اثرات نامطلوب تنش، نقش مهمی در تحمل گیاه به خشکی دارند. جهت بررسی اثر کاربرد سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی بر ارقام ماش، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در تابستان ۱۳۹۹ در شهرستان هیرمند انجام شد. تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، رقم محلی سیستان و پرتو به عنوان عامل فرعی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سه سطح صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به عنوان عامل فرعی فرعی بود. صفات مورد بررسی شامل عملکرد و اجزای آن، میزان پرولین، کلروفیل، کاروتنوئید و RWC بودند. بر اساس نتایج اثر تنش، رقم و سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. تنش خشکی میزان عملکرد و اجزای آن را در هر دو رقم کاهش داد این کاهش عملکرد در رقم پرتو حدوداً ۵٪ کمتر از رقم سیستان بود. تحت تنش خشکی میزان پرولین و کاروتنوئید افزایش پیدا کرد. بیشترین افزایش پرولین (۷۷٪) و کاروتنوئید (۴۸/۵٪) تحت تنش، در رقم پرتو بود. کاربرد سالیسیلیک اسید کلیه صفات از جمله عملکرد دانه را بهبود بخشید به‌طوری‌که کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار آن تحت تنش متوسط ۱۳٪ افزایش در عملکرد ایجاد کرد. بین ارقام از نظر مصرف سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج، رقم پرتو بهتر از رقم محلی عمل کرده و کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید میزان مقاومت گیاه را به تنش افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پرولین، تنش محیطی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، لگوم

مقدمه

ماش با نام علمی *Vigna radiata* L. گیاهی دانه سبز از خانواده Leguminosae می‌باشد. ماش نه تنها نقش مهمی در رژیم غذایی انسان و حیوانات بازی می‌کند بلکه نقش حیاتی در بهبود حاصلخیزی خاک از طریق تثبیت نیتروژن دارد (Ashraf, 2003). دانه‌های ماش دارای مقادیر بالای پروتئین (۲۸٪)، چربی (۱/۳٪)، کربوهیدرات (۶۰/۴٪) و مقادیر قابل قبولی از ویتامین‌ها و ریزمغذی‌های ضروری می‌باشد (Anwar *et al*., 2007). از آنجا که دانه‌های ماش سرشار از پروتئین‌های مغذی هستند، به راحتی هضم می‌شوند و نفخ اندکی ایجاد می‌کنند؛ بنابراین در بین محصولات گیاهی دارای ارزش فراوانی‌اند (Lakhanpaul and Bhat, 2000).

تنش خشکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Aslam *et al*., 2006) و می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه شود (Hasani and Omid Beygi, 2002). گیاهان مختلف به دلیل سازگاری‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مقاومت‌های متفاوتی به تنش نشان می‌دهند. عوامل مورفولوژیکی مانند تغییر سطح برگ، وزن کل بیوماس، ارتفاع و ... می‌توانند بر میزان مقاومت گیاه به تنش خشکی نقش داشته باشند (Thomas and Gausling, 2000; Sodaii zadeh *et al*., 2016). در طی تنش برخی تغییرات فیزیولوژیکی در گیاهان مقاوم به خشکی مانند تغییر در اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها نیز باعث ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی می‌شوند (Reddy *et al*., 2004). تنش خشکی، رشد و عملکرد ماش را محدود می‌کند و تأثیر این تنش در مرحله تولید مثل بیشتر از سایر مراحل رشدی است و عملکرد را به شدت کاهش می‌دهد (Sangakkara *et al*., 2001). با

افزایش سطح تنش خشکی، صفات فیزیولوژیکی ارقام ماش مانند میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و عملکرد کاهش پیدا کرد (Shokouhfar and Abofatilehnazhad, 2013).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ابزاری قدرتمند و پایدار در کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان هستند. سالیسیلیک اسید به عنوان یک هورمون گیاهی، اثرات بسیاری روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشدی گیاهان دارد (Khan *et al.*, 2010)؛ بنابراین دارای نقشی اساسی در تحمل برخی از تنش‌های محیطی مانند خشکی، گرما و شوری می‌باشد (El-Tayeb, 2005) و به عنوان یک هورمون درون‌زا با طبیعت فنلی در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، تعرق و تحمل به خشکی نقش ایفا می‌کند (Shakirova *et al.*, 2003). سالیسیلیک اسید با تأثیر بر روی متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، آثار سمی ناشی از تنش را کاهش می‌دهد (Maasoumi *et al.*, 2016). همچنین سالیسیلیک اسید ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش‌های غیر زیستی را تنظیم می‌نماید (Hashempour *et al.*, 2014). سالیسیلیک اسید به عنوان یک مولکول سیگنالینگ مهم در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و بنابراین اثر خود را بر فتوسنتز از طریق رنگیزه‌ها، ساختار کلروپلاست و آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز اعمال می‌کند (Shoghian and Roozbahani, 2017).

در تحقیقی کاربرد سالیسیلیک اسید باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تنش خشکی شد (Nezhad *et al.*, 2014). در پژوهشی با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر روی گیاه ماش، میزان عملکرد این گیاه افزایش پیدا کرد (Singh and Kaur, 1980). کاربرد سالیسیلیک اسید تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن بذر و میزان عملکرد در هکتار را در گیاه ماش افزایش داد (Sujatha, 2001). در مطالعه‌ای دیگر کاربرد ۱۲۵ پی پی ام سالیسیلیک اسید، عملکرد ماش دانه سیاه را افزایش داد (Jeyakumar *et al.*, 2008). همچنین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش را از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ، تحت تأثیر قرار داد (Maity and Bera, 2009). کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، عملکرد و اجزای عملکرد را در ماش در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد (Ali and Mahmoud, 2013).

در پژوهشی تنش خشکی باعث کاهش برخی صفات مورفوفیزیولوژی از قبیل عملکرد دانه، عملکرد زیستی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته، محتوی نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی در ارقام مورد بررسی ماش (گوهر و مهر) گردید، کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث بهبود این صفات شد (Heidari *et al.*, 2019). به طور مشابه در مطالعه‌ای دیگر کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید اثر منفی تنش خشکی را بر روی صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز کاهش داد. در این مطالعه کاربرد سالیسیلیک اسید بر اکثر صفات مورد بررسی لوبیا قرمز اثر مثبت داشت (Shoghian and Roozbahani, 2017). در بررسی اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش مشاهده شد که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالسیلیک اسید در تمامی شاخص‌های رشدی بیشترین مقدار را دارا بود به طوری کاربرد آن سبب افزایش ۶/۵۷ درصدی ارتفاع بوته، ۲۵/۰۵ درصدی وزن دانه، ۳۶/۱۹ درصدی عملکرد دانه و ۳۰/۷۶ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شد (Keikha *et al.*, 2017). اثر مثبت محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید روی برخی از شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه خردل تحت تنش خشکی گزارش شده است (Fazeli Kakhki *et al.*, 2014). در پژوهشی اثر تنش کم‌آبی (۷۵، ۶۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت‌های سالیسیلیک‌اسید (۰، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بر شاخص‌های رشدی گیاه ماش بررسی و مشخص شد غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالسیلیک‌اسید باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشدی گیاه می‌گردد و این غلظت از سالیسیلیک‌اسید می‌تواند اثرات تنش کم‌آبی را بر شاخص‌های رشدی گیاه ماش تعدیل نماید (Qasedi and Hadi, 2014).

ماش به دلیل خشک‌سالی و کمبود آب در کشور و منطقه، دارای عملکرد پایینی است؛ بنابراین تلاش در جهت بهینه‌سازی تولید و افزایش عملکرد یکی از اهداف مهم تحقیقاتی در این گیاه می‌باشد. از آنجا که سالیسیلیک اسید به عنوان روشی برای کاهش آسیب‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تنش محسوب می‌شود، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم پرتو و محلی سیستان تحت تنش خشکی می‌باشد. پژوهش

حاضر می‌تواند به مبارزه با تنش غیر زیستی خشکی بر تولید ماش در منطقه خشک سیستان کمک کند.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در تابستان سال ۱۳۹۹ در مزرعه‌ای در شهرستان هیرمند بخش مرکزی روستای شندل شهرستان زابل، در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه جنوبی و ۶۱ درجه شرقی و ارتفاع ۴۷۵ متری از سطح دریا در ۱۳ کیلومتری شهرستان هیرمند، انجام گرفت. از نظر آب و هوایی، این شهرستان دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. میانگین بارش سالیانه منطقه، در سال ۱۳۹۹ به میزان ۳۵/۶ میلی‌متر و در طول دوره رشد گیاه، میزان بارندگی کمتر از ۱ میلی‌متر و متوسط دما ۳۹ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل آبیاری پس از ۷۰ (به عنوان شرایط نرمال)، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر (به عنوان شرایط تنش) تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A، کرت‌های فرعی شامل دو رقم محلی سیستان و پرتو ماش و کرت‌های فرعی فرعی در سه سطح شامل محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (Sigma Aldrich, United States) بود. اعمال تنش خشکی از اواسط مرحله رشد رویشی انجام شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در سه مرحله شامل مرحله رشد رویشی (۲۰ روز پس از کاشت)، ابتدای مرحله گل‌دهی و انتهای مرحله گل‌دهی صورت گرفت.

