اثر اسیدسالیسیلیک بر صفات عملکرد و میزان آسمولایت‌های تربچه (*Raphanus sativus* L.) در شرایط تنش رطوبتی

مژگان قنبری*[1]، محسن فرزانه[1]، علیرضا افتخاریان جهرمی[2] و شورانگیز جوانمردی[2]

چکیده

خشکی یکی از تنش‌های محیطی مهم است که بر رشد و نمو گیاهان آثار مخرب و زیان‌آوری وارد می‌سازد. یکی از روش‌های مقابله با اثرات مضر این تنش، استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند اسیدسالیسیلیک می‌باشد. بدین منظور، این پژوهش به‌منظور بررسی اثر اسیدسالیسیلیک روی صفات عملکرد و میزان آسمولایت‌های تربچه رقم تجاری Radish cherry belle انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی شیراز در سال ۱۳۹۰ انجام شد. پس از گسترده شدن دومین برگ حقیقی تربچه، تنش رطوبتی به صورت کشت گلدانی با خاک رسی شنی اعمال گردید. تنش رطوبتی در سه سطح: آبیاری به فاصله یک روز (شاهد)، سه روز (تنش ملایم) و پنج روز (تنش شدید) و اسیدسالیسیلیک در سه سطح: صفر، یک و دو میلی‌مولار اعمال شد. جهت بررسی صفات عملکرد شامل: طول، قطر، وزن و سفتی بافت هیپوکوتیل (بخش زیر زمینی و خوراکی تربچه) مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین برای بررسی اثر اسیدسالیسیلیک بر میزان آسمولایت‌ها (پرولین و کربوهیدرات‌های محلول) در شرایط تنش رطوبتی به‌ترتیب برگ پنجم و ششم بوته‌ها مورد بررسی قرار گرفت. اثر متقابل تنش رطوبتی و اسیدسالیسیلیک بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار شد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک می‌تواند اثر منفی ناشی از تنش رطوبتی را در گیاه تربچه کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، تربچه، آسمولایت، اسیدسالیسیلیک.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۲۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، گروه علوم باغبانی، باشگاه پژوهشگران جوان، شیراز، ایران.

*** نویسنده مسئول: mojgan.ghanbari@ymail.com**

۲- به‌ترتیب استادیار و محقق دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، گروه علوم باغبانی، شیراز، ایران.

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد خود پیوسته به وسیله عوامل نامساعد محیطی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بعضی از این عوامل نامساعد مانند تنش رطوبتی، رشد و نمو گیاهان را محدود می‌کند. تنش رطوبتی جزء تنش‌های عمومی می‌باشد که آثار بسیار نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد (Blum, 2005). خشکی به عنوان عامل محدودکننده غیر زنده، اثر بسیار نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد (Cheong *et al.,* 2003). خشکی در ایران و جهان پدیده‌ای اجتناب ناپذیر است که همه‌ساله با شدت‌های متفاوتی، تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی را با مخاطره روبرو می‌سازد. عدم بارندگی کافی و توزیع غیر یکنواخت آن در طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث شده است که کشت بیشتر محصولات کشاورزی فقط با آبیاری امکان‌پذیر گردد. کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی و در نتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد. بسیاری از موجودات زنده، در تنش‌های محیطی از جمله خشکی، موادی در یاخته‌هایشان تجمع می‌یابد که از اجزای طبیعی یاخته‌اند. از جمله این مواد قندها، پرولین و بتائین[1] هستند. در این میان تجمع برخی اسیدهای آمینه مثل پرولین بارزترین و رایج‌ترین نوع است. تجمع اسید آمینه پرولین در باکتری‌ها، جلبک‌ها و گیاهان عالی گزارش شده است و به عنوان یک واکنش اولیه موجود زنده در مقابل افزایش فشار اسمزی در محیط می‌باشد. بنابراین تجمع آن، در ابتدا به وسیله کاهش آب بافت‌ها یا یاخته‌ها آغاز می‌شود (Bates *et al.,* 1973; Hanson *et al.,* 1977; Mc Michael and Elmore, 1977)

پرولین محلول تحت چندین نوع از استرس‌های محیطی از قبیل شوری (Chu *et al.,* 1974) خشکی (Boggess *et al.*,1976) و دمای پایین (Chu *et al.*,1974) در بافت گیاهان تجمع می‌یابد. میزان تجمع پرولین با توجه به میزان تنش و نیز نوع تنش (خشکی یا شوری) و حتی نوع نمک مورد استفاده برای شوری متفاوت است. هم‌چنین میزان تجمع پرولین با پروتئین محلول در سیتوپلاسم در ارتباط می‌باشد. غلظت‌های بالای پرولین به همراه پروتئین محلول در سیتوپلاسم در مقابله با تنش‌ها مفیدتر است (Orcutt and Nilse, 2000).

