تأثیر تیمار اسید جاسمونیک و سطوح مختلف خشکی بر برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی دانهال‌های پسته

اسماء عباسی‌کاشانی*[۱]، محمدحسین شمشیری[۲]، حمیدرضا کریمی[۲] و مجید اسماعیلی‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۸

چکیده

با هدف مطالعه اثر اسید جاسمونیک بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و اکوفیزیولوژیکی دانهال‌های پسته رقم قزوینی تحت تنش خشکی، آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور شامل تیمار اسید جاسمونیک (غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به‌صورت محلول‌پاشی برگی در سه نوبت و با فاصله زمانی هر سه هفته یک‌بار و سطوح مختلف تنش خشکی (دور آبیاری یک روز به عنوان شاهد، ۳، ۶ و ۱۰ روز در میان) با سه تکرار انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که پس از ۷۰ روز تنش خشکی، کاهش رشد رویشی تنها در بالاترین سطح خشکی مشاهده شد. غلظت پرولین و قندهای محلول برگ تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت و مجموع پروتئین‌های محلول برگ نیز افزایش نشان داد. شاخص سبزینگی (SPAD) و ارتفاع ساقه تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. بر اساس نتایج این آزمایش، کاربرد اسید جاسمونیک تأثیری بر رشد دانهال‌های پسته در شرایط تنش خشکی نداشت.

واژگان کلیدی: اسید جاسمونیک، پسته، تنش خشکی

مقدمه

پسته درختی است که از دیرباز در نقاط مختلف ایران مورد کشت و پرورش قرار گرفته و از نظر ارزش اقتصادی به عنوان یک محصول استراتژیک، جایگاه خاصی را در بین تولیدات کشاورزی دارا می‌باشد (۴). اهمیت پسته نه‌تنها به‌عنوان یک محصول ارزآور، بلکه به لحاظ محدودیت مناطق پسته خیز در دنیا است که امکان رقابت با این محصول، خیلی کمتر از سایر محصولات کشاورزی می‌باشد و به جرات می‌توان گفت که پسته ایران در میان معدود کشورهای

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران.
[۲] دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران.
[۳] استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران.

تولیدکننده پسته در جهان بی‌نظیر است. علاوه بر این، پسته به دلیل ویژگی‌هایی نظیر سازگاری با شرایط نامساعد محیطی از جمله شوری آب و خاک، به عنوان مهم‌ترین محصول اقتصادی برای بسیاری از مناطق کویری و خشک قابل توصیه است (۱). سطح زیر کشت پسته در ایران در سال ۱۳۸۹ حدود ۴۳۱ هزار هکتار بوده که ۸۸ درصد آن درختان بارور و ۱۲ درصد بقیه غیر بارور بوده است و استان کرمان با ۷۳/۶ درصد سطح بارور پسته کشور، مقام اول تولید پسته را داشته است (۳).

بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی کشور در سالیان اخیر منجر به افت شدید منابع آبی و مشکل کمبود آب گردیده است (۱۱). تنش خشکی یکی از عمده‌ترین مشکلات محدودکننده رشد و عملکرد گیاهی بوده و زمانی رخ می‌دهد که میزان تعرق بیشتر از مقدار جذب آب باشد (۴۳). در این شرایط کلیه فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تأثیر قرار گرفته و ضعف گیاه، کاهش عملکرد، کاهش کیفیت محصول و در نهایت مرگ گیاه را به دنبال دارد (۶). پاسخ به شرایط کمبود آب به گونه و رقم گیاهی، طول و مدت تنش خشکی، سن و مرحله نموی گیاه بستگی دارد (۲۹). گیاهان در شرایط خشکی با ایجاد تغییرات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیسمی در اندام‌های خود به تنش پاسخ می‌دهند (۸). طی آزمایشی نشان داده شد که رشد رویشی و میزان ماده خشک نهال‌های پسته تحت تنش خشکی، با افزایش شدت تنش کاهش یافت که دلیل آن کاهش جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی ذکر گردید (۱۶).

اسید جاسمونیک و مشتقات آن که معمولا با عنوان جاسمونات‌ها شناخته می‌شوند، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی پیچیده‌ای هستند که بر طیف وسیعی از واکنش‌های فیزیولوژیکی و نموی گیاه اثر گذاشته و در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده عمل می‌کنند (۴۲) و دارای اثرات بازدارندگی بر رشد شاخساره، رشد طولی ریشه، فعالیت آنزیم روبیسکو (۳۶) و اثرات القایی بر تشکیل ریشه‌های نابه‌جا (۴۴)، تجزیه کلروفیل، پیری و ریزش برگ، انسداد روزنه‌ها، بیوسنتز اتیلن و تحریک سیستم‌های دفاعی گیاه (سیستم‌های آنزیمی یا بازدارنده‌ها) می‌باشند (۴۱). گائو و همکاران (۲۳) بیان نمودند که اسید جاسمونیک در تجمع بتائین در برگ‌های گلابی در اثر تنش‌های محیطی (مثل خشکی و شوری) نقش دارد. گیاهان تیمارشده با ۵ میلی‌مول بر مترمکعب اسید جاسمونیک در معرض تنش خشکی برای پنج روز قرار گرفتند. کاربرد خارجی اسید جاسمونیک سبب افزایش معنی‌دار در میزان بتائین در گیاهان تیمار شده (خشکی و اسید جاسمونیک) نسبت به گیاهان کاملاً آبیاری شده و گیاهان تیمارنشده (خشکی) گردید. همچنین در این گیاهان میزان و فعالیت آنزیم بتائین آلدهید دهیدروژناز نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت (۲۳). کاربرد خارجی اسید جاسمونیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضداکسیداسیونی موجب حفظ گیاهان در مقابل خسارت تنش اکسیداسیون ناشی از