در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۹، زمین مورد آزمایش، ابتدا آبیاری و پس از گاورو شدن، با گاوآهن شخم عمیق زده شد. پس از شکستن کلوخه ها توسط دیسک، ایجاد جوی و پشته با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم به صورت دستی انجام گرفت. مقادیر مناسبی از کودهای نیتروژن، فسفات و پتاسیم براساس ویژگی‌های خاک (جدول ۱)، در سطح زمین پخش شدند. کرت‌ها با ابعاد ۲ × ۳ متر با فاصله بین کرت نیم متر و فاصله سه متر بین تکرارها ایجاد شدند. در هر کرت ۵ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم در نظر گرفته شد. دانه‌های بذر در عمق سه سانتی‌متری خاک و با فاصله روی ردیف ۱۲ سانتی‌متر کشت شدند. در طول دوره رشد گیاه، عملیات داشت شامل تنک کردن و وجین علف‌های هرز، ۲ بار در مرحله رشد رویشی و یک بار در مراحل گل‌دهی و بذردهی انجام گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Soil physiological and chemical properties

بافت خاک Soil texture	شن Sandy (%)	رس Clay (%)	لای Silt (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	سدیم Na ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
لومی شنی Sandy loam	41	32	27	0.47	38.7	0.05	9.2	115	8.4	1.46

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک

در مهرماه و بعد از رسیدگی کامل گیاه جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد غلاف در متر مربع، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه (گرم)، وزن تر و خشک گیاه (گرم) و میزان عملکرد اقتصادی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، ۱۰ بوته بصورت تصادفی از سطح زمین برداشت و پس از شمارش یا اندازه‌گیری، با میانگین‌گیری داده‌ها ویژگی مورد نظر تعیین گردید.

استخراج و سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی

در ابتدای مرحله زایشی، بالاترین برگ‌های بوته‌ها جهت اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برداشت شدند. ۰/۰۵ گرم از بافت برگ خشک و آسیاب شده توزین و سپس با استفاده از دو سی‌سی استون ۸۰٪ حجمی در محیطی تاریک در دمای اطاق روی شیکر به مدت یک ساعت قرار داده شد. سپس عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. ۳۰۰ ماکرولیتر از سوپرناتانت را

برداشته در هر چاهک پلیت می‌ریزیم. جذب محلول‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Model Gold 54, USA) در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید طبق روابط زیر (۱-۴) بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$\text{کلروفیل a} = [(12.7\times A_{663})-(2.69\times A_{645})]\times V / 1000\times W \quad (۱)$$

$$\text{کلروفیل b} = [(22.9\times A_{645})-(4.69\times A_{663})]\times V / 1000\times W \quad (۲)$$

$$\text{کلروفیل کل} = [(20.2\times A_{645})+(8.02\times A_{663})]\times V / 1000\times W \quad (۳)$$

$$\text{کاروتنوئید} = \{[1000(A_{470})-1.8\,(chla)-85.02(chlb)]/198\}\times V/1000\times W \quad (۴)$$

در این روابط A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰٪ برحسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ برحسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC[1])

برای این منظور، برگ‌های تازه گیاه بلافاصله پس از تهیه، با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند و وزن تر (FW[2]) آن‌ها به دست آمد. در مرحله بعد برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه در دمای تقریباً ۲۲ درجه سانتی‌گراد در آب مقطر قرار داده شدند تا وزن اشباع (TW[3]) آن‌ها به دست آید. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و وزن خشک (DW[4]) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در پایان میزان محتوای آب نسبی برگ با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید (Diaz-Perez *et al.*, 2006).

$$(\%)\ RWC = [(WF-WD)/(WT-WD)]\times 100 \quad (۵)$$

اندازه‌گیری میزان پرولین

ابتدا مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد مخلوط و محلول حاصل پس از صاف کردن با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به دو میلی‌لیتر از عصاره، دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلایسیال خالص اضافه گردید. پس از یک ساعت قرارگیری لوله‌ها در بن‌ماری، مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن به هرکدام از لوله‌ها اضافه و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. پس از تشکیل دو بخش جداگانه، بخش بالایی رنگی (به رنگ زرد متمایل به قرمز)، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان پرولین با استفاده منحنی استاندارد و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973).

داده‌های پژوهش حاضر، با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای اثرات متقابل معنی‌دار برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون lsmeans انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و عملکرد (جدول ۲) نشان داد که بین سطوح تنش خشکی، رقم و کاربرد سالیسیلیک اسید از نظر کلیه صفات اختلافات معنی‌داری وجود دارد. اثرات متقابل تنش خشکی در رقم بر صفات ارتفاع بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ و بر صفات وزن تر و خشک بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار و بر سایر صفات غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر صفات تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، وزن تر و خشک بوته و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار و بر تعداد غلاف در متر مربع معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید به جز بر صفات وزن هزار دانه، وزن تر و خشک بوته بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل تنش در رقم در سالیسیلیک اسید نیز به جز بر صفات عملکرد دانه و تعداد غلاف در متر مربع بر سایر صفات اثرات معنی‌داری داشت. به دلیل پیچیدگی اثرات متقابل سه‌گانه به بررسی اثرات متقابل دوگانه معنی‌دار پرداخته می‌شود.

1. Relative water content
2. Fresh weight
3. Turgid weight
4. Dry weight

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد ارقام ماش تحت تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance results of effect foliar application of salicylic acid on morphological traits and yield of mung bean varieties under drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در متر مربع No. of pod/m^2	تعداد غلاف در بوته No. of pod/plant	تعداد دانه در غلاف No. of seed/pod	وزن هزار دانه 1000-grain weight	وزن تر بوته Wet weight of plant	وزن خشک بوته Dry weight of plant	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	4.53^{ns}	3791.5**	0.293^{ns}	0.237^{ns}	9.2**	1.48^{ns}	0.242^{ns}	1.77*
تنش خشکی Drought stress	2	2192.99**	100595.37**	162.41**	24.27**	61.35**	3835.57**	344.96**	129.79**
خطای (a) Error (a)	4	5.46	949.68	0.266	0.952	0.211	2.42	0.274	1.23
رقم Variety	1	1360.21**	24850.8**	38.86**	15.19**	55.59**	1406.94**	130.88**	41.27**
تنش ×رقم Drought×Variety	2	88.02**	1134.47^{ns}	0.082^{ns}	0.213^{ns}	0.785^{ns}	4.34*	2.365*	4.23**
خطای (b) Error (b)	6	22.92	663.95	0.394	0.152	0.318	2.1	0.179	0.194
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	295.08**	14169.15**	30.19**	9.99**	18.46**	622.58**	59.37**	22.42**
تنش × سالیسیلیک اسید Drought×Salicylic acid	4	18.77^{ns}	1375.84*	2.76**	0.185^{ns}	2.5**	175.14**	17.64**	4.08**
رقم× سالیسیلیک اسید Variety×Salicylic acid	2	9.95^{ns}	1353.3^{ns}	0.656^{ns}	1.84^{ns}	3.4**	43.1**	3.86**	0.624^{ns}
تنش ×رقم× سالیسیلیک اسید Drought×Variety×Salicylic acid	4	57.42**	751/5^{ns}	2.95**	1.96^{ns}	2.87**	89.23**	7.06**	1.2^{ns}
خطای (C) Error (C)	24	12.16	460.35	0.474	0.789	0.235	4.8	0.494	0.460
ضریب تغییرات CV (%)		5.05	11.81	4.4	8.14	2.33	5.08	5.39	15.19