هم‌چنین خشکی بر فرآیند فتوسنتز در گیاهان تاثیر مهمی گذاشته، انتقال سریع الکترون‌ها را کاهش داده و تشکیل مواد اولیه فتوسنتز را تغییر می‌دهد. از جمله، بر میزان کربوهیدرات‌های گیاهان موثر است. کربوهیدرات‌های مرکب به کربوهیدرات‌های ساده تجزیه شده و بنابراین در اثر خشکی بر میزان قندهای محلول اضافه می‌شود. بررسی اثر خشکی بر رشد گیاه *Lonicera japonica* نشان داد که محتوای قندهای محلول در گیاه تحت تاثیر تنش خشکی افزایش یافته است (Xu *et al.,* 2006). پاسخ‌های بیوشیمیایی برگ‌های دو رقم سیب تحت تنش خشکی نشان داد که تنش‌های متوسط، میزان تجمع قندهای محلول را در گیاهان افزایش می‌دهد (Sircelj *et al.,* 2005). هم‌چنین بررسی‌های انجام شده بر متابولیسم قند و توسعه گل‌های رز نشان می‌دهد که تنش بر میزان قندهای محلول می‌افزاید، در حالی که از میزان نشاسته و فروکتان[2] کاسته می‌شود (Mayak *et al*., 2001).

امروزه روش‌های متفاوتی برای مقابله با اثرات تنش کمبود آب مد نظر قرار گرفته است (Royo *et al.,* 2004). در شرایط کمبود آب، استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند اسیدسالیسیلیک باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود و به عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش‌های محیطی به حساب می‌آید. این تنش‌ها شامل گرما (Dat *et al*., 1998)، سرما (Kang & Saltveit, 2002; Tasgin *et al*., 2003)، فلزات سنگین و خشکی (Singh and Usha, 2003) می‌باشد.

اسیدسالیسیلیک یک ترکیب فنلی و هورمونی می‌باشد که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد داخلی نقش مهمی در مکانیزم‌های دفاع در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده بازی می‌کند (Zalai *et al*., 2000). اسیدسالیسیلیک در دوره تنش کمبود آب از طریق تاثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدان باعث تاخیر در لوله شدن برگ گیاهان (Kadioglu *et al*., 2011) شده و هم‌چنین

[1] Betaine

[2] Fruktan

باعث محافظت رنگدانه‌های گیاهی، آنتی اکسیدان‌ها و آنزیم‌ها می‌شود (Chaves *et al*., 2009).

تربچه یکی از سبزی‌های ریشه‌ای با نام علمی *Raphanus sativus* L. متعلق به خانواده چلیپائیان[1] می‌باشد. قسمت هیپوکوتیل تربچه (بخش زیر زمینی و خوراکی) در تماس مستقیم با خاک قرار می‌گیرد. بنابراین در صورت شور یا خشک بودن خاک، ممکن است رشد و نمو این بخش گیاه به شدت تحت تأثیر قرار گیرد. افزایش مقاومت گیاهان به روش‌های مختلف امکان‌پذیر است که در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلند مدت و هزینه بردار هستند، استفاده از مواد شیمیایی شامل اسیدسالیسیلیک و جاسمونیک‌اسید آسان‌تر و ارزان‌تر است (Zalai *et al*., 2000). هدف از انجام این آزمایش مطالعه اثر اسیدسالیسیلیک بر صفات عملکرد و میزان آسمولایت‌های تربچه در شرایط تنش رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی پاسخ گیاه تربچه به تنش رطوبتی، رقم تجاری تربچه (Radish cherry belle) برای کشت انتخاب شد. این رقم به صورت کشت گلدانی با خاک رسی‌شنی در دمای آزاد محیط قرار گرفت و با گسترده شدن دومین برگ حقیقی، سه تیمار رطوبتی شامل آبیاری به فاصله یک روز (شاهد)، آبیاری به فاصله سه روز (تنش ملایم) و آبیاری به فاصله پنج روز (تنش شدید) اعمال شد. پس از آشکار شدن چهارمین برگ حقیقی، محلول‌پاشی توسط اسیدسالیسیلیک با غلظت‌های صفر، یک و دو میلی مولار انجام شد. پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، در سال ۱۳۹۰ دانشگاه آزاد اسلامی شیراز انجام گرفت.

