به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۶ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۳
صفحه‌های ۷۷۸-۷۶۵

تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر صفات ظاهری و فیزیولوژیکی گیاه رازیانه

فاطمه سالارپور غربا[1]* و حسن فرحبخش[2]

۱. کارشناس ارشد، گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، **ایران**
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۲

چکیده

امروزه، کاربرد اسید سالیسیلیک در افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی افزایش یافته است. از این‌رو، جهت بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه رازیانه (*Foeniculum Vulgare* Mill.) تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان، به‌صورت کرت‌های خرد ده در قالب طرح مربع لاتین با سه تکرار به مرحلهٔ اجرا درآمد. تنش خشکی در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) فاکتور اصلی و غلظت اسید سالیسیلیک در سه سطح (صفر، ۰/۵ و یک میلی مولار) فاکتور فرعی درنظر گرفته شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در مرحلهٔ چهاربرگی و قبل از اعمال تنش خشکی انجام شد. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش معنادار ارتفاع، تعداد و طول میان گره در ساقهٔ اصلی، عملکرد دانه و پروتئین برگ (به ترتیب ۱۴/۲، ۲/۴، ۳۱/۵، ۵۱ و ۲۳/۵ درصد) و افزایش معنادار پراکسایش لیپید، پراکسید هیدروژن و ترکیبات فنلی برگ (۶۶/۶، ۱۰/۵ و ۱۴/۱ درصد) نسبت به شاهد شد. با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک به‌جز کاهش در پراکسایش لیپید و پراکسایش هیدروژن (۳۱/۸ و ۱۳/۷درصد)، افزایش معناداری در سایر صفات نسبت به تیمار شاهد دیده شد. اثر متقابل خشکی در اسید سالیسیلیک نیز بر طول میانگره در ساقهٔ اصلی، پراکسایش لیپید و پروتئین معنادار بود. در نتیجه، اسید سالیسیلیک در غلظت ۱ میلی‌مولار در رفع آسیب‌های ناشی از تنش خشکی نقش مؤثری دارد.

کلیدواژه‌ها: اسید سالیسیلیک، تنش خشکی، رازیانه، صفات ظاهری و فیزیولوژیکی.

* نویسنده مسئول Email: salarpourfatemeh@gmail.com

۱. مقدمه

در محیط‌های طبیعی گیاهان دستخوش انواع تنش‌ها می‌شوند که آثار منفی بر رشد آن‌ها دارد. دما، نور و آب در دسترس از جمله عوامل غیرزنده‌ای است که به‌طور مؤثر بر رشد گیاهان اثر می‌گذارد. از میان این عوامل، خشکی بزرگ‌ترین عامل محدودکنندهٔ تولید محصولات کشاورزی است [۳۰]. گیاهان به تنش خشکی در سطوح فیزیولوژیکی، سلولی و مولکولی پاسخ می‌دهند. این پاسخ به گونه و ژنوتیپ گیاه، طول دوره و شدت کمبود آب، سن و مرحلهٔ نموی بستگی دارد [۴۶].

تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسایشی می‌شود که این فرایند در تخریب سامانهٔ فتوسنتزی، مهار فرایندهای متابولیکی، کلروز، پراکسایشی لیپیدها، تغییر در نفوذپذیری غشا و نشت یون‌ها نقش ویژه‌ای دارد [۹]. در این راستا، گیاهان با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولیدشده در شرایط تنش محافظت می‌کنند [۷]. یا با آنزیم سوپراکسید دیسموتاز این رادیکال‌ها را تبدیل به پراکسید هیدروژن، سپس، با آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در کلروپلاست تبدیل به آب می‌کنند. آنزیم کاتالاز که در پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال تولید شده در اثر تنش اکسایشی در گیاهان نقش دارد، آب اکسیژنهٔ منتشرشده به قسمت بیرونی، کلروپلاست را در سلول‌های برگ پاکسازی می‌کند [۳۷]. همچنین، تنش اکسایشی ناشی از تنش خشکی یکی از دلایل کاهش مقدار پروتئین‌هاست. تولید رادیکال‌های سوپراکسید یا هیدروکسیل باعث اکسایش اسیدهای آمینه می‌شود و به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها آسیب جدی وارد می‌کند. رادیکال‌های آزاد اکسیژن با ایجاد تغییر در موقعیت اسیدهای آمینه در رشته‌های پروتئینی تجزیهٔ آن‌ها را با آنزیم‌های تجزیه‌کننده موجب می‌شود [۴۱].

مقاومت اکتسابی به تنش در گیاهان به دو شکل موضعی و همگانی مطرح است. از این‌رو، دو نظریهٔ کلی در رابطه با عامل القاکنندهٔ مقاومت در گیاهان معرفی شده است. اولین نظریه تولید امواج واقطبیده (دپلیمریزه شده) در سطح غشای یاخته‌ای و در واکنش به عامل تنش‌زاست که به دنبال آن پیام‌های القایی در گیاه شکل می‌گیرد.

اما، دومین نظریه تولید سالیسیلیک اسید در پاسخ به تنش است [۱]. افزایش مقاومت گیاهان از راه‌های مختلف شامل به‌نژادی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد عملی است. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بردارند، استفاده از مواد شیمیایی شامل اسید جاسمونیک، اسید سالیسیلیک و جزآن آسان‌تر و ارزان‌تر است [۱۲]. نقش اسید سالیسیلیک به‌عنوان مادهٔ تنظیم‌کنندهٔ رشد در القای تحمل به بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی همچون تنش خشکی مورد توجه قرار گرفته است [۳۳].