ns، * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

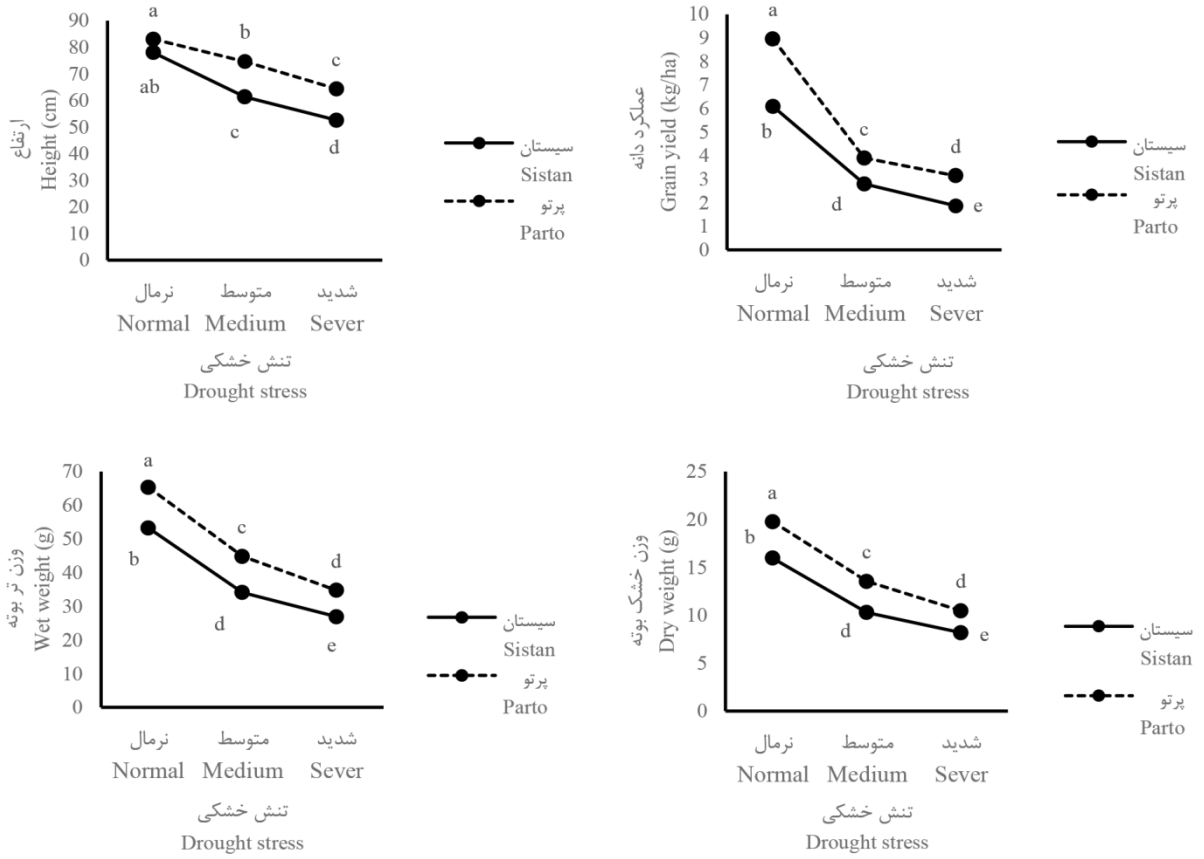
ns, * and ** are non-significant and significant differences in the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. بر اساس این نتایج، بیشترین ارتفاع مربوط به رقم پرتو در شرایط بدون تنش به میزان ۸۲ سانتی‌متر بود. با افزایش شدت تنش میزان ارتفاع در هر دو رقم کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین مقدار ارتفاع مربوط به رقم سیستان در شرایط تنش شدید به میزان ۵۲ سانتی‌متر بود. مقدار کاهش ارتفاع در رقم پرتو تحت شرایط تنش شدید نسبت به عدم تنش، به میزان ۲۲٪ بود درحالی‌که این مقدار در رقم سیستان حدود ۳۳٪ مشاهده شد (شکل ۱). میزان ارتفاع ارقام تحت شرایط آبیاری کامل، با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی با اعمال تنش، رقم سیستان بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش ارتفاع بیشتری را نشان داد. کاهش در ارتفاع بوته‌های ماش طی تنش (Ziaee *et al.*, 2018; Aghdasi *et al.*, 2017) و وجود اختلاف در ارتفاع ارقام ماش، در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Aslam *et al.*, 2004). در تحقیقی دیگر نیز رقم پرتو بیشترین ارتفاع را داشت و ارتفاع تحت تأثیر اثر متقابل رقم در تنش قرار گرفت به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع مربوط به رقم پرتو بود. این تفاوت‌ها احتمالاً به دلیل تأثیر عوامل ژنتیکی در کنار عوامل محیطی بر ارتفاع بوته است (Zarea and Galavi, 2013).

وزن تر و خشک تحت تأثیر اثرات متقابل تنش در رقم قرار گرفت. بیشترین میزان وزن تر و خشک مربوط به رقم پرتو در شرایط بدون تنش به ترتیب به میزان ۶۵/۳ و ۱۹/۷۶ گرم بود و با اعمال تنش مقدار این دو صفت کاهش پیدا کرد به‌طوری‌که وزن تر رقم پرتو ۴۶/۸٪ و رقم سیستان ۴۹/۵٪ و وزن خشک رقم پرتو ۴۷٪ و رقم سیستان ۴۸/۷٪ نسبت به شرایط عدم تنش، کاهش نشان دادند (شکل ۱).

عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش در رقم قرار گرفت به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به رقم پرتو در شرایط عدم تنش و کمترین مقدار مربوط به رقم سیستان در شرایط تنش شدید بود. میزان کاهش عملکرد در رقم پرتو کمتر از رقم سیستان و به میزان حدود ۶۵٪ بود درحالی‌که در مورد رقم سیستان حدود ۷۰٪ کاهش عملکرد مشاهده شد (شکل ۱).

تنش خشکی اثر منفی بر فرآیندهای فتوسنتز، تغذیه، روابط هورمونی و آبی گیاه دارد؛ همچنین تنش از طریق کاهش پتانسیل آب گیاه باعث کاهش رشد می‌شود. در شرایط نرمال ارتفاع بوته در رقم پرتو و محلی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند اما عملکرد دانه در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی بود. با افزایش تنش، ارتفاع هر دو رقم کاهش پیدا کرد و هم‌زمان با آن عملکرد دانه نیز کم شد که این کاهش عملکرد در رقم محلی بیشتر از رقم پرتو بود. بر اساس نتایج این تحقیق، صفات عملکرد و اجزای عملکرد در رقم پرتو بهتر از رقم محلی سیستان بود. نتایج این مطالعه برخلاف نتایج مطالعات قبلی مبنی بر تأثیر کمتر تنش بر رقم محلی است. در مطالعه‌ای بیشترین میزان عملکرد اقتصادی مربوط به رقم محلی سیستان بود. این تفاوت ممکن است به دلیل تفاوت در زمان و شدت اعمال تنش در دو آزمایش باشد که باعث شده دو رقم پاسخ متفاوتی به تنش نشان دهند. اختلاف در عملکرد ارقام را به ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها می‌توان مربوط دانست (Zarea and Galavi, 2013). احتمالاً وجود برخی ژن‌های برتر مقاومت به تنش در ارقام پرتو باعث بالاتر بودن عملکرد و اجزای آن نسبت به رقم محلی شده است.



شکل ۱- اثر متقابل تنش در رقم بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Interaction effects of stress × variety on yield and some of morphological traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش تعداد غلاف در متر مربع شده است. این افزایش، در غلظت ۱ میلی‌مولار و در شرایط عدم تنش بیشترین مقدار (۳۰۶/۷) بوده و طی تنش، کاربرد سالیسیلیک اسید در دو غلظت تأثیر معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد سالیسیلیک اسید داشته ولی بین دو غلظت اختلافات معنی‌دار نیست. کمترین تعداد غلاف در متر مربع (۱۰۹/۸) مربوط به شرایط تنش شدید و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید بود (شکل ۲). کاربرد سالیسیلیک اسید، تعداد غلاف در بوته را افزایش داد. این افزایش در غلظت ۱ میلی‌مولار و در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار (۲۰/۸) بود درحالی‌که در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید، کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۲/۵۸) مشاهده شد. بین غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش متوسط و شدید اختلافات معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). در مطالعاتی اثر سالیسیلیک اسید بر اجزای عملکرد لوبیا و ماش طی تنش خشکی بررسی و بیان شد که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش و بهبود تعداد غلاف در بوته در گیاهان تحت تنش شد (Senaratna *et al*., 2000; Nezhad *et al*., 2014). کاهش تعداد غلاف روی بوته و تعداد غلاف در متر مربع در شرایط تنش خشکی و دور کم آبیاری ممکن است ناشی از ریزش، سقط گل‌ها و نیز کاهش تعداد شاخه که در نهایت بر تعداد گل‌ها و نتیجتاً بر تعداد غلاف ها تأثیر دارد، باشد. محلول-پاشی سالیسیلیک اسید احتمالاً از طریق کاهش اثرات سوء تنش میزان ریزش گل‌ها را کاهش داده و باعث افزایش تعداد غلاف در بوته و نتیجتاً در متر مربع می‌شود (Kamalvandi and Mirshekari, 2013).

کاربرد سالیسیلیک اسید وزن هزار دانه را نیز افزایش داد. بیشترین وزن هزار دانه (۲۳/۹۲ گرم) مربوط به کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط بدون تنش بود و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید مشاهده شد. در شرایط تنش شدید بین عدم کاربرد و کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، درحالی‌که کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار آن، مقدار وزن هزار دانه را افزایش داد (۱۹/۶ گرم) (شکل ۲). وزن هزار دانه به علت کاهش میزان فتوسنتز و رسیدگی سریع دانه‌ها طی شرایط تنش، کاهش پیدا می‌کند. از طرفی با کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی در شرایط تنش، دوره مؤثر پر شدن دانه‌ها کم شده و در نتیجه میزان ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها کاهش می‌یابد. مجموعه این عوامل باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد (Amiri *et al*., 2011). احتمالاً کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید از طریق بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی، باعث افزایش میزان فتوسنتز شده و در نتیجه وزن هزار دانه را افزایش می‌دهد.