جهت بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر صفات عملکرد هیپوکوتیل (طول، قطر، سفتی بافت و وزن هیپوکوتیل)، ابتدا گیاهان از خاک خارج شدند و قسمت هیپوکوتیل گیاه (بخش زیرزمینی و خوراکی گیاه تربچه) به آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی شیراز منتقل شدند. طول و قطر هیپوکوتیل با استفاده از کولیس و وزن‌تر هیپوکوتیل با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل HR-120 شرکت AND ژاپن با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید و جهت سنجش سفتی بافت هیپوکوتیل تربچه از سفتی‌سنج دستی[2] مدل FT 327 و پیستون با قطر هشت میلی‌متر استفاده شد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب از هر بوته برگ پنجم و ششم آن جدا گردید و روی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. سنجش کربوهیدرات‌های محلول طبق روش فنل اسید سولفوریک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (LABoMeD, INC. UVD-2960) ساخت کشور آمریکا صورت گرفت. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول، به نمونه‌های خشک برگ، الکل ۸۰ درصد افزوده شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول رویی برداشت شد. یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به نمونه‌ها اضافه گردید و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤٨٥ نانومتر عمل اسپکتروفتومتری انجام شد.

هم‌چنین اندازه‌گیری محتوای پرولین طبق روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (LABoMeD, INC. UVD-2960) اندازه‌گیری گردید. به این منظور، پس از توزین برگ‌های تر و همگن‌سازی آن‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفاسالیسیلیک ۳ درصد، نمونه‌ها سانتریفوژ شده و معرف نین‌هیدرین و اسیداستیک خالص به آن افزوده شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب گرم به مدت یک ساعت، ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و محلول بالایی جدا گردید و در طول ۵۲۰ نانومتر قرائت شد.

با رسم منحنی استاندارد ($r= 0.99$) غلظت هر نمونه برآورد شد. مجموع داده‌های برداشت شده با استفاده از نرم‌افزار SAS آنالیز گردید. میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مقایسه شد. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel بهره‌گیری شد.

نتایج و بحث

تنش رطوبتی به طور معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی اثر گذاشت و تیمار اسیدسالیسیلیک نیز سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار در صفات مختلف گردید. اثر متقابل تنش رطوبتی و تیمار با اسیدسالیسیلیک نیز بر تمام صفات مورد بررسی، معنی‌دار شد (جدول ۱).

[1] *Brassicaceae*

[2] Penetrometer

صفات عملکرد

طول و قطر هیپوکوتیل: با توجه به جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر تنش رطوبتی، غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بر طول هیپوکوتیل در سطح احتمال یک درصد و بر قطر هیپوکوتیل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، مشخص شد که در گلدان‌هایی که آبیاری آن‌ها به صورت نرمال بوده و محلول‌پاشی توسط اسید سالیسیلیک دو میلی مولار انجام شده بود، بوته‌ها بیشترین طول هیپوکوتیل را داشتند. در گیاهانی که تحت تنش ملایم قرار داشتند، غلظت‌های صفر و دو میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند و نسبت به غلظت یک میلی‌مولار طول بیشتری داشتند. هم‌چنین در تنش شدید، غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند و نسبت به غلظت صفر، طول کمتری داشتند. در واقع در شرایط تنش شدید، محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک یک و دو میلی‌مولار سبب کاهش طول هیپوکوتیل شد، اما در شرایط نرمال و تنش ملایم، محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک دو میلی‌مولار باعث افزایش طول هیپوکوتیل شد. (شکل ۱).

هم‌چنین در شرایط نرمال و تنش ملایم، تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت یک و دو میلی‌مولار باعث افزایش قطر هیپوکوتیل شد، ولی در شرایط تنش شدید، محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک یک میلی‌مولار سبب افزایش قطر شد (شکل۲).

اسیدسالیسیلیک باعث افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها شده و از این طریق باعث بهبود رشد و افزایش فتوسنتز می‌شود و در نتیجه روی صفات زراعی اثر می‌گذارد (Shakirova & Bezrukova, 1997). خوداری (Khodary, 2004) گزارش نمود که کاربرد اسیدسالیسیلیک باعث افزایش طول ریشه‌های گیاه ذرت می‌شود. هم‌چنین گوتیرز کرودانو و همکاران (Gutierrez-Coronado *et al*., 1998) بیان نمودند که استفاده از اسیدسالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی برگی باعث افزایش طول ریشه‌های سویا می‌شود.