در کل به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی و شوری شود که این خود افزایش رشد (صفات ظاهری از جمله ارتفاع گیاه، طول و تعداد میانگره) را به‌همراه دارد [۱۳]. اسید سالیسیلیک با کاهش میزان تنش اکسایشی و افزایش مقدار پرولین نیز در حفاظت از غشاها و اندامک‌های سلولی از جمله ماشین پروتئین‌سازی سلول و ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها موفق عمل می‌کند و از اکسایش یا تجزیهٔ آن‌ها می‌کاهد. افشانه‌سازی اسید سالیسیلیک با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی از جمله کاروتنوئیدها موجب کاهش مقدار پراکسایش لیپیدها و مقدار آب اکسیژنه و حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی و فتوسنتزی و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود و از کاتابولیسم کلروفیل جلوگیری می‌کند [۱۰]. افزایش تولید مالون دی‌آلدئید و کاهش آن در اثر مصرف سالیسیلیک اسید تحت تنش شوری در عدسک آبی

مشاهده شده است [۲۶]. اسید سالیسیلیک خود از ترکیبات فنلی در گیاهان است و نقش محوری در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان ایفا می‌کند [۲۵] که القاکنندهٔ تجمع ترکیبات فنولیک کل به‌واسطهٔ افزایش فعالیت آنزیم PAL است. همچنین، طبق گزارش‌ها، کاربرد برون‌زای اسید سالیسیلیک در انگور تجمع پلی‌فنل‌ها را در دمای بالا القا می‌کند [۴۴].

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه دارویی رازیانه بود.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش در بهار ۱۳۹۱ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان واقع در ۶ کیلومتری جنوب شرقی کرمان با طول جغرافیایی ′۱ و °۵۷ شرقی و عرض جغرافیایی ′ ۱۵ و °۳۰ شمالی با میانگین بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۷۴۵ متر از سطح دریا انجام شد. آب‌وهوای کرمان براساس روش آمبرژهٔ خشک نیمه‌بیابانی است. بافت خاک محل آزمایش از نوع لومی-شنی بود. خصوصیات خاک مورد آزمایش در جدول ۱ مشخص شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح مربع لاتین با سه تکرار صورت پذیرفت. به‌دلیل سهولت در اجرای آزمایش و افزایش دقت در بررسی اثر غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک، تیمار آبیاری با سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) فاکتور اصلی و غلظت‌های اسید سالیسیلیک با سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی (کرت) شامل پنج ردیف کاشت به طول ۳ متر و فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ گیاهان روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر بود. در یک ردیف فاصلهٔ بین کرت‌های اصلی ۲ متر و فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۲/۵ متر درنظر گرفته شد تا رطوبت کرت‌های مجاور اثری بر یکدیگر نداشته باشد.

بعد از انجام مراحل آماده‌سازی و ایجاد جوی و پشته، اولین آبیاری قبل از کاشت صورت گرفت که پس از گاورو شدن زمین، عملیات کاشت رازیانه (تودهٔ اصفهان) در هفتهٔ اول فروردین، به‌صورت دستی روی پشته‌ها در عمق ۱/۵ سانتی‌متر انجام شد. پس از استقرار گیاه در مرحلهٔ سه تا چهاربرگی، محلول‌پاشی اول روی گیاه اعمال شد. محلول‌پاشی دوم یک هفته و اعمال تنش خشکی دو هفته بعد از محلول‌پاشی اول انجام شد. برای آبیاری واحدهای آزمایشی از لوله‌های پلی‌اتیلن همراه با کنتور حجمی استفاده شد. میزان آب مورد نیاز با استفاده از لایسیمتر کار گذاشته شده در مزرعه و دور آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر براساس ۱۰۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A تعیین شد. در تمام فصل رشد وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱. نتایج آزمایش خاک مربوط به مزرعهٔ آزمایشی در سال ۱۳۹۱

هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته گل اشباع	کربن آلی	ازت کل	فسفر	پتاسیم	شن	لای	رس	Hco_3	So_4^{2-}
		(٪)		(mg/kg)		(٪)			(meq/lit)	
۳/۶	۷/۴	۰/۰۹	۰/۰۶	۱۲	۲۸۰	۷۴	۱۴	۱۲	۰/۸	۳۶

قبل از برداشت، تعداد ده بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر (ارتفاع، تعداد میانگره در ساقهٔ اصلی و طول میان‌گرهٔ دوم در ساقهٔ اصلی) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت اثر به‌عنوان حاشیه‌ای حذف و پس از آن برداشت گیاهان در سطح باقیمانده انجام شد. تجزیهٔ آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTAT-C انجام گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۱.۲. سنجش مقدار پراکسایش لیپیدها

برای سنجش مقدار پراکسایش لیپیدهای غشا، غلظت مالون دی‌آلدئید اندازه‌گیری شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت فریزشدهٔ گیاه (برگ) با ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد ساییده شد. پس از سانتریفیوژ، به ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی ۴ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت سی دقیقه در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد در حمام آبگرم حرارت داده و بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره سانتریفیوژ گردید. مادهٔ مورد نظر برای جذب، کمپلکس قرمز MDA-TBA است که شدت جذب آن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب بقیهٔ رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر شد. برای محاسبهٔ غلظت مالون دی‌آلدئید از ضریب خاموشی معادل $155\ mM^{-1}cm^{-1}$ استفاده شد [۲۰].