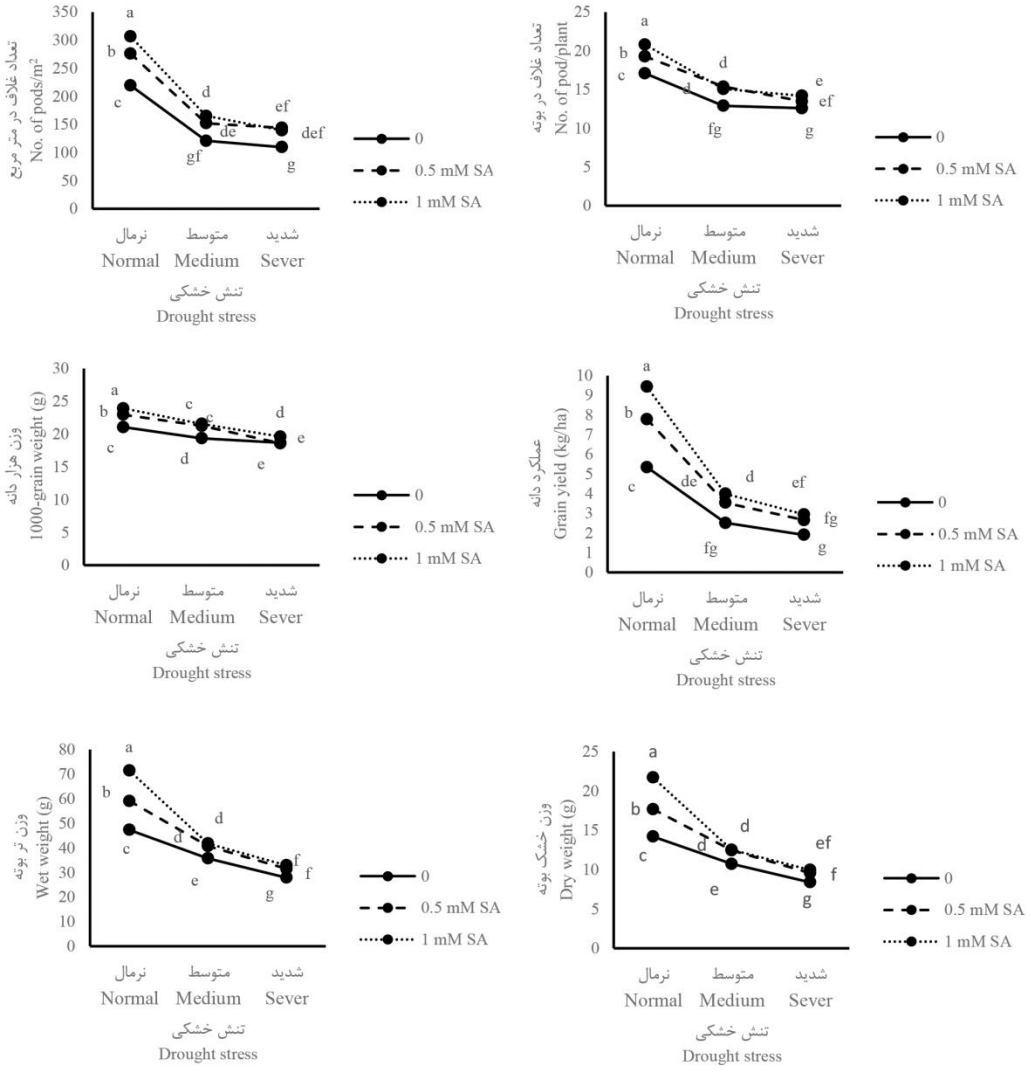
مقادیر وزن تر و خشک روند مشابهی داشتند. با افزایش شدت تنش، میزان این دو صفت کاهش پیدا کرد. کاربرد سالیسیلیک اسید میزان این صفات را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین مقدار وزن تر و خشک در شرایط بدون تنش و کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و کمترین مقدار آن‌ها در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. بین مقادیر وزن تر و خشک در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش متوسط و شدید تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۲). در شرایط فراهمی رطوبت گیاهان سطح فتوسنتز و ارتفاع خود را افزایش داده که این امر سبب تولید زیست‌توده بیشتر می‌شوند. کاهش وزن تر و خشک بوته‌ها طی تنش خشکی احتمالاً به دلیل کاهش رشد گیاه می‌باشد. در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلول ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و پیری و ریزش برگ‌ها باشد (Ahmed *et al*., 2002). همچنین در شرایط تنش به دلیل کاهش مقدار آب در دسترس، میزان فتوسنتز گیاه کاهش پیدا کرده و در نتیجه تولید ماده خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد (Yang *et al*., 2007). به نظر می‌رسد افزایش بیومس گیاه در اثر استفاده از سالیسیلیک اسید به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ماده در غشای سلولی است. تیمار با سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار لیگنین در ساختار دیواره سلولی می‌شود (Vafabakhsh *et al*., 2008) که این خود می‌تواند عاملی در افزایش وزن بیومس گیاهان در معرض تنش خشکی باشد. از طرفی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، باعث بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان فتوسنتز شده و وزن تر و خشک بوته‌ها را افزایش می‌دهد.

محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید میزان عملکرد دانه را افزایش داد. بالاترین میزان عملکرد در شرایط تنش و کاربرد ۱ و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود. طی تنش میزان عملکرد کاهش پیدا کرد درحالی‌که کاربرد سالیسیلیک اسید، عملکرد را افزایش

داد. بین غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ بنابراین می‌توان از غلظت ۰/۵ میلی‌مولار استفاده کرد (شکل ۲).

تنش از طریق کاهش رشد سلول‌ها و تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش رشد باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Jaleel *et al.*, 2009). از دیگر دلایل کاهش رشد، می‌توان کاهش فتوسنتز در طی تنش را نام برد (Yardanov *et al.*, 2003). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری، پارامترهای رشدی ماش را با کاهش آسیب‌های تنش شوری افزایش داد (Oraby *et al.*, 2013). همچنین سالیسیلیک اسید آسیب‌های ناشی از تنش شوری را با افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش عملکرد دانه در ماش کاهش داد (Khan *et al.*, 2010).

در بررسی اثر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر دو ژنوتیپ ماش (گوهر و پرتو) مشاهده شد که کاربرد سالیسیلیک اسید عملکرد و اجزای عملکرد این دو رقم ماش را تحت تنش، بهبود بخشیده است (Haidari *et al.*, 2019). سالیسیلیک اسید به عنوان یک مولکول سیگنالینگ مهم، باعث رشد و مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی می‌شود. سالیسیلیک اسید احتمالاً با افزایش غلظت پتاسیم، فسفر، نیتروژن و کلسیم باعث افزایش رشد و عملکرد می‌شود (Khan *et al.*, 2010). همچنین بهبود رشد، ممکن است به دلیل تأثیر این هورمون بر سایر هورمون‌های گیاهی افزایش‌دهنده رشد رویشی و افزایش میزان تقسیم سلولی در مناطق مریستمی و رشد سلولی باشد (Daneshmand *et al.*, 2014; Shakirova *et al.*, 2003).

