

تأثیر پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ظهور و رشد اولیه گیاهچه های در شرایط تنش خشکی (*Cucurbita pepo* L.) کدو تخم کاغذی

مجید رستمی^{۱*} و احمد جوادی^۲

* گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر،^۲ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و

منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۱۳)

چکیده

به منظور ارزیابی اثر پیش تیمار بذرهای کدو تخم کاغذی با سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ظهور و رشد اولیه گیاهچه در شرایط تنش خشکی، آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر انجام شد. در این پژوهش، علاوه بر ظهور و رشد اولیه گیاهچه کدو تخم کاغذی، پراکسیداسیون لیپیدها و فعالیت برخی آنزیم های آنتی اکسیدان گیاهچه نیز اندازه گیری شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید (غلظت های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی پی ام)، سه سطح پیش تیمار بذر با جاسمونیک اسید (غلظت های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام) و سه سطح تنش خشکی که شامل ۱۰۰ (شاهد)، ۶۰ (خشکی ملایم) و ۳۰ (خشکی شدید) درصد رطوبت ظرفیت زراعی بودند. بر اساس نتایج حاصل، درصد و سرعت ظهور گیاهچه به ترتیب با حدود ۱۰ و ۵۴ درصد کاهش و همچنین طول و وزن خشک و شاخص طولی قدرت گیاهچه به ترتیب با حدود ۱۱، ۹ و ۲۵ درصد کاهش در شرایط تنش خشکی شدید، کم ترین مقدار را به خود اختصاص دادند. همچنین در همین سطح تنش، افزایش قابل توجهی در تجمع مالون دی آلدید (۸۴ درصد)، پراکسید هیدروژن (۷۱ درصد)، پرولین (۱۳ درصد) و فعالیت آنزیم های کاتالاز (۳۹ درصد) و پراکسیداز (۵۷ درصد) برگ گیاهچه ها نسبت به شاهد مشاهده گردید. از سوی دیگر، پیش تیمار بذر با سطوح مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به طور معنی داری باعث کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی بر همه صفات مورد بررسی به جز درصد ظهور گیاهچه گردید. گیاهچه های حاصل از بذرهایی که به صورت همزمان با بیشترین غلظت سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید تیمار شده بودند از تحمل به تنش بالاتری برخوردار بودند.

کلمات کلیدی: آنزیم های آنتی اکسیدان، پیش تیمار بذر، سرعت ظهور گیاهچه، هورمون های گیاهی

مقدمه

جانبی داروهای شیمیایی، مصرف داروهای با منشأ گیاهی از گسترش روز افزونی برخوردار است (Ekor, 2014). کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) به عنوان یکی از گیاهان دارویی مهم، گیاهی است علفی و یکساله، متعلق به تیره

اهمیت گیاهان دارویی سبب شده است که سطح وسیعی از زمین های زراعی در کشورهای توسعه یافته در دهه های اخیر به کشت آن ها اختصاص یابد (بلوچی، ۱۳۹۲). به دلیل اثرات

کدویان، که نقش عمده‌ای در معالجه غده پروستات و مداوای سوزش مجاری ادرار و درمان تصلب شراین دارد (بلوچی، ۱۳۹۲). مصرف دانه‌های این گیاه باعث تقویت و مقاومت بدن در مقابل عوامل بیماری‌زا می‌شود (امیدیگی، ۱۳۷۹).