۲.۲. اندازه‌گیری مقدار پراکسید هیدروژن

برای اندازه‌گیری مقدار پراکسید هیدروژن، ۰/۵ گرم از بافت تازهٔ برگ در تری‌کلرواستیک اسید، ۰/۱ درصد سرد ساییده و عصارهٔ حاصل سانتریفوژ شد. سپس، به ۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی، ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=۷) و ۲ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱ مولار اضافه شد. مخلوط واکنش به‌مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق قرار داده شد. سپس، جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر خوانده و برای محاسبهٔ غلظت پراکسید هیدروژن از منحنی استاندارد استفاده شد [۲].

۳.۲. سنجش مقدار پروتئین کل

برای تهیهٔ عصارهٔ پروتئینی ۵۰۰ میلی‌گرم از بافت تازهٔ گیاه (برگ) در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۵) ساییده شد که حاوی پلی‌وینیل پیرولیدین ۱ درصد و EDTA ۱ میلی‌مولار بود. سپس، سانتریفیوژ شد (تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت). برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره ۱۰۰ میکرولیتر عصارهٔ پروتئینی افزوده و سریعاً ورتکس شد. پس از ۲۵ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین محاسبه شد [۸].

۴.۲. سنجش ترکیبات فنلی

برای تهیهٔ عصارهٔ گیاهی ۰/۱ گرم از بافت گیاهی (برگ) در ۱ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد ساییده شد. عصارهٔ حاصل به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (ترجیحاً در تاریکی) نگهداری، سپس سانتریفیوژ شد. ۱۰۰ میکرولیتر از عصارهٔ گیاهی با ۲۰۰ میکرولیتر از معرف فولین و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و به‌مدت سه دقیقه در دمای اتاق قرارگرفت. سپس، ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد به مخلوط اضافه شد و به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق قرارگرفت. پس از این مدت، جذب رنگ آبی تولیدشده در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر

اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ غلظت پلی‌فنل‌ها از منحنی استاندارد گالیک اسید استفاده شد [۱۷].

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک روی صفات ظاهری و فیزیولوژیکی گیاه رازیانه

تنش خشکی (در سطح ۱ درصد) و غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۵ درصد) به‌طور معناداری ارتفاع رازیانه را تحت تأثیر قرار داد. با افزایش تنش خشکی، ارتفاع گیاه رازیانه نسبت به شاهد کاهش یافت. این صفت در تیمار شاهد ۵/۲ درصد بیشتر از تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و ۱۴/۲ درصد بیشتر از تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۲). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، ارتفاع بوتهٔ رازیانه افزایش یافت، به‌طوری که غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۵ درصدی و معنادار این صفت نسبت به شاهد شد، درحالی که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با شاهد از نظر این صفت تفاوت آماری معناداری نداشت (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین‌های اثر تنش خشکی و سطوح اسید سالیسیلیک بر صفات اندازه‌گیری‌شدهٔ گیاه رازیانه

تیمار	ارتفاع ساقهٔ اصلی	طول میان‌گره در ساقهٔ اصلی	تعداد میان‌گره در ساقهٔ اصلی	عملکرد دانه	مالون دی‌آلدئید	پراکسید هیدروژن	پروتئین	ترکیبات فنلی
	(cm)			(kg/ha)	(µmol/g FW)		(mg/g FW)	
تنش خشکی								
۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (شاهد)	۹۸/۰^{a}	۱۲/۸۳^{a}	۸/۵۲^{a}	۱۰۹۰/۱۴^{a}	۰/۱۸^{c}	۴۳۸/۴۱^{b}	۲۲/۶۶^{a}	۷/۶۳^{b}
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	۹۳/۱^{b}	۱۲/۰۱^{b}	۷/۲۵^{ab}	۸۹۱/۱۷^{b}	۰/۲۶^{b}	۴۶۷/۳۳^{a}	۱۹/۲۴^{b}	۷/۴۷^{b}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۸۵/۸^{c}	۹/۷۵^{c}	۵/۷۹^{b}	۷۲۱/۸۹^{c}	۰/۳۰^{a}	۴۸۴/۷۱^{a}	۱۸/۳۴^{b}	۸/۵۳^{a}
سطوح اسید سالیسیلیک								
صفر (شاهد)	۹۰/۲^{b}	۱۱/۱۵^{b}	۶/۹۵^{b}	۸۰۷/۸۷^{c}	۰/۲۹^{a}	۵۰۲/۶۹^{a}	۱۷/۸۲^{b}	۷/۵۶^{a}
۰/۵ میلی‌مولار	۹۱/۸^{ab}	۱۱/۳۱^{b}	۶/۸۶^{b}	۸۷۱/۰۶^{b}	۰/۲۳^{b}	۴۴۵/۹۳^{b}	۱۸/۳۹^{b}	۷/۹۹^{a}
۱ میلی‌مولار	۹۴/۸^{a}	۱۲/۱۲^{a}	۷/۷۵^{a}	۱۰۲۴/۲۸^{a}	۰/۲۲^{c}	۴۴۱/۸۳^{b}	۲۴/۰۲^{a}	۸/۰۸^{a}

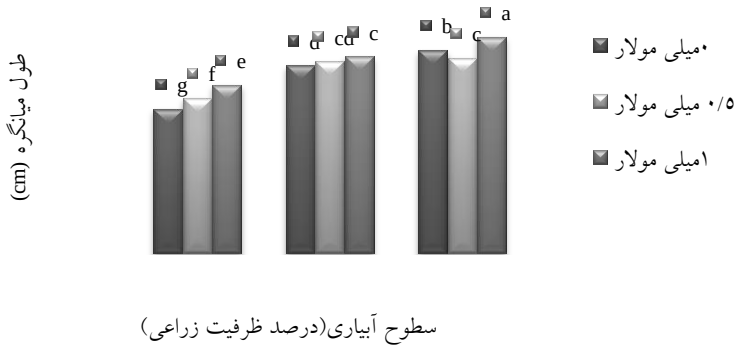
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معناداری ندارند (آزمون دانکن).

کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت کاهش رشد و توسعهٔ سلول به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازهٔ اندام محدود می‌شود. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازهٔ کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد. طبق بررسی‌های انجام شده تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوتهٔ گندم از طریق کاهش رشد سلول (کاهش تقسیم سلول و کاهش اندازهٔ سلول) در مرحلهٔ رشد رویشی می‌شود [۳۴]. کاهش در ارتفاع گیاه ماش تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است [۴۵]. به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به‌نام پروتئین کیناز (وظیفهٔ تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول را بر عهده دارد)، فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم می‌کند و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه دارد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش معناداری در ارتفاع گیاه گندم [۱۸] و هویج [۱۳] شد. همچنین، اسید سالیسیلیک تقسیم سلولی را درون مریستم گیاهچهٔ گندم افزایش داد و رشد گیاه را بهبود بخشید [۳۴].

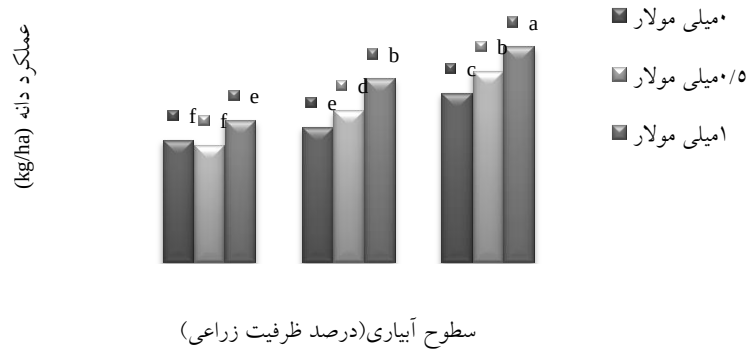
تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۵ درصد) به‌طور معناداری تعداد میانگره در ساقهٔ اصلی رازیانه را تحت تأثیر قرارداد. با افزایش تنش خشکی، تعداد میانگره در ساقهٔ اصلی رازیانه نسبت به شاهد کاهش یافت. این صفت در تیمار شاهد ۱۷/۵ و ۴۲/۴ درصد بیشتر از تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۲). درخصوص اثر اسید سالیسیلیک، تعداد میانگره در رازیانه در تیمار ۱ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک تفاوت معناداری با سایر تیمارها نشان داد، به‌نحوی که غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۱۱/۵ و ۱۲/۹ درصد نسبت به تیمارهای ۰/۵ و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک افزایش یافت (جدول ۲).

تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته و تعداد میانگره در گیاه ماش شد. دلیل آن را ناشی از کاهش تقسیمات سلولی در این گیاه بیان کرده‌اند [۴۵]. تنش خشکی، تعداد میانگره در ساقهٔ اصلی لوبیا چشم‌بلبلی را به‌طور متوسط در حدود ۵ تا ۲۰ درصد کاهش داد [۵]. اسید سالیسیلیک ماده‌ای شبه‌هورمونی شناخته شده است. به‌نظر می‌رسد این ماده با تأثیر بر مریستم‌های رویشی موجب افزایش تعداد میانگره در ساقهٔ اصلی شود. سازوکار دقیق عمل اسید سالیسیلیک هنوز مشخص نیست، اما احتمال دارد که اسید سالیسیلیک همانند اکسین در تنظیم طویل شدن و تقسیم سلول‌ها دخالت داشته باشد [۳۹].

اثر تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۱ درصد) و برهم‌کنش دو فاکتور تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۵ درصد) بر طول میانگره در گیاه رازیانه معنادار بود. با افزایش تنش خشکی از طول میانگره کاسته شد، به‌نحوی که تیمار شاهد ۶/۸ و ۳۱/۵ درصد طول میانگره بیشتری نسبت به تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی داشت (جدول ۲). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک طول میانگره در گیاه رازیانه نسبت به شاهد افزایش نشان داد، به‌نحوی که تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۷/۱ و ۸/۶ درصد طول میانگره بیشتری نسبت به تیمارهای ۰/۵ و صفر (شاهد) میلی‌مولار اسید سالیسیلیک داشت (جدول ۲). طول میانگره در ساقهٔ اصلی به‌طور معناداری تحت تأثیر اثر متقابل دو فاکتور تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک قرارگرفت، لذا بیشترین میزان طول میانگره در تیمار شاهد و غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۱۳/۵۴) و کمترین میزان طول میانگره در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و غلظت صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۹/۰۲) مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی × اسید سالیسیلیک بر طول میانگره



شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی × اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه

با توجه به اینکه فشار تورژسانس سلول‌های ساقهٔ در حال ازدیاد طول در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد و از طرف دیگر، تولید مواد حاصل از فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه ارتفاع بوته تحت تأثیر خشکی کاهش می‌یابد. تعدادی از محققان در بررسی گیاه دارویی بادرشبو گزارش کردند که تنش خشکی در حد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش ارتفاع و طول میانگره در این گیاه می‌شود [۳۱]. در پژوهشی اثر آبیاری زیاد، کم و عدم آبیاری در گیاه نعناع بررسی شد و مشاهده شد که تنش آبی طول میانگره‌ها و ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد [۳]. احتمال می‌رود اسید سالیسیلیک بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی و شوری شود که این خود افزایش رشد را به همراه خواهد داشت که افزایش ارتفاع گیاه یکی از این موارد است [۱۳]. افزایش ارتفاع گیاه نیز ناشی از افزایش تعداد میانگره، طول میانگره یا هر دوی آن‌هاست که در این آزمایش اسید سالیسیلیک موجب افزایش ارتفاع در گیاه رازیانه شده است.