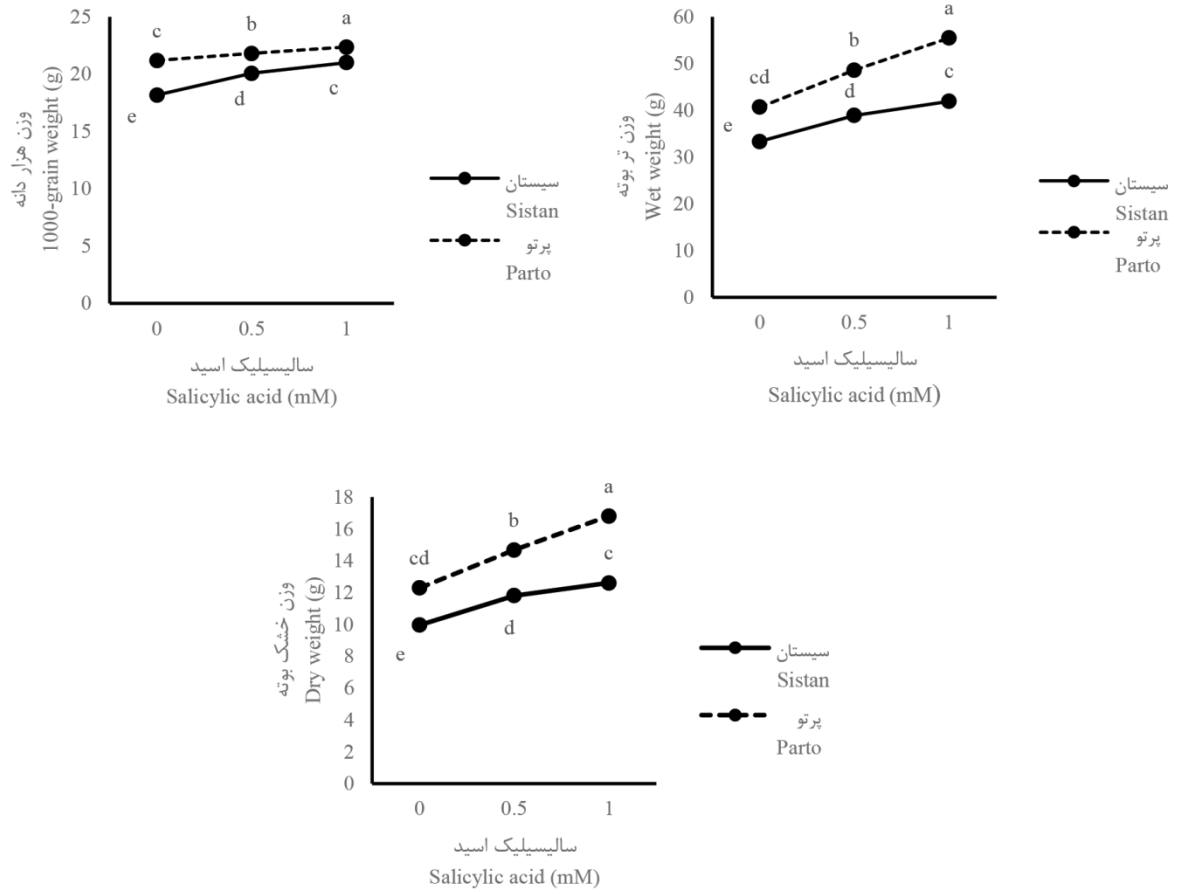


شکل ۲- اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 2- Interaction effects of stress × salicylic acid on yield and yield components of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید، بیشترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به رقم پرتو و کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و کمترین مقدار آن مربوط به رقم سیستان و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید بود. در کل رقم سیستان چه با کاربرد سالیسیلیک اسید و چه عدم کاربرد آن، کمترین مقدار وزن هزار دانه را داشت. با این‌حال با کاربرد سالیسیلیک اسید در رقم سیستان میزان وزن هزار دانه افزایش بیشتری را نسبت به شاهد نشان می‌دهد (حدود ۱۵٪ بیشتر) درحالی‌که در رقم پرتو این افزایش وزن هزار دانه حدود ٪۵ بود (شکل ۳).

در اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید، وزن تر و خشک بوته روند مشابهی داشتند. بیشترین وزن تر و خشک مربوط به رقم پرتو و در غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و کمترین مقدار آن مربوط به رقم سیستان و عدم کاربرد سالیسلیک اسید مشاهده شد. در هر دو رقم، غلظت ۱ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را بر وزن تر و خشک بوته داشت (شکل ۳).



شکل ۳- اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 3- Interaction effects of variety × salicylic acid on some of morphological traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

مطالعه ضرایب همبستگی بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که بین عملکرد دانه با کلیه صفات همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری وجود دارد. بالاترین میزان همبستگی، بین عملکرد دانه و تعداد غلاف در متر مربع (r =۰/۹۷) مشاهده شد. سایر صفات مورد بررسی مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و وزن تر و خشک گیاه نیز همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (جدول ۳)؛ بنابراین تنش تأثیر به‌سزایی در کاهش عملکرد و اجزای آن دارد. بر اساس مطالعات قبلی، تعداد غلاف در گیاه به عنوان یک جزء مهم و حساس در عملکرد می‌باشد، به‌طوری‌که گزارش شده است که تعداد دانه در بوته و تعداد نیام در بوته

بالاترین همبستگی مثبت را با عملکرد دانه داشته‌اند (Pokojska and Grzelak, 1996)؛ بنابراین براساس یافته‌های محققان با توجه به تأثیر تنش خشکی و کم‌آبی بر روی تعداد غلاف و کاهش آن‌ها، یقیناً تعداد غلاف به عنوان جزء مهمی از اجزای عملکرد تأثیر زیادی بر تعداد دانه در بوته دارد و کاهش تعداد غلاف باعث کاهش تعداد دانه در بوته نیز می‌گردد (Yaklich, 1984; Smartt, 1988).

جدول ۳- ضرایب همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام ماش تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید

Table 3- Correlation coefficients between yield and yield components of mung bean varieties under drought stress and foliar spray of salicylic acid

	تعداد غلاف در متر مربع No. of pod/m²	تعداد غلاف در بوته No. of pod/plant	تعداد دانه در غلاف No. of seed/pod	وزن هزار دانه 1000-grain weight	وزن تر بوته Wet weight of plant	وزن خشک بوته Dry weight of plant	عملکرد دانه Grain yield
تعداد غلاف در متر مربع No. of pod/m²	1						
تعداد غلاف در بوته No. of pod/plant	0.93**	1					
تعداد دانه در غلاف No. of seed/pod	0.74**	0.78**	1				
وزن هزار دانه 1000-grain weight	0.74**	0.83**	0.73**	1			
وزن تر بوته Wet weight of plant	0.9**	0.94**	0.79**	0.84**	1		
وزن خشک بوته Dry weight of plant	0.9**	0.94**	0.78**	0.83**	0.1**	1	
عملکرد دانه Grain yield	0.97**	0.93**	0.81**	0.79**	0.94**	0.93**	1

ns، * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant differences in the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان داد که بین سطوح تنش خشکی، رقم و کاربرد سالیسیلیک اسید از نظر تمامی صفات مورد بررسی اختلافات بسیار معنی‌داری وجود دارد. اثر متقابل تنش در رقم بر صفات محتوای نسبی آب برگ و پرولین بسیار معنی‌دار، بر میزان کلروفیل b و کاروتنوئید معنی‌دار و بر سایر صفات غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر محتوای آب نسبی برگ در سطح ۱٪ معنی‌دار و بر میزان کاروتنوئید در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر سایر صفات مورد بررسی غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید نیز بر میزان محتوای آب نسبی برگ بسیار معنی‌دار و بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار بود. اثرات متقابل تنش در رقم در سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها میزان کلروفیل b تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. بین ارقام پرتو و سیستان در شرایط نرمال، از نظر میزان کلروفیل b تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی با افزایش شدت تنش، رقم سیستان بیشتر تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید این کاهش در رقم سیستان ۳۷٪ و در رقم پرتو ۲۱٪ بود. در رقم سیستان، بین میزان کلروفیل b در شرایط تنش متوسط و شدید اختلاف معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در رقم پرتو، این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴). تنش خشکی باعث افزایش تولید ROS می‌شود و

کاهش میزان کلروفیل یکی از نشانه‌های معمول تنش اکسیداتیو است (Ebtedaee and Shekafandeh, 2016). این کاهش میزان کلروفیل b در رقم پرتو کمتر از سیستان بود که احتمالاً نشان‌دهنده کمتر بودن میزان تنش اکسیداتیو در این رقم است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام ماش تحت تنش خشکی

Table 4- Analysis of variance results of effect foliar application of salicylic acid on physiological and biochemical traits of mung bean varieties under drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	محتوای نسبی آب برگ RWC	میزان پرولین Proline
بلوک Block	2	0.0051^{ns}	0.001^{ns}	0.0107^{ns}	0.0077^{ns}	6.19**	0.333^{ns}
تنش خشکی Drought stress	2	3.22**	1.305**	8.61**	0.201**	9831.3**	6.2**
خطای (a) Error (a)	4	0.006	0.006	0.006	0.0042	4.28	0.181
رقم Variety	1	0.894**	0.518**	2.77**	0.261**	1873.21**	5.01**
تنش ×رقم Drought×Variety	2	0.038^{ns}	0.072*	0.092^{ns}	0.057**	26.79**	0.296**
خطای (b) Error (b)	6	0.005	0.021	0.027	0.006	0.86	0.492
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	0.689**	0.255**	1.74**	0.074**	1217.43**	2.03*
تنش × سالیسیلیک اسید Drought×Salicylic acid	4	0.014^{ns}	0.006^{ns}	0.012^{ns}	0.013*	229.56**	0.353^{ns}
رقم× سالیسیلیک اسید Variety×Salicylic acid	2	0.006^{ns}	0.0522^{ns}	0.031^{ns}	0.016*	12.68**	0.345^{ns}
تنش ×رقم× سالیسیلیک اسید Drought×Variety×Salicylic acid	4	0.142**	0.086**	0.438**	0.041**	61.64**	0.058**
خطای (C) Error (C)	24	0.0168	0.016	0.0405	0.0043	2.05	0.502
ضریب تغییرات CV (%)		7.77	7.98	6.17	8.7	2.86	8.33

ns، * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant differences in the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