به طور کلی فرآیند جوانه‌زنی بذر تحت کنترل عوامل ژنتیکی، هورمونی و محیطی است (Meyer et al., 2000). در بین عوامل محیطی مقدار آب از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر جوانه زنی بذور گیاهان محسوب می‌شود (Anda and Pinter, 1994). به نحوی که کمبود آن به عنوان اساسی‌ترین عامل بازدارنده جوانه‌زنی قلمداد می‌گردد. بذوری که قادر به جوانه‌زنی تحت شرایط تنش رطوبتی هستند از شانس بیش‌تری در استقرار گیاه و تراکم مطلوب برخوردارند (Balbaki et al., 1999). بروز تنش خشکی در مرحله ظهور و رشد اولیه گیاهچه با کاهش پتانسیل آب در بستر بذر همراه است که پیامد آن کاهش سرعت و درصد ظهور و رشد اولیه گیاهچه می‌باشد (Boydak et al., 2003; Kaya et al., 2006). استراتژی‌های مقاومتی شامل پیش‌تیمار بذر اغلب برای بهبود استقرار گیاهان و افزایش قدرت گیاهچه‌های تحت شرایط محیطی نامطلوب به ویژه خشکی استفاده می‌شود (Ashraf and Fooled, 2007). پیش‌تیمار بذر فرآیندی است که در طی آن جذب آب به منظور آغاز وقایع اولیه‌ی جوانه‌زنی تا قبل از خروج ریشه‌چه صورت می‌گیرد و سپس بذرها تا رسیدن به رطوبت اولیه خشک می‌گردند. این فرآیند یکی از ارزان‌ترین راه‌های بهبود استقرار گیاهچه در شرایط تنش محسوب می‌شود (Harris, 2003). سالیسیلیک اسید یکی از مولکول‌های سیگنال‌دهنده مهم است که در واکنش‌های دفاعی گیاه نسبت به بروز تنش‌های غیر زنده همچون خشکی، سرما و گرما مشارکت می‌کند (Khalid, 2006). منوچهری‌فر و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید برای پیش‌تیمار بذرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوریکه پژوهشگران متعددی اعلام نمودند که این تنظیم‌کننده باعث بهبود فرآیند جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه‌ی گیاهچه می‌گردد (Shakirova and Sahabudinova, 2003; El-Tayeb, 2005).

در این راستا پژوهشگران اعلام نمودند که، پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک اسید قبل از کاشت از طریق افزایش غلظت بعضی از هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها (Shakirova et al., 2003) و کاهش نشت یونی از سلول‌های گیاهی موجب افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌گردد (Ghoulam et al., 2001). مکانیسم عمل اسید سالیسیلیک در برابر تنش‌ها به نقش آن در تولید برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات دارای گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه بر می‌گردد (Khan et al., 2010). Kalantar Ahmadi و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند که سالیسیلیک اسید می‌تواند از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مقاومت گیاه کلزا را نسبت به تنش خشکی افزایش دهد.

جاسمونات‌ها گروه جدیدی از هورمون‌های گیاهی هستند که با دخالت در بیان ژن‌های مختلف، گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی محافظت می‌نمایند (Mahmud et al., 2017). این ترکیبات در طول دوره نمو گیاه و سازگاری با تنش‌های زیستی و غیر زیستی به عنوان مولکول‌های سیگنال عمل می‌کنند و موجب کاهش اثر تنش می‌گردند (Koo, 2017). زارعی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه خود بر روی جوانه‌زنی بذرها و رشد اولیه گیاهچه‌های سیاه‌دانه در شرایط تنش اعلام کردند که پیش‌تیمار بذرها با جاسمونیک اسید موجب بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه در شرایط تنش گردید. همچنین، جاسمونیک اسید فرآیندهای ممانعت‌کننده جوانه‌زنی را در کاهو و تاج‌خروس کاهش داد (Govahi et al., 2008). گزارش شده است که پیش‌تیمار بذر با متیل جاسمونات، تولید پلی‌آمین آزاد را در بافت‌های گیاهی تحریک می‌کند. بنابراین، متیل جاسمونات و پلی‌آمین به صورت سینرژسم عمل می‌کنند و پیش‌تیمار بذر با متیل جاسمونات جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه را افزایش می‌دهد (Kaya et al., 2002). جاسمونات‌ها ضمن افزایش توان گیاه در برابر تنش‌های محیطی و زیستی، از طریق افزایش کربن‌گیری به بهبود رشد و نمو گیاه و تجمع ماده خشک کمک شایانی می‌کنند (Maksymiec, 2011).