وزن هیپوکوتیل: مطابق شکل ۳، در گیاهانی که به صورت نرمال آبیاری شده بودند (گیاهان شاهد)، محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک دو میلی‌مولار باعث افزایش وزن هیپوکتیل شد و غلظت‌های صفر و یک میلی‌مولار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند و نسبت به غلظت دو میلی‌مولار، وزن کمتری داشتند. در گیاهانی که تحت تنش رطوبتی ملایم قرار داشتند، محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار سبب کاهش وزن هیپوکوتیل شد، اما در شرایط تنش شدید، محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار سبب افزایش وزن هیپوکوتیل گردید. وزن هیپوکوتیل به لحاظ اقتصادی مهم بوده و در مورد بهبود این صفت باید توجه خاصی شود. اصلاح‌گران به صورت گسترده‌ای از عملکرد به عنوان شاخصی برای بهبود مقاومت به‌خشکی استفاده کرده‌اند، ولی به غیر از موارد استثنایی، کارایی نداشته است زیرا، توارث‌پذیری عملکرد معمولاً پایین بوده و تحت تأثیر تنش نیز کاهش می‌یابد (Blum, 2005). پتروپولوس و همکاران (Petropolus *et al*., 2008) گزارش کردندکه افزایش تنش آبی سبب کاهش وزن ریشه جعفری شد.

سفتی بافت هیپوکوتیل: در گیاهانی که به صورت نرمال آبیاری شده بودند، محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک دو میلی‌مولار باعث افزایش سفتی بافت هیپوکوتیل شد. در شرایط تنش ملایم، غلظت‌های صفر، یک و دو میلی‌مولار در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. در تنش رطوبتی شدید، غلظت ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب افزایش سفتی‌بافت هیپوکوتیل شد (شکل ٤). تغییرات زیاد بافت که منجر به نرم شدن غده‌ها می‌شود، ناشی از تغییرات آنزیم‌های وابسته در ترکیب و ساختار پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی از جمله پلی ساکاریدهای پکتینی و سلولز است که باعث حل شدن جزئی آن‌ها می‌شود. دیواره‌های سلولی از لحاظ ترکیب و ساختار بصورت ترکیبی هستند، بنابراین بعید به نظر می‌رسد که هر آنزیم به تنهایی قادر به تغییر قابل توجه بخش‌های آن باشد. یک عمل ترکیبی از آنزیم‌ها که با همکاری هم فعالیت می‌کنند، دلیل قابل پذیرشی برای وقوع تغییراتی است که منجر به ایجاد هر تغییر قابل توجه در بافت می‌شوند (Nunes *et al*., 2009).

میزان آسمولایت‌ها

محتوای پرولین: با توجه به نمودار اثر متقابل اسید سالیسیلیک و تنش رطوبتی، در گیاهانی که تحت تنش رطوبتی قرار نگرفته بوند (شاهد)، غلظت دو میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک از محتوای پرولین بالاتری برخوردار بود. در

گیاهانی که تحت تنش ملایم قرار داشتند، غلظت دو میلی‌مولار سبب افزایش محتوای پرولین شد. هم‌چنین در گیاهانی که تحت تنش شدید قرار داشتند، محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک سبب افزایش محتوای پرولین شد (شکل ۵). تجمع پرولین هنگامی شروع می‌شود که پتانسیل آب برگ به زیر حد آستانه لازم برای آن رسیده باشد و در بالای این محدوده تغییرهای پرولین اندک است (Giron *et al.,* 1993). گزارش شده است که تجمع پرولین وقتی افزایش می‌یابد که تنش آبی به حدی شدید باشد که موجب توقف رشد و هم‌چنین موجب بسته شدن روزنه‌ها شود (Marsal *et al.,* 1997). افزایش اسید آمینه پرولین در سایر گیاهان از جمله گوجه‌فرنگی، جو، ذرت خوشه‌ای و یونجه نیز به دنبال تنش خشکی مشاهده شده است (لویت، ۱۹۸۰؛ استوارت و هانسون، ۱۹۸۰؛ هاندا و همکاران، ۱۹۸۶؛ گیروآس، ۱۹۹۶).

صفرنژاد (Safarnejad, 2004) با بررسی اثر تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های یونجه گزارش نمودند با افزایش تنش خشکی بر میزان تجمع پرولین در برگ‌ها افزوده شد. برخی از دانشمندان، تجمع پرولین در گیاه در هنگام تنش خشکی را به دلیل اثر تنظیمی اسیدآبسایزیک بر فرآیندهای نوری در متابولیسم پرولین می‌دانند (Rontein *et al.,* 2002; Serraj and Sinclair, 2002).