خشکی شده است (۳۲، ۳۴). در آزمایشی، کاربرد اسید جاسمونیک به غلظت ۰/۵ میلی‌مولار روی چند گونه از جنس *Brassica* که به مدت ۱۰ روز در معرض تنش خشکی (۱۵ ٪ پلی اتیلن گلیکول) قرار گرفته بودند، سبب افزایش وزن تر، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ در تمام گونه‌های مورد آزمایش در مقایسه با شاهد گردید و فعالیت برخی آنزیم‌های ضد اکسیداسیونی از جمله گلوتاتیون ردکتاز، گلی‌اکسالاز و منودی هیدرو اسکوربات ردکتاز افزایش یافت (۳۱).

شناخت اثرات تنش‌های محیطی مختلف بر فیزیولوژی گیاهان برای آگاهی از مکانیسم‌های مقاومت و بقای آن‌ها به منظور افزایش تحمل در برابر تنش ضرورت دارد و با توجه به نقش اسید جاسمونیک در ایجاد مقاومت به خشکی در گیاهان تحت تنش، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات اسید جاسمونیک بر رشد رویشی، روابط آبی، سبزینگی برگ و مطالعه تغییر در میزان برخی از تنظیم‌کننده‌های اسمزی دانهال‌های پسته رقم قزوینی در شرایط تنش خشکی انجام و میزان بهبود مقاومت گیاه به تنش خشکی بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه خاک و کشت بذر: خاک مورد استفاده در آزمایش حاضر (جدول ۱) با نسبت ۲:۱ خاک مزرعه و ماسه بود که قبل از استفاده به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر جهت ضدعفونی اتوکلاو گردید. سپس ۴ کیلوگرم از این خاک در هر گلدان (گلدان ۵ کیلوگرمی) ریخته شد. در این آزمایش از بذر پسته رقم قزوینی استفاده شد که پس از پوست‌گیری و ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۱۰ ٪، سه عدد بذر در هر گلدان کشت شد.

تیمار خشکی: سه ماه پس از کشت، تیمار خشکی در چهار سطح به صورت دور آبیاری یک روز به عنوان شاهد (D_1)، ۳ (D_2)، ۶ (D_3) و ۱۰ (D_4) روز در میان اعمال و در هر نوبت آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی به صورت وزنی آبیاری شدند و طول دوره تنش ۷۰ روز بود. در طول این مدت دمای حداکثر گلخانه ۲±۲۷ و دمای حداقل آن ۲±۲۳ درجه سلسیوس و میزان رطوبت نسبی ۳±۶۰ ٪ بود.

تیمار اسید جاسمونیک: تیمار اسید جاسمونیک با غلظت‌های صفر (J_1)، ۵۰ (J_2) و ۱۰۰ (J_3) میکرومولار به صورت محلول‌پاشی برگی و هم‌زمان با شروع تیمار خشکی در سه نوبت، با فاصله هر سه هفته یک‌بار انجام گردید.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

خصوصیت	مقدار
رس (٪)	۸/۵
سیلت (٪)	۱۲/۰
شن (٪)	۷۹/۵
بافت	شنی لومی
پ هاش	۷/۸
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس)	۱/۱
فسفر به روش اولسن (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۱۱/۸
پتاسیم عصاره گیری شده با استات آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۴۵
آهن عصاره گیری شده با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۱۲
منگنز عصاره گیری شده با DTPA قبل از اتوکلاو (پ میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۰۳
منگنز عصاره گیری شده با DTPA بعد از اتوکلاو (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۳۷

اندازه‌گیری پارامترهای رویشی: در پایان آزمایش، پارامترهای رویشی شامل تعداد برگ، ارتفاع ساقه با استفاده از خط‌کش بر حسب سانتی‌متر، طول سیستم ریشه‌ای بر اساس روش نیومن (۳۵) و حجم سیستم ریشه‌ای از طریق تغییر حجم آب در استوانه مدرج بر حسب میلی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه: برای اندازه‌گیری این پارامتر از روش ریچاردسون و مک‌کل (۳۹) با استفاده از دستگاه محفظه فشار[1] (SKPM 1405, UK) به این روش عمل شد: ابتدا قسمت انتهایی ساقه دانهال‌های پسته از گیاه جدا و داخل محفظه فشار قرار گرفت و سپس با باز کردن شیر فشار، میزان پتانسیل فشار آوندهای چوبی دانهال (فشاری که در آن شیره گیاهی شروع به خارج شدن می‌نماید) ثبت گردید و بر اساس واحد بار (Bar) بیان شد.