با توجه به این نکته که مرحله ظهور و رشد اولیه گیاهچه

حساس ترین مرحله نمو گیاهان به کمبود آب است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸)، لذا هدف از اجرای این پژوهش ارائه راه حلی در جهت کاهش آسیب های ناشی از تنش خشکی در مرحله ظهور و رشد اولیه گیاهچه کدو تخم کاغذی بود. اگرچه پژوهش های متعددی در زمینه تأثیر اسید سالیسیلیک بر جوانه زنی و رشد گیاهان در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است ولی برهمکنش سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر ظهور و رشد اولیه گیاهچه در شرایط تنش خشکی و همچنین بررسی فرایند پراکسیداسیون لیپیدی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان تحت تأثیر این تیمارها در گیاه کدو تخم کاغذی، برای اولین بار در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش سعی بر این شد که اثر پیش تیمار بذر با غلظت های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به صورت منفرد و توأم مورد بررسی گردد.

مواد و روش ها

بذر کدو تخم کاغذی از شرکت تولید و تهیه بذر "پاکان بذر اصفهان" تهیه گردید. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید (غلظت های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی پی ام)، سه سطح پیش تیمار بذر با جاسمونیک اسید (غلظت های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام) و سه سطح تنش خشکی که شامل ۱۰۰ (شاهد)، ۶۰ (خشکی ملایم) و ۳۰ (خشکی شدید) درصد رطوبت ظرفیت زراعی بودند. به منظور بهینه سازی غلظت های مورد استفاده در پیش تیمار بذر کدو تخم کاغذی، غلظت های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید و غلظت های ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ پی پی ام جاسمونیک اسید مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از انجام آزمون جوانه زنی استاندارد در دمای ۲۵ به مدت ۸ روز (ISTA, 2008)، غلظت های بهینه بر اساس بیشترین درصد و سرعت جوانه زنی و بالاترین طول و وزن خشک گیاهچه انتخاب شدند. به منظور بررسی اثرات پیش تیمار بذر، ابتدا

بذرهای کدو تخم کاغذی با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و پس از سه بار شستشو با آب مقطر، با غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید و غلظت های ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید به مدت ۱۸ ساعت (قبل از خروج ریشه چه) در تاریکی پیش تیمار شدند. پیش تیمار بذر با قرار گیری بذرهای بین دولایه کاغذ حوله ای مرطوب اعمال شد و پس از اتمام آبیگری بذرهای در طی فرآیند پیش تیمار، خشک شدن بذرهای در دمای آزمایشگاه (۲۰-۳۰ درجه سانتی گراد) تا رسیدن به رطوبت اولیه انجام شد. جهت اعمال سطوح تنش خشکی از روش وزنی استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا یکی از گلدان های آزمایش پر از خاک توزین شد. سپس گلدان از آب اشباع شد، و برای جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان توسط یک پلاستیک پوشیده شد. با خروج آب ثقیلی وزن گلدان به طور مرتب کم شد تا زمانی که وزن آن ثابت ماند (نشان دهنده رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی). با تفاضل وزن اخیر و وزن خاک خشک مقدار آب لازم برای رسیدن خاک هر گلدان به حد ظرفیت زراعی مشخص و سطوح ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد این مقدار آب نیز محاسبه شد و در طول آزمایش برای سطوح مختلف رطوبتی گلدان ها مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور گلدان ها روزانه وزن می شد و مقدار آب لازم برای رسیدن به هر کدام از سطوح اضافه می شد (خزائی و همکاران، ۱۳۷۸؛ Jacob and Clarke, 2002; Cavazza et al., 2007). خاک مورد استفاده در این آزمایش از نوع لومی-رسی با اسیدیته ۸/۵ و هدایت الکتریکی ۴۴/۸ میکرو زیمنس بر سانتی متر بود. تعداد ۲۵ عدد بذر پیش تیمار شده در هر گلدان (۲۰ cm × ۳۵ cm) کشت گردیدند. تعداد گیاهچه های سبز شده (باز شدن کامل برگ لپه ای) هر ۲۴ ساعت یکبار شمارش شد. بعد از سه روز متوالی عدم ظهور گیاهچه جدید شمارش روزانه پایان یافت و اقدام به تنک کردن تصادفی گیاهچه ها گردید (ISTA, 2008). سرعت ظهور گیاهچه بر اساس معادله Ellis and Roberts (۱۹۸۱) اندازه گیری شد. ۲۵ روز پس از کاشت بذور (دو تا سه برگی) در گلدان نمونه برداری از جوان ترین برگ های

گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی جهت بررسی اثرات تیمارهای مورد مطالعه روی گیاهچه‌ها صورت گرفت. در پایان آزمایش طول و وزن خشک گیاهچه اندازه گیری شد. شاخص طولی قدرت با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

طول گیاهچه $\times$ درصد ظهور گیاهچه = شاخص طولی قدرت
تعیین پرولین جوان‌ترین برگ گیاهچه کدو تخم کاغذی با استفاده از معرف نین‌هیدرین و به روش اسپکتروفتومتری صورت گرفت (Bates, 1973).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی جوان‌ترین برگ گیاهچه از طریق اندازه گیری مقدار مالون دی آلدئید (MDA) با استفاده از روش Heath and Packer (۱۹۶۸) تعیین شد. به این منظور، ۰/۱ گرم بافت گیاهی تازه در یک میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل در ۱۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. یک میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد (حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید) به ۴۰۰ میکرو لیتر از عصاره شفاف گیاهی (بعد از سانتریفیوژ) اضافه شد. مخلوط به دست آمده در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. سپس دوباره در ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر برای جذب در این طول موج کمپلکس MDA-TBA بود. جذب بقیه رنگیزه‌های غیر اختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. برای محاسبه غلظت مالون دی آلدئید از ضریب خاموشی مربوطه ($0.155 \text{ cm}^{-1} \cdot \mu\text{M}^{-1}$) بهره گرفته شد و مقادیر با واحد $\mu\text{mol.g}^{-1} \text{ FW}$ بیان گردید.

سنجش پراکسید هیدروژن با استفاده از روش Hung و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد. ۰/۱ گرم از جوان‌ترین برگ گیاهچه در یک میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ (TCA) هموزن گردید و سپس عصاره حاصل در ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول سانتریفیوژ شده به ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار (pH=7) و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار

اضافه شد و جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت شد. مقدار پراکسید هیدروژن در هر نمونه با استفاده از ضریب خاموشی ($0.028 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) محاسبه گردید و مقادیر با واحد $\mu\text{mol.g}^{-1} \text{ FW}$ بیان گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز جوان‌ترین برگ گیاهچه با استفاده از روش Aebi (۱۹۸۴) تعیین شد. به منظور استخراج آنزیم کاتالاز، ۱۰۰ میلی‌گرم بافت برگ توسط یک میلی لیتر بافر استخراج (۵۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH= 6) تهیه و ۴ گرم پودر PVP اضافه شد) در چهار درجه سانتی‌گراد هموزن گردید. محلول حاصل در سرعت ۱۲۰۰۰ rpm و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه، سه میلی لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH= 6) و ۴۰ میکرولیتر محلول ۳۰ میلی مولار آب اکسیژنه (H_2O_2) با هم مخلوط گردید. پس از افزودن ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی، در پایان پنج دقیقه از شروع واکنش در دمای آزمایشگاه، جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. اعداد جذب بر عدد ضریب خاموشی پراکسید هیدروژن ($39/4 \mu\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) تقسیم و فعالیت ویژه آنزیم کاتالاز بر اساس میکرو مول H_2O_2 تولید شده در دقیقه بیان شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز جوان‌ترین برگ گیاهچه با استفاده از روش MacAdam و همکاران (۱۹۹۲) صورت پذیرفت. به منظور استخراج آنزیم پراکسیداز، ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه گیاهی در یک میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر فسفات+PVP+KCl)، در دمای چهار درجه سانتی‌گراد (با استفاده از هاون چینی سرد) ساییده شد. محلول تهیه شده پس از انتقال به لوله اپندورف در ۱۲۰۰۰ rpm و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. جهت ممانعت از تخریب آنزیم تا زمان اندازه‌گیری فعالیت، نمونه‌های سانتریفیوژ شده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس نمونه‌های عصاره حاوی آنزیم از فریزر خارج و در حمام یخ قرار داده شدند. در ادامه سه میلی لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار، ۵۰ میکرولیتر گایاکول ۲۰۰ میلی‌مولار و ۴۰ میکرولیتر محلول ۳۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه با هم مخلوط

گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و بعد از پنج دقیقه از شروع واکنش در دمای آزمایشگاه، جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. اعداد مربوط به جذب بر عدد ضریب خاموشی تترآگایاکول ($26/6 \mu M^{-1}.cm^{-1}$) تقسیم شدند و فعالیت ویژه آنزیم پراکسیداز بر اساس میکرومول تترآگایاکول تولید شده در دقیقه بیان شد. محلول جذب زمینه (Blank) شامل تمام موارد به جز عصاره استخراج شده بود.