شاکیروا و بزراکوا (Shakirova & Bezrukova, 1997) گزارش نمودند که اسیدسالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط استرس، اثر مثبت دارد. در واقع اسیدسالیسیلیک این عمل را از طریق توسعه واکنش‌های ضد استرسی، نظیر افزایش در تجمع پرولین، انجام می‌دهد و باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع استرس می‌شود. هم‌چنین سناتنا (Senatena, 2003) نتایج مشابهی از ایجاد مقاومت در گوجه‌فرنگی و لوبیا را در مقابل تنش‌های گرما، سرما و خشکی توسط اسیدسالیسیلیک گزارش نموده است.

سنجش کربوهیدرات محلول: با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱ مشخص شد که اثر متقابل تنش رطوبتی و اسیدسالیسیلیک بر محتوای قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین مشاهده شد که بیشترین محتوای قند محلول در گیاهانی که تحت تنش شدید قرار گرفتند و نیز با اسیدسالیسیلیک یک و دو میلی‌مولار محلول‌پاشی شدند، وجود داشت (شکل ٦). به‌نظر می‌رسد خشکی بر میزان کربوهیدرات‌های گیاه موثر بوده و بر میزان قندهای محلول افزوده است. نتایج حاصل با بررسی‌های انجام شده روی اثر تنش خشکی بر رشد و میزان منابع لولین[1] و اینولین[2] گیاه گوایول توسط هامیلتون و اسلاتری (Hamilton and Slatter, 1947) و نیز اثر تنش خشکی بر گیاه *Lonicera japonica*، پاسخ‌های بیوشیمیایی برگ‌های دو رقم سیب و متابولیسم قند و توسعه گل‌های گیاه رز تحت تنش خشکی هماهنگی دارد (Mayak *et al*., 2001; Sircelj *et al*., 2005; Xu *et al*., 2006). تجمع قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در گیاه pigeon pea توسط Subbaro و همکاران (Subbaro *et al.,* 2000) گزارش شده است. تحقیقی در زمینه نقش کربوهیدرات‌های محلول و افزایش آن‌ها در شرایط تنش‌های گوناگون صورت پذیرفته است که بر نقش این ترکیبات در تنظیم اسمزی دلالت دارد (Wu and Garg, 2003).

اسیدسالیسیلیک تقریباً بر اکثر واکنش‌های متابولیسمی گیاه تاثیر می‌گذارد و موجب تغییراتی در آن‌ها می‌شود، این تغییرات اغلب به صورت سازش‌هایی است که میزان تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می‌دهد (Metwally *et al.,* 2003). پوپووا و همکاران (Popova *et al*., 1997) بیان کردند که اسیدسالیسیلیک باعث تاخیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌شود، بنابراین به علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت آنزیم روبیسکو، باعث افزایش مقدار قندها می‌شود. هم‌چنین به نظر می‌رسد که تیمار اسیدسالیسیلیک، سیستم آنزیمی هیدرولیز کننده پلی‌ساکاریدها را مهار کرده یا به عبارت دیگر، سرعت تبدیل قندهای نامحلول به قندهای محلول را کاهش می‌دهد (Khodary, 2004).

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک می‌تواند اثر منفی ناشی از تنش رطوبتی را در گیاه تربچه کاهش دهد.

[1] Lulyn
[2] inulin

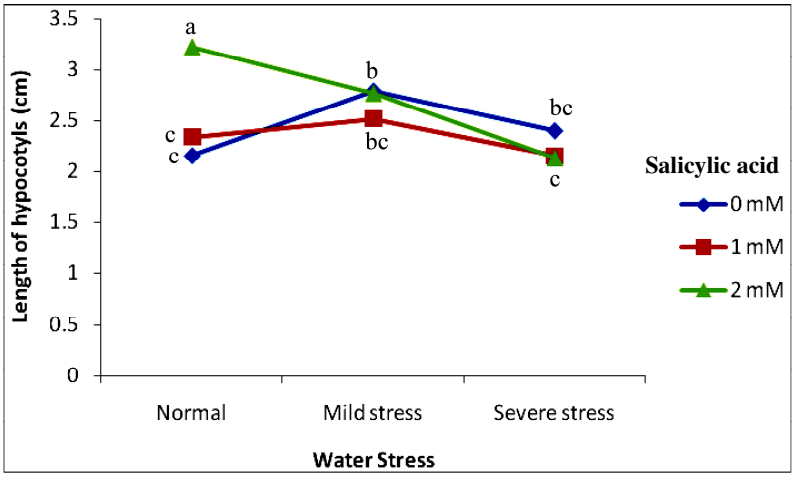
جدول ۱- تجزیه واریانس اثر اسیدسالیسیلیک و تنش رطوبتی بر صفات مورد بررسی در تربچه

Table 1. Variance analysis for the effect of salicylic acid and water stress on the studied traits in radish