تنش خشکی، غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۱ درصد) و برهم‌کنش دو فاکتور تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۵ درصد) عملکرد دانه را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرارداد. با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانهٔ رازیانه نسبت به شاهد کاهش یافت، به‌نحوی که عملکرد دانه در تیمار شاهد ۲۲/۳ و ۵۱ درصد بیشتر از تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۲). با

افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، عملکرد دانهٔ رازیانه افزایش یافت، به‌نحوی که عملکرد دانه در غلظت ۱ میلی‌مولار ۱۷/۵ و ۲۶/۷ درصد بیشتر از غلظت ۰/۵ و صفر میلی‌مولار بود (جدول ۲). عملکرد دانه به‌طور معناداری تحت تأثیر اثر متقابل دو فاکتور تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک قرارگرفت، به‌نحوی که بیشترین عملکرد دانه در تیمار۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) و غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۱۲۲۳/۴۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. همچنین، کمترین عملکرد دانه در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و در غلظت‌های ۰/۵ و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۶۶۴/۷ و ۶۹۴/۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (شکل ۲).

افزایش سطوح تنش خشکی پارامترهای رشدی گیاه را کاهش داد. این مسئله احتمالاً نتیجهٔ اختلال در فتوسنتز، تعرق و فرایندهای متابولیکی گیاه است که در نهایت کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد. تنش خشکی از طریق اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضهٔ مواد پرورده را کاهش داد و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانهٔ ذرت شد [۴]. کاهش عملکرد دانه، در اثر تنش خشکی در گیاه گندم نیز گزارش شده است [۲۷]. به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طی حیات گیاه در مواجه با تنش‌های زنده و غیرزنده، باعث افزایش قابل‌توجهی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود. اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت دارد. در واقع، از طریق توسعهٔ واکنش‌های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود [۳۴]. افزایش عملکرد در گوجه و خیار [۱۹] و گندم [۳۴] نیز تحت تیمار اسید سالیسیلیک گزارش شده است.

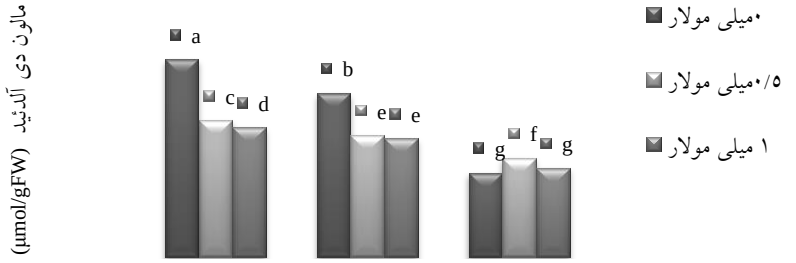
میزان مالون دی‌آلدئید شاخص پراکسایش لیپیدها در این پژوهش اندازه‌گیری شد. تنش خشکی، غلظت اسید سالیسیلیک و برهم‌کنش این دو فاکتور (در سطح ۱ درصد)، بر میزان مالون دی‌آلدئید در رازیانه معنادار شد. با افزایش تنش خشکی میزان مالون دی‌آلدئید در گیاه افزایش یافت، به‌نحوی که در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۵/۳ و ۶۶/۶ درصد بیشتر از تیمارهای ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و شاهد شد (جدول ۲). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک میزان مالون دی‌آلدئید در گیاه رازیانه نسبت به شاهد کاهش یافت، به‌نحوی که در تیمار شاهد اسید سالیسیلیک ۲۶ و ۳۱/۸ درصد بیشتر از تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود (جدول ۲). میزان مالون دی‌آلدئید به‌طور معناداری تحت تأثیر اثر متقابل دو فاکتور تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک قرارگرفت، به‌نحوی که بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و غلظت صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۰/۳۹ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و کمترین میزان مالون دی‌آلدئید در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) و غلظت‌های ۱ و صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۰/۱۷ و۰/۱۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد (شکل ۳).

به‌نظر می‌رسد تحت تنش خشکی، رادیکال‌های آزاد موجود در سلول باعث صدمه به لیپیدها و اسیدهای چرب غشا شود و رادیکال‌هال لیپید و پراکسی و هیدروپراکسی تولید می‌کند. رادیکال‌های جدید تولیدشده به واکنش‌های اکسایشی لیپیدها سرعت می‌بخشند. سطح پراکسایش لیپید نشانهٔ رادیکال آزاد مضر برای غشای سلولی تحت شرایط تنش است. بنابراین، مالون دی‌آلدئید معرفی برای بررسی میزان صدمات غشا در شرایط تنش استفاده می‌شود [۲۳] که طی آن ارگانیسم‌ها می‌توانند درجات متوسطی از خشکی را تحمل کنند [۲۲]. بسیاری از گیاهان وقتی در محیط خشک قرارمی‌گیرند آسیب‌های جدی می‌بینند و مقدار مالون دی‌آلدئید آن‌ها افزایش می‌یابد. برای مثال، در لوبیا [۴۳]