اندازه‌گیری پرولین، قندهای محلول و مجموع پروتئین‌های محلول برگ: برای استخراج پرولین، ۰/۵ گرم برگ را با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ ٪ در هاون چینی کوبیده و محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. سپس یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی فوق را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق نموده و ۵ میلی‌لیتر معرف ناین

[1] Pressure Chamber

هیدرین (مخلوط ۱/۲۵ گرم نایدرین در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار) و ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن اضافه شد. پس از ۴۵ دقیقه حمام آب گرم و افزودن ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به آن‌ها، پرولین وارد فاز بنزن شده و میزان جذب نوری نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instruments Ltd, T80 UV/VIS, UK) در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. استانداردهای پرولین نیز با استفاده از ال‌پرولین تهیه و پس از رسم منحنی استاندارد، مقدار پرولین بر حسب میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد (۳۶).

برای اندازه‌گیری قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی که قبلاً برای اندازه‌گیری پرولین تهیه شده بود با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۲۰۰ میلی‌گرم آنترون به‌علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ ٪) مخلوط و پس از ۱۰ دقیقه حمام آب گرم، میزان جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر محاسبه گردید. برای تهیه استاندارد قندهای محلول از گلوکز خالص استفاده گردید (۲۵).

به‌منظور استخراج مجموع پروتئین‌ها، ۰/۵ گرم برگ را با ۶ میلی‌لیتر بافر استخراج درون هاون چینی ساییده و عصاره در دمای ۲ تا ۴ درجه سلسیوس و با دور ۱۶۰۰۰ در دقیقه به مدت ۴۰-۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از فاز مایع شناور نمونه‌ها با ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد سریعاً ورتکس شد. پس از ۲۵ دقیقه میزان جذب نوری محلول حاصل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید و مجموع پروتئین‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (۱۵).

اندازه‌گیری شاخص سبزینگی (SPAD): برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی از دستگاه SPAD (Minolta 502, Japan) استفاده گردید. این دستگاه به‌عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ یا محتوای کلروفیل برگ به‌کار می‌رود و اعداد حاصل از آن با مقدار کلروفیل برگ ارتباط دارد (۳۳).

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل آماری: این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور (اسید جاسمونیک و خشکی) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام گردید و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که برخی از ویژگی‌های رشدی در این آزمایش از قبیل تعداد برگ و طول سیستم ریشه‌ای تنها تحت تأثیر تیمار تنش خشکی و حجم سیستم ریشه‌ای و پتانسیل فشار

آوندهای چوبی ساقه تحت تأثیر هر دو تیمار قرار گرفت و اختلافات از نظر آماری در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار گردید، درحالی‌که ارتفاع ساقه و میزان سبزینگی برگ دانهال‌ها تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای انجام شده قرار نگرفت. با توجه به نتایج موجود در شکل (۱)، با افزایش سطح خشکی، رشد رویشی دانهال‌ها کاهش یافت. به‌طور مثال

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به پارامترهای رشدی و اکوفیزیولوژیکی دانهال‌های پسته رقم قزوینی تحت تنش خشکی

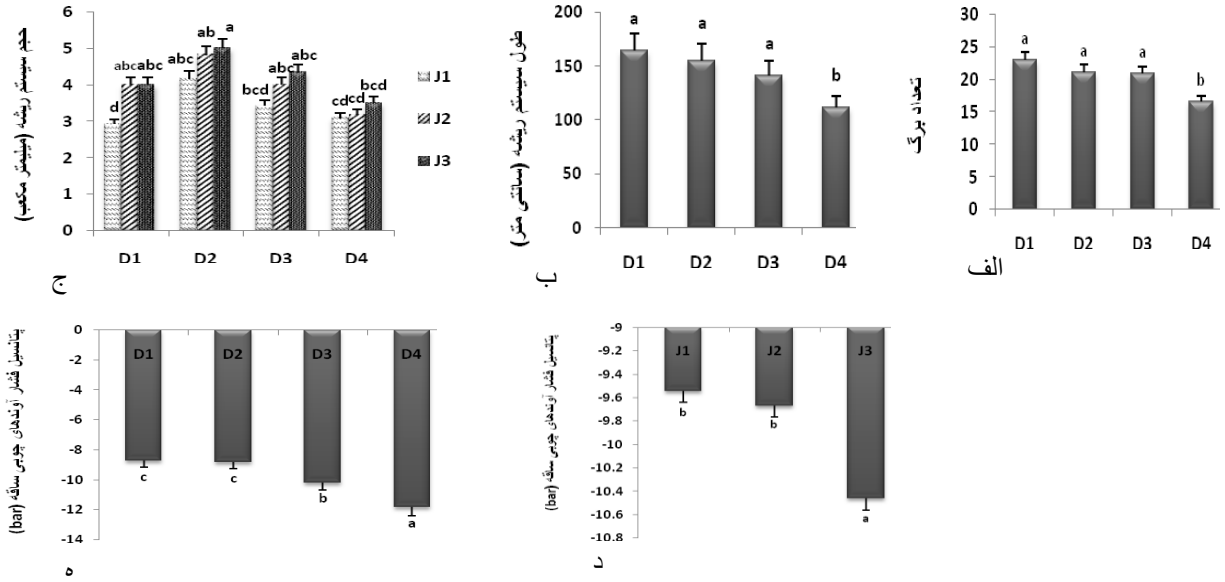
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد برگ	ارتفاع ساقه	طول سیستم ریشه‌ای	حجم سیستم ریشه‌ای	پتانسیل فشار آوندهای چوبی	شاخص SPAD
اسیدجاسمونیک	۲	۹/۳۴^{ns}	۲۵/۷۷^{ns}	۲۵۵۶^{ns}	۱/۶۸^{ns}	۵/۹۳*	۱۹/۷۰^{ns}
خشکی	۳	۱۳۱/۷۳***	۲۵/۶۳^{ns}	۹۵۵۹***	۶/۷۱***	۳۸/۰۰***	۱/۹۵^{ns}
اسیدجاسمونیک × خشکی	۶	۲۲/۱۴^{ns}	۳۲/۲۶^{ns}	۱۷۸۴^{ns}	۱/۷۱*	۲/۷۰^{ns}	۹/۸۰^{ns}
خطا	۲۴	۱۷/۴۱	۱۷/۲۳	۱۴۴۳	۰/۷۳	۱/۸۱	۱۱/۴۰
CV		۱۰/۴۰	۱۵/۱۰	۱۲/۵۸	۱۲/۰۹	۱۳/۶۴	۶/۰۰