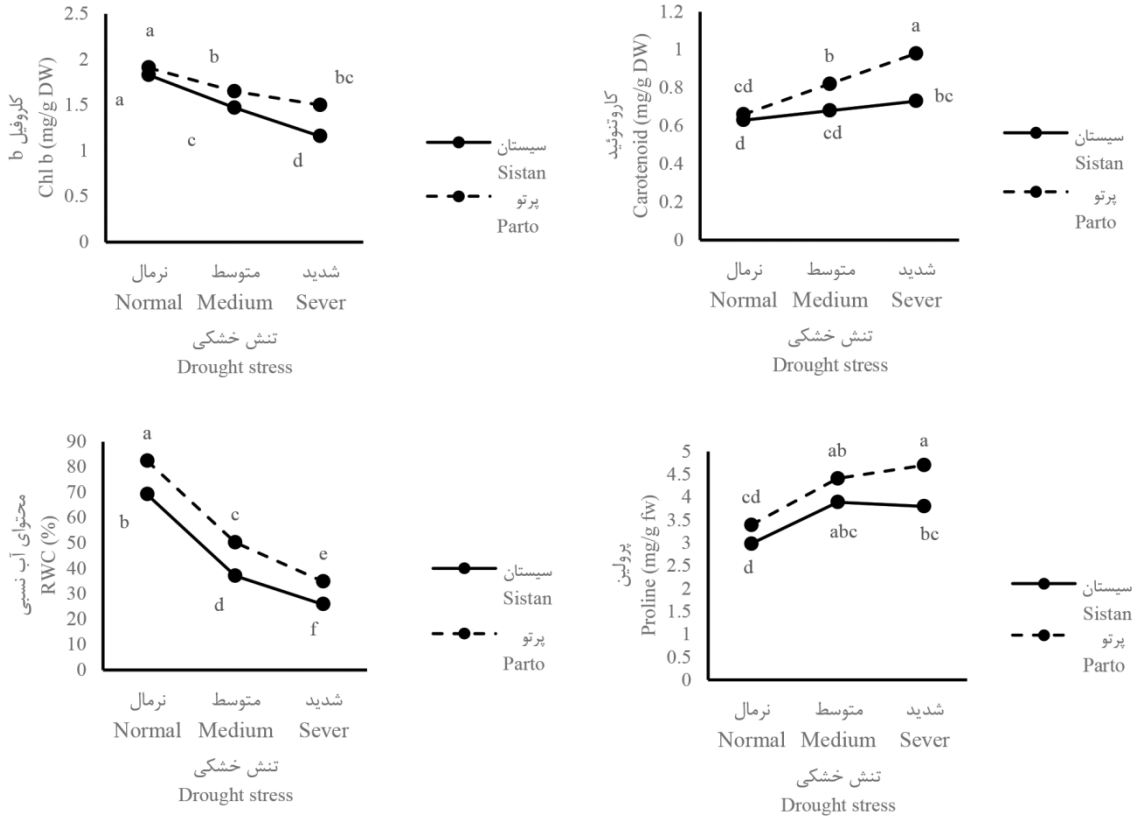
تنش خشکی مقدار کاروتنوئید را در هر دو رقم افزایش داد. این افزایش در رقم پرتو (۴۸/۵٪) بیشتر از رقم سیستان (۱۵/۸٪) بود. بالاترین میزان کاروتنوئید، تحت تنش شدید و در رقم پرتو مشاهده شد. بین میزان کاروتنوئید در شرایط تنش متوسط و شدید در رقم سیستان، تفاوت آماری معنی‌داری نبود (شکل ۴). این نتایج با یافته‌های مطالعه محققان بر روی گندم (Emam *et al*., 2013) و تریتیکاله (Hoseini *et al*., 2016) مبنی بر اینکه با افزایش شدت تنش، میزان کاروتنوئید افزایش می‌یابد هم‌خوانی دارد. در بین رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئیدها در مقاومت گیاهان بر علیه تنش خشکی مؤثرتر هستند، از جمله نقش‌های کاروتنوئیدها، جذب و انتقال فوتون‌های نوری و حفاظت بر علیه آسیب‌های اکسیداتیو ایجاد شده توسط تنش خشکی می‌باشد. همچنین کاروتنوئیدها به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مؤثر، باعث حذف رادیکال‌های آزاد و در نتیجه مقاومت به تنش می‌شوند (Jaleel *et al*., 2009). میزان کاروتنوئید در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی است احتمالاً یک دلیل مقاوم‌تر بودن رقم پرتو نسبت به رقم سیستان به تنش خشکی، همین افزایش میزان کاروتنوئید است.

محتوای آب نسبی تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. تحت شرایط تنش میزان محتوای آب نسبی کاهش پیدا کرد که این کاهش در رقم پرتو به میزان ۵۷/۷٪ و در رقم سیستان ۶۲/۶٪ بود (شکل ۴). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تنش بر محتوای نسبی آب برگ رقم سیستان بود. تقریباً میزان رطوبت نسبی دو رقم با شیب یکسان کاهش پیدا کرد ولی در کل میزان آن در هر سه شرایط در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی بود. کاهش در محتوای رطوبت نسبی با نتایج مطالعات دیگر بر روی ماش (Ziaee *et al*., 2017; Moradi *et al*., 2008) و خردل (Fazeli Kakhki *et al*., 2014) همسو می‌باشد. محتوای آب نسبی، میزان جذب آب توسط بافت‌ها و سلول‌های گیاه را نشان می‌دهد (Silva *et al*., 2007) و در واقع نشان‌دهنده میزان فعالیت متابولیکی در بافت‌های گیاه است (Sadeghipour and Aghaei, 2012). کاهش محتوی نسبی آب برگ طی تنش خشکی ممکن است به دلیل بسته شدن روزنه‌ها باشد و علت بسته شدن روزنه‌ها را هورمون اسید آبسیزیک ساخته شده در ریشه، در طی شرایط تنش خشکی می‌دانند که در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Khan *et al*., 2010).

میزان پرولین نیز به شدت تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. در هر دو رقم میزان پرولین در شرایط تنش متوسط بیشتر از شرایط نرمال (در هر دو رقم حدود ۷۷٪) بود. با افزایش شدت تنش، تغییر در میزان پرولین چندان چشم‌گیر نبود به‌طوری‌که بین تنش متوسط و شدید دو رقم، اختلافات معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴). افزایش میزان پرولین طی تنش، در آزمایشات صورت‌گرفته توسط محققین دیگر در گیاهانی مانند لوبیا قرمز و ژنوتیپ‌های ماش گزارش شده است (Ziaee *et al*., 2017; Shoghian and Roozbahani, 2017) افزایش پرولین طی تنش خشکی ممکن است ناشی از تجمع پرولین به موازات افزایش فعالیت آنزیم‌های شرکت‌کننده در سنتز پرولین از طریق مسیر گلوتامیت و تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها باشد (Fujita *et al*., 2003; Amini *et al*., 2014). همچنین در گیاهان تحت تنش، سنتز پرولین افزایش و تخریب پرولین، صورت نمی‌گیرد. افزایش میزان پرولین در شرایط تنش، باعث محافظت پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد (Ghorbanali *et al*., 2013).

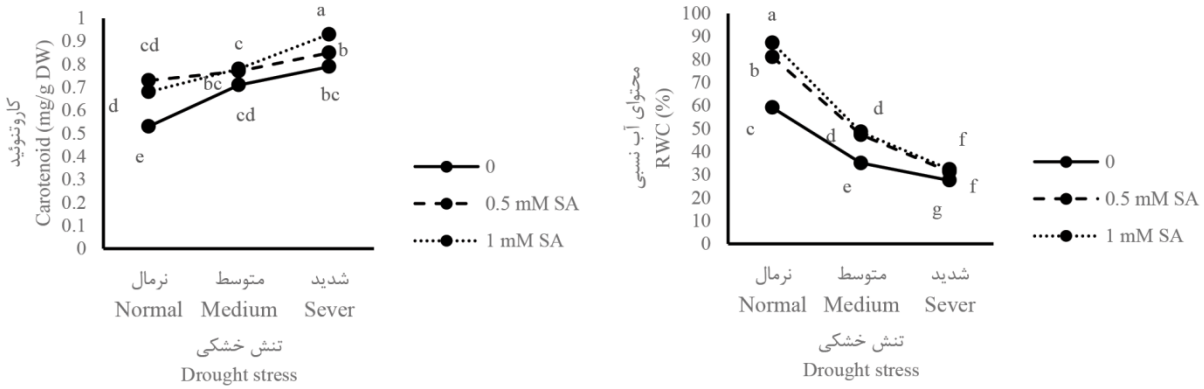
میزان کاروتنوئید، تحت تأثیر اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید قرار گرفت. کاروتنوئید در شرایط تنش شدید و کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار و پس از آن در شرایط تنش شدید و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار بالاترین میزان بود. کمترین میزان پرولین در شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. با افزایش میزان تنش مقدار پرولین افزایش پیدا کرد که این افزایش با کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار بود (شکل ۵). افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید با کاربرد سالیسیلیک اسید طی تنش خشکی، در لوبیا قرمز (Shoghian and Roozbahani, 2017) و ذرت (Mehrrabian moghaddam *et al*., 2011) نیز گزارش شده است. این بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی به دلیل این است که سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و از آسیب به رنگدانه‌ها جلوگیری می‌کند.