و *'Agrostis palustrs'* [۳۲] تحت شرایط خشکی مالون دی‌آلدئید افزایش یافت. کاهش آسیب غشای سلولی در پاسخ به تیمار اسید سالیسیلیک نمایانگر مسئلهٔ القای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی با اسید سالیسیلیک است و با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به‌طور مستقیم یا با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اتفاق می‌افتد و خسارت ناشی از این گونه‌های فعال را کاهش می‌دهد. در نتیجه، پراکسایش لیپیدی غشا کاهش می‌یابد. کاهش تولید مالون دی‌آلدئید در اثر مصرف اسید سالیسیلیک در باقلا [۶] تحت تنش شوری و در کدو [۲۹] تحت تنش اکسایشی مشاهده شده است.

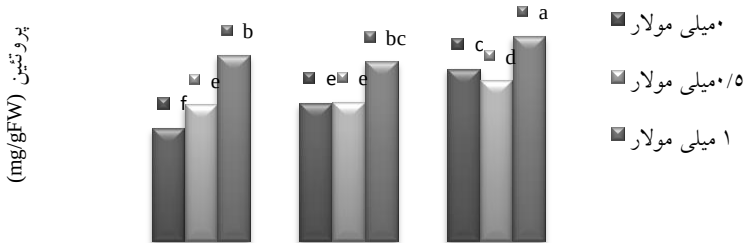
تنش خشکی (در سطح ۵ درصد) و غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۱ درصد) به‌طور معناداری میزان پراکسید هیدروژن را در گیاه رازیانه تحت تأثیر قرارداد (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی میزان پراکسید هیدروژن در گیاه افزایش یافت، به‌نحوی که در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۳/۷ و ۱۰/۵ درصد بیشتر از تیمارهای ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و شاهد شد (جدول ۲). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک میزان پراکسید هیدروژن در گیاه رازیانه نسبت به شاهد کاهش یافت، لذا در تیمار شاهد اسید سالیسیلیک ۱۲/۷ و ۱۳/۷ درصد بیشتر از تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود (جدول ۲).

یکی از آثار تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسایشی است. به‌نظر می‌رسد مقدار پراکسید هیدروژن تولید شده در سلول نشان‌دهندهٔ تعادل بین تولید و تجزیهٔ گونه‌های فعال اکسیژن در سلول است و غلظت‌های بالای پراکسید هیدروژن عامل ایجاد تنش اکسایشی به حساب می‌آید. اگرچه پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بالا سمی است، ولی احتمالاً به‌وسیلهٔ آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز چرخهٔ آنتی‌اکسیدانی آسکوربات-گلوتاتیون از بین می‌رود، اما در غلظت‌های پایین نقش پیام‌رسان را در گیاه دارد [۲۸]. گیاهچه‌های برنج [۳۵] و لوبیا [۴۳] تحت تنش خشکی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در میزان پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد داشت. به‌نظر می‌رسد که افشانه‌سازی اسید سالیسیلیک با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی بابونه از جمله کاروتنوئیدها موجب کاهش مقدار پراکسایش لیپیدها و مقدار پراکسید هیدروژن و حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. نقش اسید سالیسیلیک در کاهش تجمع پراکسید هیدروژن در گیاه خیار تحت تنش، مربوط به تنظیم فعالیت آنزیم‌ها یا آنتی‌اکسیدان‌های غیر از آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز است، چون تیمار با اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنادار فعالیت این دو آنزیم در گیاهان در معرض تنش خشکی می‌شود [۲۸].



سطوح آبیاری(درصد ظرفیت زراعی)

شکل ۳. اثر متقابل تنش خشکی × اسید سالیسیلیک بر غلظت مالون دی‌آلدئید



سطوح آبیاری(درصد ظرفیت زراعی)

شکل ۴. اثر متقابل تنش خشکی × اسید سالیسیلیک بر میزان پروتئین

نتایج حاصل از سنجش میزان پروتئین نشان داد که تنش خشکی، غلظت اسید سالیسیلیک (در سطح ۱ درصد) و اثر متقابل دو فاکتور (در سطح ۵ درصد) بر این صفت معنادار شد (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی از میزان پروتئین برگ کاسته شد، لذا بیشترین مقدار آن در گیاهانی مشاهده شد که تحت تنش خشکی قرار نداشتند. تیمار شاهد میزان پروتئین برگ را ۱۷/۷ و ۲۳/۵ درصد نسبت به تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش داد (جدول ۲). تیمار با اسید سالیسیلیک سبب افزایش میزان پروتئین برگ نسبت به شاهد شد، به‌طوری که تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، میزان پروتئین برگ را ۳۰/۶ و ۳۴/۷ درصد نسبت به تیمارهای ۰/۵ میلی‌مولار و شاهد افزایش داد (جدول ۲). میزان پروتئین برگ تحت تأثیر اثر متقابل دو فاکتور تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک اختلاف معناداری نشان داد، لذا بیشترین مقدار پروتئین در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۲۵/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان پروتئین در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، در غلظت صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (۱۴/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۴).