ns غیر معنی‌دار، *، *** به ترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

با افزایش شدت تنش کمترین تعداد برگ در دور آبیاری ۱۰ روز در میان مشاهده شد و این سطح نسبت به سطوح دیگر اختلاف معنی‌دار داشت و کاهش ۲۷/۷ درصدی نسبت به شاهد نشان داد (۱- الف). در تنش شدید خشکی، کمترین میزان طول سیستم ریشه‌ای مشاهده شد که نسبت به شاهد ۳۲/۱ درصد کاهش یافت (۱- ب)، البته بین سایر سطوح خشکی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کاربرد اسید جاسمونیک منجر به افزایش حجم سیستم ریشه‌ای دانهال‌های تحت تنش گردید، به طوری که بیشترین حجم سیستم ریشه‌ای (۵ میلی‌متر مکعب) در تیمار اسید جاسمونیک با غلظت ۱۰۰ میکرومولار و با دور آبیاری ۳ روز در میان مشاهده شد و نسبت به شاهد ۷۱/۴ درصد افزایش داشت. افزایش هورمون‌های اسید جاسمونیک و اسید آبسیزیک در بافت‌های گیاه مانع رشد طولی ریشه شده و از این طریق ممکن است باعث تحریک تولید ریشه‌های فرعی گردند (۴۰). گیاهان در شرایط طبیعی به‌طور پیوسته در معرض تنش‌های گوناگون قرار دارند (۷). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است که سبب بسته شدن روزنه‌ها در اثر سنتز اسید آبسیزیک و در پی آن با کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی، به صورت کاهش رشد گیاهان نمایان می‌شود و با تشدید تنش، مرگ گیاه را در پی دارد (۱۳). وقتی گیاهان در شرایط تنش آبی قرار می‌گیرند به دلیل کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی، فشار تورژسانس مورد نیاز برای بزرگ شدن سلول کافی نبوده که این مسئله می‌تواند باعث کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های در حال رشد شده (۱۹) و به کاهش رشد دیواره سلولی و بزرگ نشدن سلول‌ها منجر گردد که در نهایت تعداد و سطح برگ کاهش می‌یابد (۲۷). لاریبی و

همکاران (۲۸) ضمن تحقیق بر روی گیاه زیره گزارش کردند که با افزایش محدودیت آب، رشد گیاه، وزن کل گیاه و عملکرد به طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج مشابهی در پونه و رزماری (۲۰) و پسته (۱۴) گزارش شده است.