محتوای آب نسبی برگ با افزایش تنش کاهش پیدا کرد. بالاترین مقدار محتوای آب نسبی برگ در شرایط نرمال و کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود؛ به عبارتی کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط نرمال محتوای آب نسبی برگ را افزایش داد. بین میزان محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش متوسط و شدید با کاربرد ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۵)؛ بنابراین در شرایط تنش، کاربرد غلظت‌های ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به یک میزان باعث افزایش محتوای آب نسبی شده است. افزایش در میزان سالیسیلیک اسید طی تنش خشکی، مطابق با یافته‌های گذشته روی ماش (Heidari *et al*., 2019) و لوبیا (Mehrrabian moghaddam *et al*., 2011) می‌باشد. این افزایش در محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سالیسیلیک اسید را به مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش سیستم ضد اکسایشی و در پی آن افزایش مقدار پتاسیم نسبت داده‌اند که این امر سبب افزایش فشار آماس سلولی، افزایش محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب و در نتیجه کاهش مقاومت روزنه‌ای برگ می‌گردد (Raskin, 1992; Delvari Parizi *et al*., 2012).



شکل ۴- اثر متقابل تنش در رقم بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 4- Interaction effects of stress × variety on physiological and biochemical traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

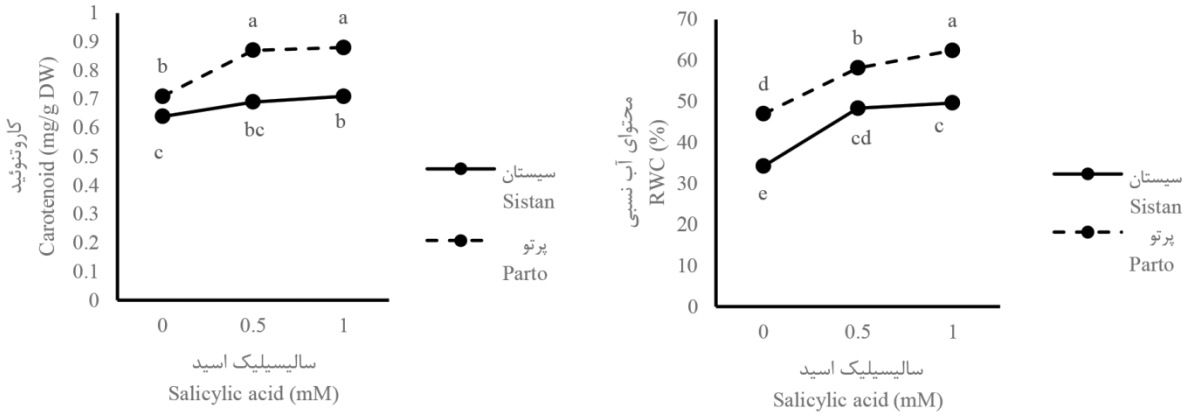


شکل ۵- اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 5- Interaction effects of stress × salicylic acid on physiological and biochemical traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

میزان کاروتنوئید تحت تأثیر اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید قرار گرفت. بین کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۵ و یک میلی‌مولار در هر دو رقم سیستان و پرتو از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در رقم پرتو بین عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار آن تفاوت معنی‌دار مشاهده شد اما در رقم سیستان این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل ۶).

کاربرد سالیسیلیک اسید در هر دو رقم، محتوای آب نسبی برگ را افزایش داد. بالاترین محتوای آب نسبی برگ در غلظت یک میلی‌مولار و در رقم پرتو به میزان ۶۲/۴۴٪ بود و کمترین مقدار آن در رقم سیستان و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید به میزان ۳۴/۲۵٪ بود. در واقع کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در رقم پرتو، محتوای آب نسبی برگ را به میزان ۲۵٪ نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۶).



شکل ۶- اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 6- Interaction effects of variety × salicylic acid on physiological and biochemical traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی بر روی کلیه صفات مورد بررسی اثر منفی داشت. تنش خشکی میزان پرولین را افزایش داد افزایش پرولین باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید، در مقایسه با گیاهان کنترل باعث افزایش میزان تمامی صفات شد. بر اساس این نتایج، اثر سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش و در رقم پرتو بیشترین مقدار بود. در بین ارقام مورد بررسی، رقم پرتو از نظر کلیه صفات، بهتر عمل کرد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث بهبود مقاومت به تنش خشکی در هر دو رقم شد این بهبود صفات در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی سیستان بود. در بین اجزای عملکرد، صفت تعداد غلاف در متر مربع بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد دانه داشت. بر اساس نتایج این آزمایش، طی شرایط تنش، در جهت بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه ماش کاربرد سالیسیلیک اسید توصیه می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد در شرایط سیستان، رقم پرتوی ماش بهتر از رقم محلی سیستان عمل می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

Aghdasi, S., Modares Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M. and Keshavarz, H. 2018. Effect of foliar application of Iron and Manganese on yield and yield components of Mungbean under water deficit stress. *Water and Soil Science (Agricultural Science)*, 28(3): 13-25. (In Persian).

Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y. and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mung bean subjected to water logging. *Journal Plant Science*, 163: 117-123.

Ali, E.A. and Mahmoud, A.M. 2013. Effect of foliar spray by different salicylic acid and zinc concentrations on seed yield and yield components of mungbean in sandy soil. *Asian Journal of Crop Science*, 5(1): 33-40.

Amini, Z., Moallemi, N. and Saadati, S. 2014. Effects of water deficit on proline content and activity of antioxidant enzymes among three olive (*Olea Europaea* l.) cultivars. *Journal of Plant Research*, 27(2): 156-167. (In Persian).

Amiri, A., Parsa, S.R., Nezami, M. and Ganjeali, A. 2011. The effects of drought stress at different phonological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1: 69-84. (In Persian).

Anwar, F., Latif, S., Przybylski, R., Sultana, B. and Ashraf, M. 2007. Chemical composition and antioxidant activity of seeds of different cultivars of mungbean. *Journal of Food Science*, 72(7): 503-510.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1): 1.

Ashraf, M., Din, M. and Warrich, N. 2003. Production efficiency of mung bean (*Vigna radiata* L.) as affected by seed inoculation and NPK application. *International Journal of Agriculture* and *Biology*, 5: 179-180.

Aslam, M., Hussain, M., Nadeem, M.A. and Haqqani, A.M. 2004. Comparative efficiency of different mungbean genotypes under Agroclimatic conditions of Bhakkar. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 2(1): 51-53.

Aslam, M., Khan, I.A., Saleem, M. and Ali, Z. 2006. Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. *Pakistan Journal of Botany*, 38: 1571-1579.

Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-107.

Daneshmand, F., Arvin, M.J. and Keramat, B. 2014. Changes caused by salicylic acid in safflower plants under salinity tension. *Journal of Plant Researches*, 27(2): 204-215.

Delavari Parizi, M., Baghizadeh, A., Enteshari, S.H. and Khosrow Manouchehri Kalantari, K. 2012. The study of the interactive effects of salicylic acid and salinity stress on induction of oxidative stress and mechanisms of tolerance in *Ocimum basilicum* L. *Journal of Plant Biology*, 4(12): 25-36. (In Persian).

Diaz-Perez, J.C., Shackel, K.A. and Sutter, E.G. 2006. Relative water content. *Annals of Botany*, 97(1): 85-96.

Ebtedaee, M. and Shekafandeh, A. 2016. Morph-Physiological changes of two cultivars of pomegranate 'Rabab' and 'Shisheh Gap' under water stress conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 17(2): 209-220. (In Persian).

El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45: 215-224.

Emam, Y., Karimzadeh, H.A., Mori, S. and Maghsudi, K. 2013. Biochemical responses of two wheat cultivars to late season drought stress and auxin and cytokinin application. *Journal of Plant Process and Function*, 2(3): 65-74. (In Persian).

Fazeli Kakhki, S.F., Ghiasabadi, M. and Goldani, M. 2014. Effect of salicylic acid on drought stress through improving some morphological, physiological and yield components traits of mustard plant (*Brassica compestris* var. parkland). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(1): 65-77. (In Persian).

Fujita, T., Maggio, A., Rios, M.G., Stauffacher, C., Bressan, R.A. and Csonka, L.N. 2003. Identification of regions of the tomato – glutamyl kinase that are involved in allosteric regulation by proline. *Journal of Biological Chemistry*, 278: 14203-14210.

Qasedi, S. and Hadi, H. 2014. Effect of salicylic acid on growth indices of mung bean (*Vigna radiata* L.) under water deficit stress. *Agroecology Journal*, 9(3): 49.

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T. and Allahverdi Mamaghani, B. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydro ascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(2): 651-658.

Hasani, A. and Omid Beygi, R. 2002. Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics of Basil (*Ocimum Basilicum*). *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 12(3): 47-59. (In Persian).

Heidari, H., Alizadeh, Y. and Fazeli, A. 2019. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean (*Vigna radiata* L.) under drought stress condition. *Journal of Plant Production Research*, 26(2): 127-141. (In Persian).

Hashempour, A., Ghasemnezhad, M., Ghazvini, R.F. and Sohani, M.M. 2014. The physiological and biochemical responses to freezing stress of olive plants treated with salicylic acid. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61(4): 443-450.

Hoseini, S.S., Cheniany, M., Lahouti, M. and Ganjeali, A. 2016. Evaluation of resistance to drought stress in seedlings of two lines of Triticale (Triticosecale × Wittmack) with emphasis on some enzymatic and non-enzymatic antioxidants. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8(30): 27-42. (In Persian).

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Jubuti, H.j., Somaasundrram, R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Agriculture Biology*, 11: 100-105.