به منظور تبدیل داده‌های مربوط به درصد جوانه‌زنی استاندارد از روش تبدیل زاویه‌ای استفاده شد. پس از آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها (بر اساس آزمون شاپیرو-ویلک) و بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (طبق آزمون لون)، تجزیه‌ی واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد توسط نرم افزار آماری SAS (VER 9.1) صورت گرفت.

نتایج

با افزایش شدت تنش خشکی، درصد ظهور گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0.05$)، به طوریکه، کم‌ترین درصد ظهور گیاهچه‌ها در آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید (جدول ۱). از سوی دیگر، درصد ظهور گیاهچه‌ها بذرهای پیش‌ تیمار شده با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید (SA and JA) نسبت به شاهد (عدم پیش‌ تیمار بذر) افزایش معنی‌داری نشان داد ($P \leq 0.05$). بطور کلی غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در حالت منفرد نسبت به غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید در افزایش درصد ظهور گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی مؤثرتر بود. اما پیش‌ تیمار بذر با هر دو ماده به صورت توأم در غلظت‌های مختلف موجب بروز اثرات مثبت بیش‌تری شد. به طوریکه بالاترین درصد ظهور گیاهچه به تیمار $SA_2 JA_2$ (غلظت ۲۰۰ppm سالیسیلیک اسید و ۱۰۰ppm جاسمونیک اسید) و پایین‌ترین درصد ظهور گیاهچه به ترکیب تیماری

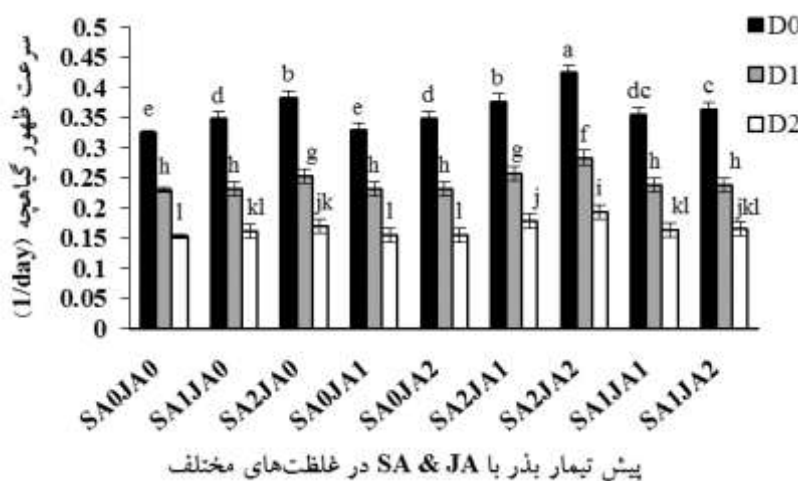
$SA_0 JA_0$ (عدم پیش‌ تیمار بذر) تعلق داشت (جدول ۱). کاهش رطوبت خاک، موجب تأخیر معنی‌داری در ظهور گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی شد ($P \leq 0.05$). تنش خشکی شدید (آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) کم‌ترین سرعت ظهور گیاهچه را در مقایسه با سطوح دیگر تنش به خود اختصاص داد (شکل ۱). از طرف دیگر، پیش‌ تیمار بذر با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید موجب بهبود نسبی اثر منفی تنش خشکی بر سرعت ظهور گیاهچه‌ها گردید ($P \leq 0.05$). به صورتیکه، پیش‌ تیمار بذر با غلظت کم سالیسیلیک اسید و هر دو غلظت جاسمونیک اسید بصورت جداگانه، در تنش خشکی ملایم (آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) اثرات مثبت معنی‌داری بر سرعت ظهور گیاهچه‌ها نداشت. در حالیکه ترکیب غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید موجب بهبود نسبی اثرات سوء ناشی از تنش خشکی بر سرعت ظهور گیاهچه‌ها گردید. به طوریکه توده بذری پیش‌ تیمار شده با غلظت‌های زیاد سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید ($SA_2 JA_2$) سریع‌ترین ظهور گیاهچه را نسبت به تیمار شاهد ($SA_0 JA_0$) در هر سه سطح تنش از خود نشان داد (شکل ۱).