کاربرد اسید جاسمونیک در بالاترین غلظت و اعمال تنش خشکی در دو سطح D_3 و D_4 موجب کاهش معنی‌دار پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه گردید (شکل ۱- د). گیاهان برای مقابله با تنش خشکی و جلوگیری از تعرق بیش از حد روزنه‌های خود را می‌بندند. در این شرایط با کاهش تعرق، میزان جذب و انتقال آب از طریق ریشه‌های گیاه نیز کاهش می‌یابد (۲۹) که می‌تواند منجر به کاهش پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه و در نتیجه کاهش پتانسیل آب اندام‌های هوایی گردد (۵، ۲۴). کاهش پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه در تیمار اسید جاسمونیک در این آزمایش را می‌توان به نقش این هورمون در بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جریان آب در گیاه نسبت داد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات تیمارهای اسیدجاسمونیک و خشکی بر برخی پارامترهای رشدی و پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه دانهال‌های سه ماهه پسته رقم قزوینی پس از ۷۰ روز تنش خشکی به ترتیب شامل تعداد برگ (الف)، طول سیستم ریشه‌ای (ب)، حجم سیستم ریشه‌ای (ج)، پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه (د). D_1، D_2، D_3 و D_4 به ترتیب دور آبیاری ۱، ۳، ۶ و ۱۰ روز در میان. J_1، J_2 و J_3 به ترتیب غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حروف مشابه نشانه‌ی عدم اختلاف معنی‌دار در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، میزان پرولین و مجموع قندهای محلول در برگ دانهال‌های پسته رقم قزوینی تنها تحت تأثیر تیمار خشکی و مجموع پروتئین‌های محلول برگ، تحت تاثیر برهمکنش تیمارهای خشکی و اسید جاسمونیک قرار گرفت. نتایج موجود در شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین و مجموع قندهای محلول برگ افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان پرولین (۱۰۶/۳ میلی‌گرم بر لیتر) و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تنظیم‌کننده‌های اسمزی دانهال‌های پسته رقم قزوینی تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		پرولین	قندهای محلول	مجموع پروتئین‌ها
اسیدجاسمونیک	۲	۶۲۶^{ns}	۴۲۰۹۹^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}
خشکی	۳	۳۹۹۸*	۸۴۹۶۵۹**	۰/۰۴ ^{ns}
اسیدجاسمونیک × خشکی	۶	۱۴۰۶^{ns}	۴۰۷۴۹^{ns}	۰/۰۶ *
خطا	۲۴	۱۳۲۱	۱۹۳۱۶۳	۰/۰۳ ^{ns}
CV		۹/۴۴	۶/۷	۴/۹

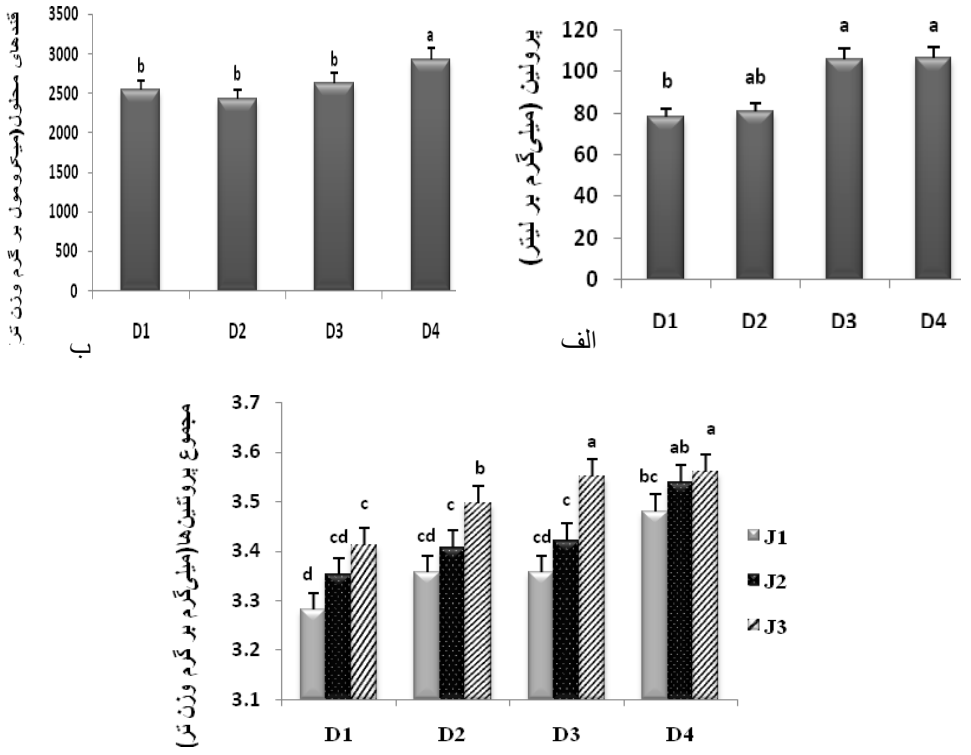
ns غیر معنی‌دار، *، ** به ترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