Jeyakumar, P., Velu, G., Rajendran, C., Amutha, R., Savery, M.A.J.R. and Chidambaram, S. 2008. Varied responses of black gram (Vigna mungo) to certain foliar applied chemicals and plant growth regulators. *Legume Research-An International Journal*, 31(2): 105-109.

Kamalvandi, S. and Mirshekari, F. 2013. Effect of drought stress on yield and yield components of Mung cultivars. *Journal of Plant Production Science*, 4(2): 14-18. (In Persian).

Keikha, M., Noori, M. and Keshtehgar, A. 2017. Effect of salicylic acid and gibberellin on yield and yield components of Mungbean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2): 138-151. (In Persian).

Khan, N., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R. and Iqbal, N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, 1(1): 1-8.

Lakhanpaul, S.S.C. and Bhat, K.V. 2000. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis in Indian mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] cultivars. *Genetica*, 109: 227-234.

Maasoumi, G., Lahouti, M. and Mahmoodzadeh, H. 2016. Effect of combined application of salicylic acid and zinc on germination indices and vegetative growth of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Crop Physiology Journal*, 8(30): 121-133. (In Persian).

Maity, U. and Bera, A.K. 2009. Effect of exogenous application of brassinolide and salicylic acid on certain physiological and biochemical aspects of green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Indian Journal of Agricultural Research*, 43(3): 194-199.

Mehrrabian moghaddam, N., Arvin, M.J., Nezhad, G.K. and Maghsoudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 27-2(1): 41-55. (In Persian).

Moradi, A., Ahmadi, A. and Hosseinzadeh, A. 2008. Agro-physiological responses of mung bean (Cv. Partov) to severe and moderate drought stress applied at vegetative and reproductive growth stages. *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 12(45): 659-671. (In Persian).

Nezhad, T.S., Mobasser, H.R., Dahmardeh, M. and Karimian, M. 2014. Effect of foliar application of salicylic acid and drought stress on quantitative yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Novel Applied Sciences*, 3(5): 512-515.

Orabi, S.A., Mekki, B.B. and Sharara, F.A. 2013. Alleviation of adverse effects of salt stress on faba bean (*Vicia faba* L.) plants by exogenous application of salicylic acid. *World Applied Sciences Journal*, 27(4): 418-427.

Pokojska, H. and Grzelak, K. 1996. Influence of seed maturity on germination, vigour and protein and tannin contents in faba bean (*Vicia faba* L. var. minor). *Plant Breeding and Seed Science*, 40: 11-20.

Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Journal of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 439-463.

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189- 1202.

Sadeghipour, O. and Aghaei, P. 2012. Response of common bean to exogenous application of salicylic acid under water stress conditions. *Environmental Biology*, 6: 1160-1168.

Sangakkara, U.R., Frehner, M. and Nosberger, J. 2001. Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiata* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186: 73-81.

Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30: 157-161.

Shakirova, F.M., Skhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fathutdinova, R.A. and Fathutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164(3): 317-322.

Shoghian, M. and Roozbahani, A. 2017. The effect of salicylic acid foliar application on morphological traits, yield and yield components of red bean under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 9(34): 131-147. (In Persian).

Shokouhfar, A. and Abofatilehnazhad, S. 2013. Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*vigna radiate* (l.)) in dezful. *Crop Physiology*, 5(17): 49-59. (In Persian).

Silva, M.D.A., Jifon, J.L., Da Silva, J.A. and Sharma, V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3): 193-201.

Singh, G.U.R B.A.K.S.H. and Kaur, M. 1980. Effect of growth regulators on podding and yield of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Indian Journal of Plant Physiology*, 23: 366-370.

Smartt, J. 1988. Evolution and evolutionary problems in food legumes. *Economic Botany*, 34: 219-235.

Sodaii zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A.M. and Hakim zadeh, M.A. 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal* of *Plant Process and Function*, 5(15): 1-12. (In Persian).

Sujatha, K.B. 2001. Effect of foliar spray of chemicals and bioregulators on growth and yield of greengram (*Vigna radiata* L.). M.Sc. Thesis, Tamil Nadu Agriculture University Coimbatore.

Thomas, M.T. and Gausling, T. 2000 Morphological and physiological responses of oak (*Quercuspet raea* and *Q. robur*) to moderat drought. *Annals of Forest Science*, 57: 325-333.

Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A. 2008. Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of winter Canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1): 193-204. (In Persian).

Yaklich, R.W. 1984. Moisture stress and soybean seed quality. *Journal of Seed Technology*, 9: 60-67.

Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y.Z., Yao, X.Q. and Yin, H.J. 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosyntetica*, 45(4): 613-619.

Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Plant Physiology*, 21: 187-206.

Zarea, J. and Galavi, M. 2013. The study of phenological traits, yield and yield components of three Mungbean (*Vigna radiate* (L.) Wilczek) cultivars to deficit irrigation in Sistan region. *Iranian Journal of Pulses Research*, 4(2): 51-64. (In Persian).

Ziaee, M., Khazaei, H.R. and Nezami, A. 2017. Investigation the effect of different levels of irrigation on morph physiological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiate* L.). *Crop Physiology Journal*, 9(34): 5-21. (In Persian).

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 1, Spring and Summer 2022, P. 153-171

Effects of application of salicylic acid under the drought stress on morphophisiological and biochemical traits of two varieties of mung bean (*Vigna radiata* L.) in Sistan

Masoud Barjas[1], Leila Mehravaran[2*], Maryam Allahdou[2], Salehe Ganjali[2]

[1] M.Sc. Graduated of Genetics and Plant Breeding, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Plant Breeding and Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran

[*]Corresponding Author: lmehravaran@uoz.ac.ir

Received: 8 October 2021 Accepted: 25 December 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.309460.1139**

Abstract

Introduction: One of the most common environmental stresses that affect plant growth and development is drought stress. This stress directly impacts plant morphology, physiology, and biochemistry of plants. Salicylic acid (SA) is a signaling molecule and hormone-like substance that plays an important role in growth and physiological processes, as well as in the regulation of plant growth and development. The purpose of this research was to determine the effects of SA foliar application on morphological, physiological, and biochemical traits of two mung bean genotypes under drought stress.

Materials and Methods: This experiment was conducted in 2020 at Shandel village, 13 Km away of Zabol. A split plot design within a randomized complete block design with three replications was used. The main-plots were included irrigation after 70 (as normal conditions), 120, and 180 mm evaporation (as stress conditions) from Class A Evaporation Pan, and the sub-plots include two local cultivars of Sistan and Parto mung bean, and sub-sub-plots included the foliar application of distilled water (control), foliar application of 0.5 and 1 mM SA. Drought stress was applied in the middle of the vegetative growth stage. The foliar application of SA was done in three stages: the vegetative growth stage (20 days after planting), beginning of flowering stage and end of flowering stage. After full plant maturity, plant height, biomass, grain yield and yield components, photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoid), Relative Water Content (RWC), and proline of mung bean were measured.

Results and Discussion: Analysis of variance of yield traits and yield components revealed significant differences between drought stress levels, cultivar, and application of SA for all traits. The interaction effects of drought stress in cultivar on plant height and grain yield at 1% probability level and on fresh and dry plant weight at 5% probability level were significant and non-significant, respectively, while the interaction effects on other traits were not significant. The interaction effect of stress and SA was significant for the number of pods per plant, thousand seed weight, fresh and dry weight of the plant, grain yield, and the number of pods per m^2. The interaction effect between SA and cultivar were not significant on 1000-seed weight, fresh and dry weight of the plant. The interaction of stress × cultivars, and SA was significant on all traits except grain yield and the number of pods per square meter.

Drought stress has a profound effect on photosynthesis and water potentials of plant. Grain Yield and yield components were better in Parto cultivar than local Sistan cultivar. It is possible that the presence of superior stress resistance genes in Parto cultivars has caused higher yield and yield components than the local cultivar. Application of SA increased pod production per plant. Foliar application of SA probably reduces flower loss by reducing the adverse effects of stress and increases the number of pods per plant and consequently the number of pods per square meter. Foliar application of SA increases photosynthesis by improving photosynthetic pigments. In addition, foliar application of SA enhances photosynthesis, resulting in an increase in 1000-seed weight. SA, as an important signaling molecule, promotes plant growth and induced abiotic stress tolerance. Likely SA increases growth and yield by increasing potassium, phosphorus, nitrogen, and

calcium concentrations. The effect of this hormone on other plant hormones that increase vegetative growth and increase cell division in meristematic regions, and cell growth may also contribute to the growth enhancement.

Conclusions: Based on the present study findings, drought stress had a negative effect on all traits examined. The effect of SA at a concentration of 1 mM was the highest in non-stress conditions and in the Parto cultivar. The Parto cultivar was better compared to another cultivar. Foliar application of SA improved drought resistance in both cultivars. This improvement was greater in Parto cultivar than local Sistan cultivar. Based on the results of this experiment, it is recommended to improve the yield and growth characteristics of mung bean during stress conditions. It also seems that Parto cultivar performs better in Sistan's conditions than the local cultivar of Sistan.

Keywords: Environmental stress, Leguminose, Photosynthetic pigments, Proline, Yield components