محدودیت آب در بستر کشت موجب تولید گیاهچه‌های کوتاه‌تر و سبک‌تری نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) گردید ($P \leq 0.05$). با کاهش آب موجود در خاک، اثر بازدارندگی تنش خشکی بر رشد گیاهچه شدت یافت. به طوریکه آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد کم‌ترین طول و وزن خشک گیاهچه را به خود اختصاص داد (شکل ۲ و ۳). از طرف دیگر، پیش‌ تیمار بذر با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید موجب شد که در سطوح مختلف تنش خشکی، گیاهچه‌های طویل‌تر و سنگین‌تری در مقایسه با توده بذری شاهد (عدم پیش‌ تیمار بذر) تولید گردند ($P \leq 0.05$). پیش‌ تیمار بذر با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید به صورت منفرد گیاهچه‌های طویل‌تری و سنگین‌تری نسبت به غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام

جدول ۱- درصد ظهور گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی تحت تأثیر پیش‌ تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید و تنش خشکی

تیمارهای آزمایشی	SA & JA	درصد ظهور گیاهچه (%)
پیش‌ تیمار بذر با SA & JA در غلظت‌های مختلف	SA ₀ JA ₀	۸۵/۳۳ ± ۱/۵۶۳ e
	SA ₀ JA ₁	۸۷/۲۵ ± ۱/۷۴۵ de
	SA ₀ JA ₂	۸۹/۰۸ ± ۱/۵۸۳ dc
	SA ₁ JA ₀	۸۷/۵۰ ± ۱/۵۰۰ d
	SA ₁ JA ₁	۹۲/۳۳ ± ۱/۳۲۱ b
	SA ₁ JA ₂	۹۲/۱۶ ± ۱/۴۶۵ b
	SA ₂ JA ₀	۸۹/۶۶ ± ۱/۷۸۵ c
	SA ₂ JA ₁	۹۳/۵۰ ± ۱/۳۲۸ ab
	SA ₂ JA ₂	۹۴/۳۳ ± ۱/۳۲۱ a
تنش خشکی	D ₀	۹۵/۹۴ ± ۰/۵۳۱ a
	D ₁	۸۸/۹۴ ± ۰/۶۹۸ b
	D ₂	۸۵/۵۰ ± ۰/۷۳۰ c
ضریب تغییرات (%)	-	۲/۰۶

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید). JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید). D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی). حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

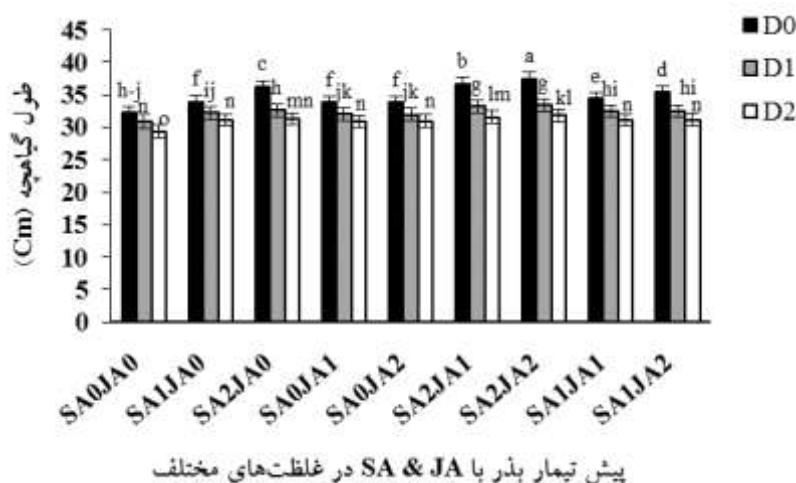


شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و پیش‌ تیمار بذر بر سرعت ظهور گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید). JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید). D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