قندهای محلول (۲۹۳۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در دور آبیاری ۱۰ روز در میان مشاهده شد و این سطوح نسبت به شاهد به‌ترتیب ۳۶ و ۱۵/۵ درصد افزایش داشت که با گزارشات قبلی مطابقت دارد (۲). نتایج این قسمت نشان داد تجمع پرولین در برگ حساسیت بیشتری نسبت به سطح تنش دارد به طوری که افزایش آن در دو سطح بالاتر تنش نسبت به شاهد معنی‌دار بود در حالی که تجمع قندهای محلول تنها در بالاترین سطح تنش اتفاق افتاد. گونه‌های مختلف گیاهی دامنه وسیعی از مکانیسم‌های مقاومت به خشکی را نشان می‌دهند که منجر به ایجاد سازگاری‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی می‌گردد (۱۶). در همین رابطه ریگر (۴۰) اظهار داشت، یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های سازگاری گیاهان به شرایط کم آبی پدیده تنظیم اسمزی است که در درختان زیتون، پسته و بادام گزارش شده است. وی افزود که تحمل به تنش خشکی می‌تواند نتیجه تولید و یا تجمع محلول‌های اسمزی سازگار باشد. افزایش قندهای محلول و پرولین همراه با افزایش تنش، اهمیت آن‌ها را در تنظیم اسمزی و تحمل به تنش آبی نشان می‌دهد (۱۰). تجمع پرولین در شرایط تنش ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز پرولین از قبیل اورنیتین آمینوترانسفراز و پرولین ردوکتاز و جلوگیری از فعالیت آنزیم پرولین کاتابولاز باشد (۳۰). تجمع پرولین باعث می‌شود گیاه طی دوره کوتاهی بعد از تنش، زنده مانده و پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابد، بنابراین اثر مثبتی بر عملکرد خواهد داشت (۹). قندهای محلول نیز از دیگر اسمولیت‌های سازگار هستند که در شرایط خشکی تجمع یافته و به عنوان عامل تنظیم اسمزی عمل می‌نمایند. افزایش قندهای محلول خود یکی از دلایل افزایش فشار اسمزی داخل گیاه است که باعث می‌شود در شرایط کاهش رطوبت خاک، جذب آب به مدت طولانی‌تری ادامه یابد (۲۶). اسید جاسمونیک بر تقسیم سلولی و اندازه سلول اثر گذاشته و سبب کاهش فعالیت مریستمی می‌گردد. در شرایط تنش خشکی، افزایش هورمون‌های اسید جاسمونیک و اسید آبسیزیک در بافت‌های گیاه مانع از رشد طولی ریشه شده و از این طریق ممکن است تولید ریشه‌های فرعی را تحریک نمایند (۴۰). همچنین کاربرد اسید جاسمونیک در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل اثر بر هدایت روزنه‌ای و تحریک بسته شدن روزنه‌ها و یا افزایش قندهای محلول، منجر به کاهش پتانسیل آب در گیاه گردد (۲۲). با توجه به نتایج، برهمکنش اسید جاسمونیک و تنش خشکی منجر

به افزایش میزان پروتئین‌های برگ دانهال‌های پسته گردید به طوری که بیشترین میزان مجموع پروتئین‌های برگ (۳/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار آبیاری ۱۰ روز در میان و غلظت ۱۰۰ میکرومولار اسیدجاسمونیک مشاهده شد که نسبت به شاهد ۸/۴ درصد افزایش نشان داد. افزایش میزان پروتئین‌های محلول در تنش خشکی می‌تواند در نتیجه سنتز پروتئین‌های جدید باشد به ویژه پروتئین‌هایی که در ساختار دیواره سلولی نقش دارند (۱۲). اخیراً چن و همکاران نشان دادند که در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات، پروتئین‌هایی تولید می‌شوند که در فرایندهای فیزیولوژیکی مختلفی نقش دارند (۱۷).

همچنین فارمر و همکاران (۲۱)، بیان کردند اسید جاسمونیک ممکن است توسط بیان ژن و تحریک سنتز بازدارنده پروتئیناز، مانع تجزیه پروتئین‌های محلول در برگ‌های گوجه‌فرنگی، تنباکو و یونجه گشته و بدین طریق منجر به پایداری پروتئین‌های گیاه گردند.

با وجود گزارشاتی از نقش اسید جاسمونیک در حفاظت از گیاهان در مقابل تنش خشکی (۲۴، ۳۳، ۳۵)، در آزمایش ما اسید جاسمونیک بر خلاف انتظار نتوانست به رشد دانهال‌های پسته در شرایط خشکی کمک نماید. در برخی از پژوهش‌های پیشین نشان داده شده که کاربرد خارجی اسید جاسمونیک و یا تجمع درونی آن تحت تأثیر



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات تیمارهای اسید جاسمونیک و خشکی بر محتوای پرولین (الف)، مجموع قندهای محلول (ب) و مجموع پروتئین‌های محلول (ج) برگ دانهال‌های سه ماهه پسته رقم قزوینی پس از ۷۰ روز تنش. D_1، D_2، D_3 و D_4 به‌ترتیب دور آبیاری ۱، ۳، ۶ و ۱۰ روز در میان. J_1، J_2 و J_3 به‌ترتیب غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حروف مشابه نشانه‌ی عدم اختلاف معنی‌دار در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است.