S.O.V.	D.F.	Mean Square					
		Hypocotyl length	Hypocotyl diameter	Hypocotyl weight	Hypocotyl firmness	prolin	Soluble carbohydrates
Water stress (A)	2	0.519**	1.273**	9.575**	17.010**	7.17**	0.097**
Salicylic acid (B)	2	0.331**	1.193**	1.914*	10.045**	11.02**	0.049**
A×B	4	0.391**	0.201*	4.259**	2.050**	0.66**	0.006**
error	16	0.044	0.055	0.404	0.101	0.015	0.0008
C.V. (%)	-	8.36	12.13	13.66	5.95	2.19	3.66

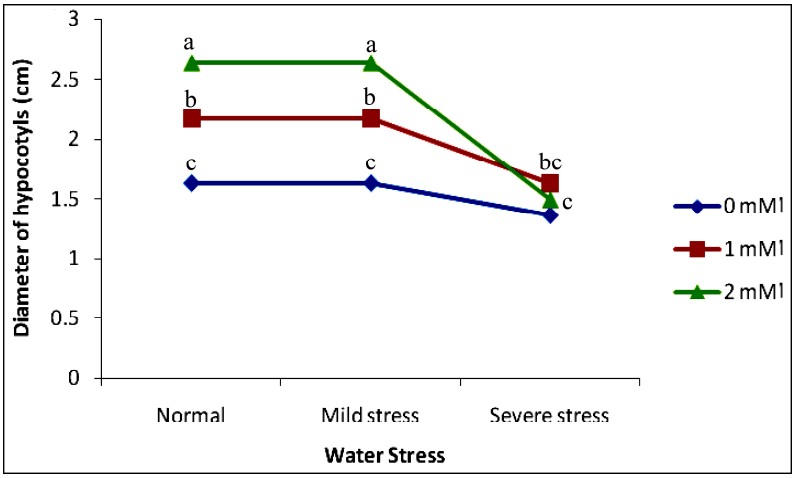
^{ns} ، *و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

^{ns},*,** are non-significant and significant at 5% and 1% of probability level, respectively.



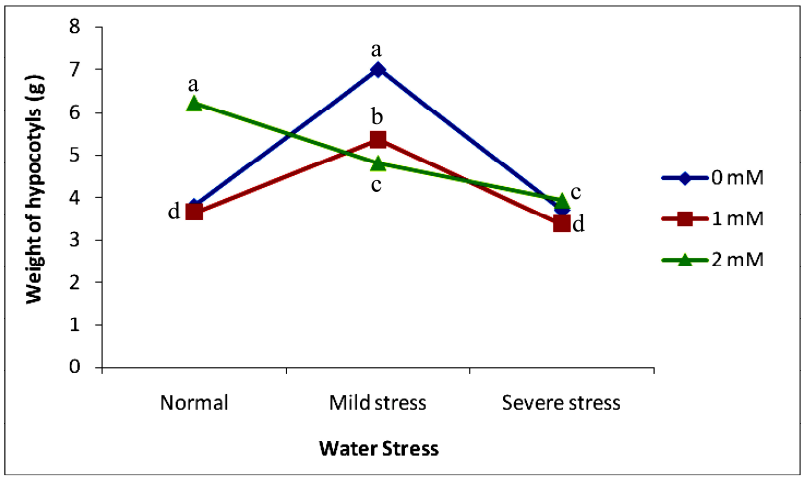
شکل ۱- اثر متقابل تنش رطوبتی و اسیدسالیسیلیک بر طول هیپوکوتیل تربچه

Figure 1. Interaction effects of water stress and salicylic acid on the hypocotyl length of radish



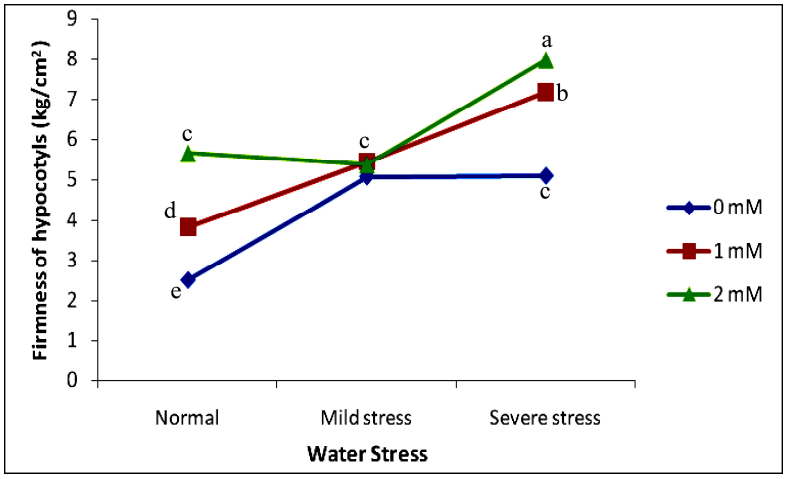
شکل ۲- اثر متقابل تنش رطوبتی و اسیدسالیسیلیک بر قطر هیپوکوتیل تربچه