کاهش مقدار پروتئین پدیده‌ای متداول در تنش‌هایی نظیر تنش خشکی است و تنش خشکی موجب سرکوب تولید برخی پروتئین‌ها و القای سنتز پروتئین‌های جدید می‌شود. تنش اکسایشی ناشی از تنش خشکی یکی از دلایل کاهش مقدار پروتئین‌هاست و احتمالاً تولید رادیکال‌های سوپراکسید یا هیدروکسیل باعث اکسایش اسیدهای آمینه می‌شود و به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها آسیب جدی وارد می‌کند. تنش خشکی، بیان ژن‌های کدکنندهٔ پروتئازهای درون سلولی را القا می‌کند و سبب تجزیهٔ پروتئین‌ها و تحرک مجدد نیتروژن و متعاقب آن سنتز مواد محلول سازگار می‌شود. از این‌رو، کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ پروتئین مرتبط است [۱۶]. در شرایط تنش افزایش پروتئولیز و کاهش سنتز پروتئین و نهایتاً کاهش پروتئین‌های محلول در گیاه گندم گزارش شده است [۱۵]. کاهش میزان پروتئین تحت تنش خشکی در گوجه‌فرنگی نیز گزارش شده است [۳۶]. اسید سالیسیلیک در تنظیم پاسخ به خشکی در گیاهان نقش دارد و به‌نظر می‌رسد که تنظیم‌کنندهٔ رشد بالقوه‌ای برای بهبود رشد گیاه تحت تنش آبی باشد. تأثیر اسید سالیسیلیک بر افزایش مقدار نیترات و افزایش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز و محافظت از این آنزیم در برابر غیرفعال شدن نیز از دلایل

افزایش مقدار پروتئین در گیاهان تیمارشده با اسید سالیسیلیک ذکر شده است [۱۹، ۳۳]. تیمار با اسید سالیسیلیک منجر به تجمع اسید آبسزیک می‌شود که پیش‌سازگاری گیاهچه‌های تحت تنش را تحریک می‌کند. در نتیجه اسید آبسزیک، سنتز محدودهٔ وسیعی از پروتئین‌های ضدتنش را القا می‌کند و باعث ایجاد مقاومت در گیاه گندم می‌شود [۳۴]. حفظ مقدار پروتئین در گیاه گندم تحت تنش خشکی توسط اسید سالیسیلیک گزارش شده است [۳۸].

میزان ترکیبات پلی‌فنلی در گیاه رازیانه، تنها توسط تنش خشکی (در سطح ۱ درصد) معنادار شد. با افزایش تنش خشکی میزان ترکیبات فنلی نیز در گیاه افزایش یافت. در نتیجه، میزان ترکیبات پلی‌فنل در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۱/۷ و ۱۴/۱ درصد نسبت به تیمارهای شاهد و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بیشتر بود (جدول ۲). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک در گیاه رازیانه میزان ترکیبات پلی‌فنلی افزایش یافت، ولی این افزایش معنادار نبود (جدول ۲).

به‌نظر می‌رسد ترکیبات پلی‌فنلی یکی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است که با سازوکارهای متعددی نظیر جاروب کردن رادیکال‌های آزاد و قطع کردن واکنش‌های زنجیره‌وار اکسایشی، دادن هیدروژن، خاموش کردن اکسیژن یکتایی، کلات کردن یون‌های فلزی یا قرارگرفتن به‌عنوان سوبسترای آنزیم‌های پراکسیداز نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا می‌کند. افزایش ترکیبات پلی‌فنلی در شرایط تنش مربوط به ساختار ژنتیکی و محیط رشد گیاهان است. در واقع، تنش غیرزیستی باعث تجمع ترکیبات پلی‌فنلی در گیاه می‌شود. این ترکیبات قدرت رقابت دارند و در فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان شرکت می‌کنند [۴۰].

تعدادی از محققان اظهار کردند مسیر فنیل پروپانوئید مسئول سنتز طیف متفاوتی از متابولیت‌های فنولیک است که اغلب آن‌ها در اثر تنش تولید می‌شوند و دارای پیش‌سازها و مواد حد واسط مشترکی‌اند [۲۱]. در بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول در گیاه گندم مشخص شد که علت بالا رفتن سطوح ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزی فنل‌ها (فنیل آلانین آمونیالیاز) است [۴۲]. افزایش ترکیبات فنلی تحت تنش‌های غیرزیستی در فلفل نیز گزارش شده است [۲۴]. اسید سالیسیلیک القاکنندهٔ تجمع ترکیبات فنولیک کل به‌واسطهٔ افزایش فعالیت آنزیم PAL است. بنابراین، اسید سالیسیلیک نقش مهمی در فرایند انتقال پیام‌رسان دارد که بیوسنتز ترکیبات فنولی کل و بیان ژن‌های دفاعی در گیاه را القا می‌کند. کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه برنج موجب القای بیان ژن پروتئین‌های مربوط به متابولیسم فنیل پروپانوئید و القای سنتز ترکیبات فنلی شد [۱۴]. همچنین، افزایش میزان ترکیبات فنلی تحت تأثیر اسید سالیسیلیک در گیاه مریم‌گلی نیز مشاهده شد [۱۱].

منابع

۱. خاوری‌نژاد ر و اسدی ا (۱۳۸۵) بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر میزان برخی از متابولیت‌های ثانویه (ساپونین‌ها و آنتوسیانین ها) و القای مقاومت ضدمیکروبی در گیاه دارویی *Bellis perennis* L. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۰(۴): ۱۰۱-۱۱۵.

2. Alexieva V, Mapelli IS and Karanov E (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and weath. Plant, Cell and Environment. 24: 1337-1344.

3. Alkire BH, Simon JE, Palevitch D and Putievsky E (1993) Water management for Midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.). growing in highly organic soils, Indiana, USA. Acta Horticulturae. 344: 544-556.