تنش‌های محیطی، موجب کاهش رشد گیاه گردیده است (۱۸، ۲۶). پژوهشگران معتقدند نقش اسید جاسمونیک به عنوان یک ملکول انتقال‌دهنده پیام تنش در گیاهان حساس و مقاوم به تنش و حتی بین ارقام یک گونه می‌تواند متفاوت باشد (۳۷، ۳۸). در پسته به عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی، به نظر می‌رسد اسید جاسمونیک نقشی در انتقال پیام تنش ندارد و مقاومت به خشکی در این گیاه وابسته به سایر عوامل از جمله ویژگی‌های ساختمانی گیاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی، از نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان پی برد که دانهال‌های پسته قزوینی تا دور آبیاری ۶ روز در شرایط آزمایش ما، مقاوم بوده و کاهش رشدی در آن‌ها مشاهده نشد با وجودی که روابط آبی گیاه بر مبنای پتانسیل فشار آوندهای چوبی ساقه، در این دور آبیاری تحت تأثیر منفی قرار گرفت. با توجه به نتایج، مکانیسم تنظیم اسمزی بدون شک یکی از استراتژی‌های گیاه برای مقابله با تنش خشکی است که پرولین در این رابطه بیومارکر حساس‌تری می‌باشد. نتایج این آزمایش نشان داد که با وجود تأثیر اسید جاسمونیک بر غلظت پروتئین‌های محلول برگ، کاربرد غلظت‌های مورد استفاده نقشی در حفظ رشد گیاهان در شرایط تنش خشکی نداشت.

سپاس‌گزاری: از دانشگاه ولی‌عصر (عج) به دلیل امکانات گلخانه‌ای و آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- امامی میبدی، ع. ۱۳۸۶. اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری. مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، تهران.

۲- باقری، و.، شمشیری، م. ح.، شیرانی، ح. و ح. ر. روستا. ۱۳۹۰. اثر قارچ میکوریز آربوسکولار و تنش خشکی بر رشد، روابط آبی، تجمع پرولین و قندهای محلول در نهال‌های دو رقم پایه‌ای پسته اهلی. مجله علوم باغبانی ایران، جلد ۴۲ (شماره ۴)، ۳۷۷-۳۶۵.

۳- بی‌نام. ۱۳۸۹. نتایج طرح آمارگیری نمونه‌ای محصولات باغی سال ۱۳۸۷. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، تهران.

۴- پناهی، ب.، اسماعیل پور، ع.، فربود، ف.، مؤذن پورکرمانی، م. و ح. فریور مهین. ۱۳۸۱. راهنمای پسته (کاشت، داشت و برداشت). نشر آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۵- جوادی، ت. و ب. بهرام نژاد. ۱۳۸۹. محتوای نسبی آب و تبادلات گازی سه ژنوتیپ وحشی گلابی در شرایط تنش آبی. نشریه علوم باغبانی، جلد ۲۴ (شماره ۲)، ۲۳۳-۲۲۳.

۶- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

۷- کافی، م. و ع. م. مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

۸- مجد، ا.، جعفریه یزدی، ا.، فلاحیان، ف.، خاوری نژاد، ر.، برنارد، ف. و ف. جاویدفر. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی و اسید آبسیزیک بیرونی بر تکوین گیاه کلزا (*Brassica napus* L.). مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، جلد ۱ (شماره ۶۲)، ۱۱-۱.

۹- موحدی دهنوی، م.، مدرس، ع. و م. جلالی. ۱۳۸۳. تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل (SPAD) و کلروفیل فلورسانس در ارقام گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی. مجله بیابان، جلد ۹ (شماره ۱)، ۱۰۷-۹۳.

۱۰- نورانی آزاد ، ح. و د. چوبینه. ۱۳۸۷. مطالعه تنش آبی بر بیوماس، قندهای محلول، پرولین، آنزیم‌ها و یون‌ها در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.). فصلنامه دانش زیستی ایران، جلد ۳ (شماره ۲)، ۲۷-۱۹.

11- Abdolahi Ezzatabadi, M. 1996. Economic evalution of methods of agricultural water provition in Rafsanjan city. M. Sc. Thesis, Shiraz Univercity.

12- Aminia, F. and A.A. Ehsanpourb. 2009. Expression pattern analysis of *TomPRO2* and *LaPA1* genes in tomato under *in vitro* salt stress by Semi-quantitative RT-PCR. Plant Production, 3: 69-76.

13- Amrijit, K. N., Kumari, S. and D.R. Sharma. 2005. In vitro selection and characterization of water stress tolerance culture of bell pepper. Plant Physiology, 10: 14-19.

14- Bagheri, V., Shamshiri, M.H., Shirani, H. and H.R. Roosta. 2011. Effect of mycorrhizal inoculation on ecophysiological responses of pistachio plants grown under different water regimes. Photosynthetica, 49: 531-538.

15- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein day binding. Biochemistry, 72: 248-254.

16- Chartzoulakis, K., Bosabalidis, A. M., Patakas, A. and S. Vemmos. 2000. Effect of water stress on water relation gas exchange and leaf structure of olive tree. Acta Horticulturae, 537: 241-247.

17- Chen, Y., Pang, Q., Dai, S., Wang, Y., Chen, S. and X. Yan. 2011. Proteomic identification of differentially expressed proteins in *Arabidopsis* in response to methyl jasmonate. Journal of Plant Physiology, 168: 995-1008.

18- Cipollini, D. 2005. Interactive effects of lateral shading and jasmonic acid on morphology, physiology, seed production, and defense traits in *Arabidopsis thaliana*. International Journal of Plant Sciences, 166: 955-959.