Figure 2. Interaction effects of water stress and salicylic acid on the hypocotyl diameter of radish



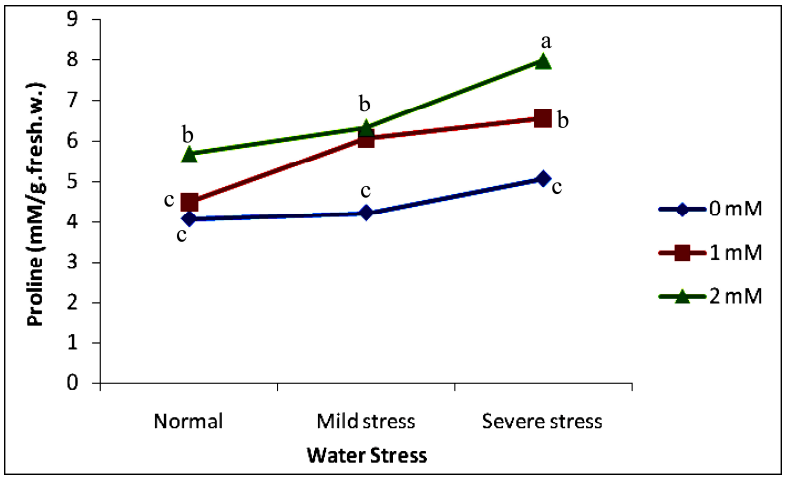
شکل ۳- اثر متقابل تنش رطوبتی و اسیدسالیسیلیک بر وزن هیپوکوتیل تربچه

Figure 3. Interaction effects of water stress and salicylic acid on the hypocotyl weight of radish



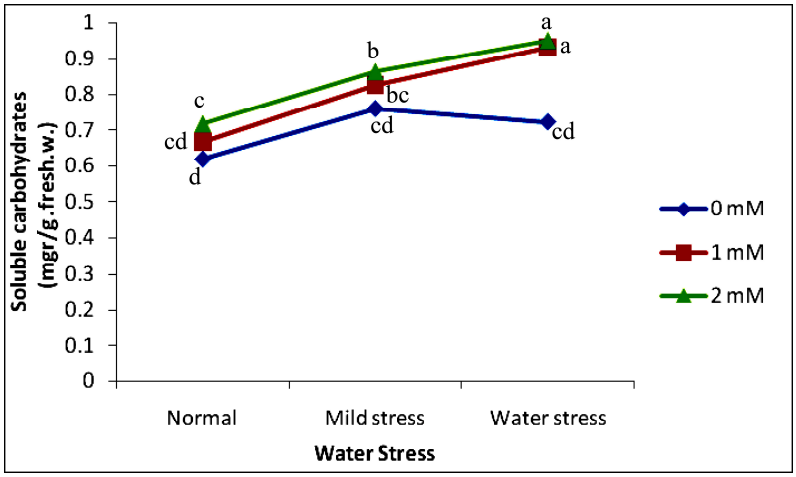
شکل ٤- اثر متقابل تنش رطوبتی و اسیدسالیسیلیک بر سفتی بافت هیپوکوتیل تربچه

Figure 4. Interaction effects of water stress and salicylic acid on the hypocotyl firmness of radish



شکل ٥- اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و تنش رطوبتی بر محتوای پرولین تربچه

Figure 5. Interaction effects of water stress and salicylic acid on the proline content of radish



شکل ٦- اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و تنش رطوبتی بر محتوای قندهای محلول تربچه

Figure 6. Interaction effects of water stress and salicylic acid on the soluble carbohydrate content of radish

References

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

Blum A (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are compatible, dissonant or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159–1168.

Boggess SF, Stewart CR, Aspinall D, Paleg LG (1976) Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. Plant Physiology 58: 398-401.

Chaves MM, Flexas J, Pinherio C (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant. Annals of Botany 103: 551-560.

Cheong YH, Pandey KN, Gupta GK, Grant R JJ, Luan S (2003) CLBI, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in *Arabidopsis*. The Plant Cell 15: 1833-1845.

Chu TM, Aspinall D, Paleg LG (1974) Stress metabolism. VI. Temperature stress and accumulation of proline in barley leaves . Australian Journal of Plant Physiology 1: 87-97.