4. Al-Omran AM, Sheta AS, Falatan AM and Al–Harb AR (2000) Effect of drip irrigation on squash (*Cucrbita pepo*) yield and water use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. Agricultural Water Management. 37: 111-112.

5. Anyia AO and Herzog H (2004) Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. European Journal of Agronomy. 20: 327-339.

6. Azooz MM (2009) Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. Agriculture and Biology. 11(4): 343-350.

7. Bettaieb I, Hamrouni-Sellami I, Bourgou S, Limam F and Marzouk B (2010) Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. Acta Physiol Plant. DOI: 10.1007/s11738-010-0638-z.

8. Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248- 254.

9. Chen J, Cheng Z and Zhong S (2007) Effect of exogegenous salicylic acid on growth and H2O2- Metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. Environmental Sciences. 19: 44-49.

10. Costa M, Civell PM, Chaves AR, and Martinez GA (2005) Effects of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. Postharvest Biology and Technology. 35: 191-199.

11. Dong J, Wan G and Liang Z (2010) Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzyme in *Salvia miltiorrhiza* cell culture. Biotechnol. 148(2-3): 99-104.

12. El-Tayeb MA (2005) Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation. 45: 215-225.

13. Eraslan F, Inal A, Gunes A and Alpaslan M (2007) Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae. 113: 120-128.

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

15. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy Sustainable Development. 29: 185-212.

16. Feller U (2004) Proteolysis. Plant Cell Death Processes. Ed. Elsevier. Pp. 107-123.

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

18. Hayat Q, Hayata SH, Irfan M and Ahmad A (2010) Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. A review. Environmental and Experimental Botany. 68: 14-25.

19. Hayat S and Ahmad A (2007) Salicylic Acid: A Plant Hormone. Springer. Pp. 97-99.

20. Heath RL and Packer L (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplast.

kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125: 189-198.

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

22. Hoekstra FA, Golovina EA and Buitink J (2001) Mechanisms of plant desiccation tolerance. Trends in Plant Science. 6(9): 431-438.

23. Katsuhara M, Otsuka T and Ezaki B (2005) Salt stress induced lipid peroxidation is reduced by glutation S-transferase but this reduction of lipid peroxides is not enough for a recovery of root growth in Arabidopsis. Plant Science. 169: 369-373.

24. Koc E, İslek C and Üstun AS (2010) Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science. 23: 1-6.

25. Pierre CS, Petersona J, Rossa A, Ohma J, Verhoerena M, Larsona M and Hoefera B (2008). White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Agronomy Science. 100: 414-420.

26. Qinghua SH and Zhujun Z (2008) Effect of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany. 63: 317-326.

27. Radwan DEM, Fayez KHA, Mahmoud SU, Hamad A and Lua G (2006) Salicylic acid alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by zucchini yellow mosaic virus infection in *Cucurbita pepo* leaves. Physiological and Molecular Plant Pathology. 69: 172-181.

28. Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekananda M (2004) Droughtinduced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Plant Physiology. 161: 1202-1189.

29. Safikhani F, Heidari Sharifabad H, Siadat A, Sharifi Ashoorabadi A, Syednejad M and Abbaszadeh B (2007) The effect of drought on yield and morphologic characteristics of *Deracocephalum moldavica* L. Medicinal and Aromatic Plants. 23(2): 183-194. (In Persian).

30. Saneoka H, Moghaieb REA, Premachandra GS and Fujita K (2004) Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. Environmental and Experimental Botany. 52: 131-138.

31. Senaratna T, Merrit D, Dixon K, Bunn E, Touchell D and Sivasithamparam K (2003) Benzoic acid may act asthe functional group in salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants. Plant Growth Regulators. 39: 77- 81.

32. Shakirova FM, Shakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fatkhutdinova RA and Fatkhutdinova DR (2003) Changes in the hormonal status of wheat seeding induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164(4): 317-322.

33. Sharma P and R Shanker (2005) Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation. 46: 209-221.

34. Shibli RA, Kushad M, Yousef GG and Lila MA (2007) Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. Plant Growth Regulation. 51: 159-169.

35. Shim IS, Naruse Y, Kim YH, Kobayashi K and Usui K (1999) Scavenging activity of NaClinduced activated oxygen in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salt tolerance. Tropical Agriculture. 43: 32-41.

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

37. Singh G (1980) Effect of growth regulators on podding and yield of mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek). Plant Physiology. 23: 366-370.

38. Sivaci A and Elmas E (2012) The combined effects of cadmium and salinity on some pigments and total phenolic compounds of *Myriophyllum heterophyllum* Michx. and *Potamogeton crispus* L. Agricultural Research. 7(26): 3813-3818.

39. Takeda T, Yokotaand A and Shigeoka S (1995) Resistance of photosynthesis to hydrogen peroxide in algae. Plant Cell Physiology. 36: 1089-1095.

40. Tian X and Lei Y (2006) Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum. 50(4): 775-778.

41. Turkan I, Bor M, Ozdemir F and Koca H (2005) Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Science. 168: 223-231.

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

43. Zabet M, Hosein Zade AH, Ahmadi A and Khialparast F (2003) Effect of water stress ondifferent traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). Agricultural Science in Iran. 34(4): 889-899.

44. Zhu X, Kandola J, Ghahramani Z and Lafferty J (2005) Nonparametric transforms of graph kernels for semi-supervised learning. In Saul LK, Weiss Y and Bottou L (eds.)." Advances in Neural Information Processing Systems (nips) 17.