19- Davis, W.J. and E. Volkenburg. 1995. The influence of water deficit on the factors controlling the daily patern of growth of Bean. Botany, 54: 987-999.

20- Delfine, S., Loreto, F., Pinelli, P. and A. Alvino. 2005. Isoprenoids content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water stress. Agriculture Ecosystem and Environment, 106: 243-252.

21- Farmer, E.E., Russell, R.J. and A.R. Clarence. 1992. Regulation of Expression of Proteinase Inhibitor Genes by Methyl Jasmonate and Jasmonic Acid. Plant Physiology, 98: 995-1002.

22- Foukaraki, S. and L. Terry. 2008. Effect of mety jasmonate treatment carbohydrate concentration in petal of First Red roses. International symposium of the 9th on postharvest quality of ornamental plants, August 14, Cranfiled University.

23- Gao, X., Wang, X., Lu, Y., Zhang, L., Shen, Y., Liang, Z. and D. Zhang. 2004. Jasmonic acid is involved in the water stress induced betaine accumulation in pear leaf. Environment, 27: 497–507.

24- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Plant Physiology, 24: 519-570.

25- Irrigoyen, J.H., Emerich, D.W. and M. Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84: 55-66.

26- Kim, E.H., Kim, Y.S., Park, S.H., Koo, Y.J., Choi, Y.D., Chung, Y.Y., Lee, I.J. and J.K. Kim. 2009. Methyl jasmonate reduces grain yield by mediating stress signals to alter spikelet development in rice. Plant Physiology, 149: 1751-1760.

27- Kuchaki A. and Gh. Srmdnya. 2005. Crop Physiology. Jahad University Press, Ferdowsi University of Mashhad.

28- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki. K., Sahli, A., Mougou, A. and B. Marzouk. 2009. Water deficit effects on caraway *(Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products, 30: 372-379.

29- Levitt, J. 1980. Stress terminology. In: Tuner P. J. Kramer (eds.) Adaptation of plants to water stress. Willy, 36: 437-439.

30- Madan, S., Nainwatee, H., Jain, R. and J. Chiwdhaury. 1995. Proline metabolizing enzymes in *in-vitro* selected NaCl tolerance *Brassica juncea* under salt stress. Annals of Botany, 76: 51-57.

31- Mahabub Alam, M.D., Kamrun, N., Hasanuzzaman, M. and F. Masayuki. 2014. Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different *Brassica* species. Plant Biotechnology Reports, 8: 279-293.

32- Mahmood, M., Bidabadi, S.S., Ghobadi, C. and D.J. Gray. 2012. Effect of methyl jasmonate treatments on alleviation of polyethylene glycol-mediated water stress in banana (*Musa acuminata* cv. 'Berangan', AAA) shoot tip cultures. Plant Growth Regulation, 68:161–169.

33- Major, D., Banmeister, J. and S. Zhao. 2003. Digital imaging and spectral techniques (Application to precision agriculture and crop physiology). ASA-CSSA. Special Publication, Madison, USA.

34- Nafie, E., Tahany, H. and A.S. Al Mokadem. 2011. Jasmonic acid elicits oxidative defense and detoxification systems in *Cucumis melo* L. cells. Brazilian Journal of Plant Physiology, 23: 161-174.

35- Newman, E.I. 1966. A metod of estimating the total length of root in a sample. Ecology, 3: 139-145.

36- Paquin, R. and P. Lechasseur. 1979. Observation surune method dosage dela proline libredans les extraits plants. Botanicaly, 57: 1851-1854.

37- Pedranzani, H., Racagni, G., Alemano, S., Miersch, O. and H. Pena-cortes. 2003. Salt tolerant tomato plants show increased levels of jasmonic acid. Plant Growth Regulation 14: 149-158.

38- Pedranzani, H., Sierra-de-Grado, R., Vigliocco, A., Miersch, O. and H. Abdala. 2007. Cold and water stresses produce changes in endogenous jasmonates in two populations of *Pinus pinaster* Ait. Plant Growth Regulation, 52: 111-116.

39- Richardson, S.G. and C.M. Mckell. 1980. Water relations of Atriplex canescens as affected by the salinity and moisture percentages of processed oil shale. Agronomy, 72: 946-950.

40- Rieger, M. 1995. Offsetting effects of reduced root hydraulic conductivity and osmotic adjustment following drought. Tree Physiology, 15: 379-385.

41- Rohwer, C.L. and J.E. Erwin. 2008. Horticultural applications of jasmonates. Horticultural Science and Biotechnology, 83: 283-304.

42- Wasternack, C. 2007. Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. Annals of Botany, 74: 1090-1093.

43- Wu, Q.S. and Y.N. Zou. 2009. Mycorrhizal influence on nutrient uptake of citrus exposed to drought stress. Philippin Agriculture Scientist, 92: 33-38.

44- Zhang, Z.J., Zhou, W.J., Li, H.Z., Zhang, G.Q., Subrhamaniyan, K. and J.Q. Yu. 2006. Effect of jasmonic acid on in vitro explant growth and microtuberization in potato. Biologia Plantarum, 50: 453-456.