Dat JF, Lopez-Delgado H, Foyer CH, Scott IM (1998) Parallel changes in H_2O_2 and catalase during thermo-tolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. Plant Physical 116: 1351-1357.

Giron J, Marsal J, Arbones A, Miravete C (1993) Evaluation of almond seasonal sensitivity to water stress. Acta Horticulturae 449:489-496.

Girousse C, Bournvill R, Bonnenmain JH (1996) Water deficit induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of alfalfa. Plant Physiology 111: 109-133.

Gutierrez-Coronado M, Trejo CL, Larque-Saavedra A (1998) Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology Biochemistry 36: 563-565.

Hamilton PT, Slatter MC (1947) Levulins and Inulin in guayule, *Parthenium argentatum* Gray. Plant Physiology 22: 77-87.

Handa S, Handa AK, Hasegawa PM, Bressan RA (1986) Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. Plant Physiology 80: 938-945.

Hanson AD, Nelson CE, Everson EH (1977) Influence of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. Crop Science 17: 720-726.

Kadioglu A, Saruhan N, Saglam A, Terzi R, Acet TE (2011) Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. Plant Growth Regular 64: 27-37.

Kang HM, Saltveit ME (2002) Reduced chilling tolerance in elongating cucumber seedling radicles is relation to their reduced antioxidant enzyme and DPPH-radical scavenging activity. Physiologia Plantarum 115: 244–250.

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

Levit J (1980) Responses of plant to environmental stresses. Vol II, the second edition. Academic Press. London, U.K. 947 pp.

Marsal J, Girona J, Mata M (1997) Leaf water relation parameters in almonds compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. Journal of American Society of Horticultural Science 122: 582-587.

Mayak S, Meir S, Ben Sade H, Nell TA, Clark DG (2001) The effect of transient water stress on suger metabolism and development of cut flowers. Acta Horticulture 543: 191-194.

Mc Michael BL, Elmore CD (1977) Prolin accumulation in water stressed cotton leaves. Crop Science 17: 905-908.

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

Nunes C, Santos C, Pinto G, Silva S, Lopez-da-silva JA, Saraiva JA, Coimbra MA (2009) Effects of ripening on microstructure and texture of Ameixad d'Elvas candied plums. Food Chemistry 115: 1094-1101.

Orcutt DM, Nilse ET (2000) The physiology of plants under stress, soil and biotic factor. John Wiley, New York. 684 pp.

Petropoulos SA, Dimitra D, Polissiou MG, Passam HC (2008) The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulture 115: 393-397.

Popova L, Pancheva T, Uzunova A (1997) Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. Plant Physiology 23: 85-93.

Rontein D, Basset G, Hanson AD (2002) Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. Metabolic Engineering 4: 49- 56.

Royo C, Aparicio N, Blanco R, Villegas D (2004) Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. European Agronomy Journal 20: 419-430.

Safarnejad A (2004) Characterization of somaclones of alfalfa (*Medicago sativa* L.) for drought tolerance. Journal of Agricultural Science and Technology 6: 121-127.

Serraj R, Sinclair TR (2002) Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant Cell Environmental 25: 333 -341.

Senatena T (2003) Acetyl salicylic (Aspirin) and salicylic acid induced multiple stress tolerance in bean and tomato plant. Plant Growth Regulation 30:157-161.

Shakirova FM, Bezrukova MV (1997) Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. Biology Bulletin 24: 109-112.

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

Sircelj H, Tausz M, Grill D, Batic F (2005) Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. Journal of Plant Physiology 162: 1308-1318.

Stewart CR, Hanson AD (1980) Proline accumulatin as a metabolic response to water stress. In: Turner NC, Kramer PJ (eds.), Adaptation of plant to water and temperature stress. John Willey & Sons. New York, U.S.A. 173-189.

Subbaro G, Nam NH, Chauhan YS, Johansen C (2000). Oosmotic adjustment, water relation and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water deficits. Journal of Plant Physiology 157: 651- 659.

Tasgin E, Atic O, Nalbantoglu B (2003) Effect of salicylic acid on freezing tolerance in winter wheat leaves. Plant Growth Regular 41: 231-236.

Wu R, Garg A (2003) Engineernig rice plants with trehalose producing genes improves tolerance to drought, salt and low temperature. ISB News Report, February 2003.

Xu YC, Zhang JB, Jiang QA, Zhou LY, Miao HB (2006) Effects of water stress on the growth of *Lonicera japonica* and quality of honeysuckle. Zhong Yao Cai 29: 420-423.

Zalai G, Tari I, Janda T, Pestenácz A, Páldi E (2000) Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. Biology of Plant 43: 637-640.