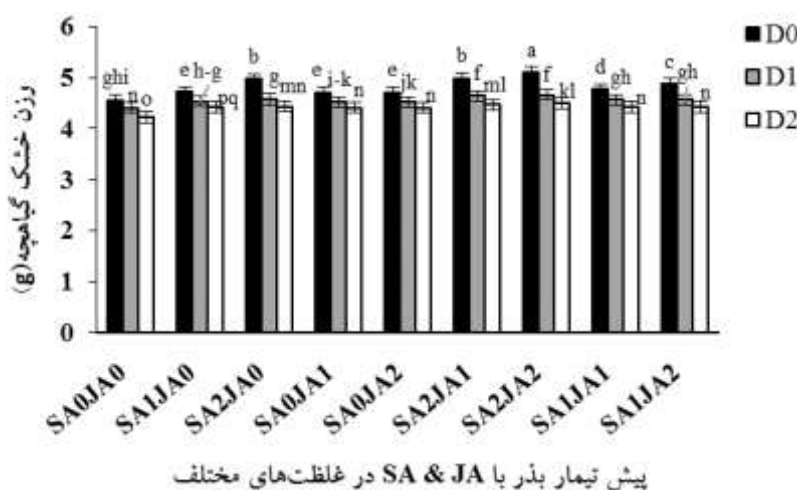
سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سودمندی بیش‌تری نسبت به کاربرد منفرد آن‌ها داشت. به‌طوریکه، غلظت زیاد سالیسیلیک

سالیسیلیک اسید و هر دو غلظت جاسمونیک اسید به تنهایی داشت. این درحالی بود که، کاربرد ترکیب غلظت‌های مختلف



شکل ۲- اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار بذر بر طول گیاهچه بذرهای کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید). JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید). D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).



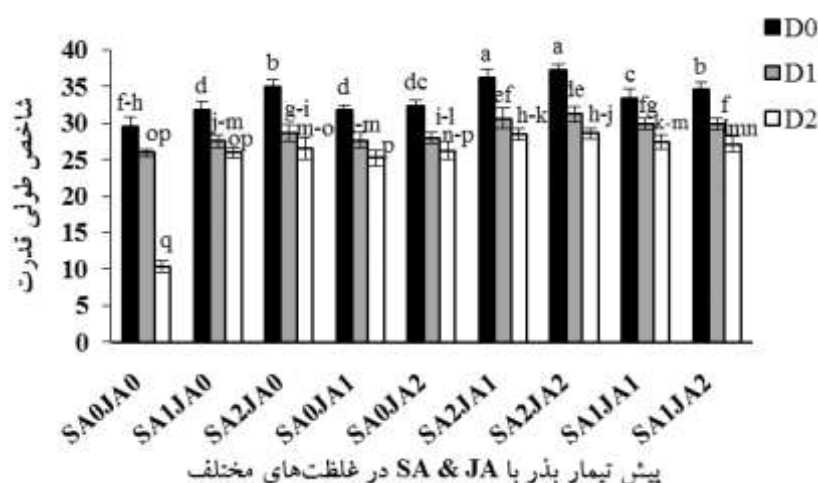
شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار بذر بر وزن خشک گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید). JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید). D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

در دسترس گیاه، کاهش یافت ($P \leq 0.05$). خشکی شدید با کاهش حدود ۲۵ درصدی شاخص طولی قدرت نسبت به شاهد (عدم محدودیت آب) کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد (شکل ۴). از سوی دیگر گیاهچه‌های به دست آمده از بذرهای پیش‌تیمار شده با غلظت‌های مختلف

اسید همراه با غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید موجب تولید گیاهچه‌هایی با طول و وزن خشک بیش‌تری نسبت به شاهد (SA₀ JA₀) شد (شکل ۲ و ۳).

شاخص طولی قدرت گیاهچه کدو تخم کاغذی به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و با کاهش آب

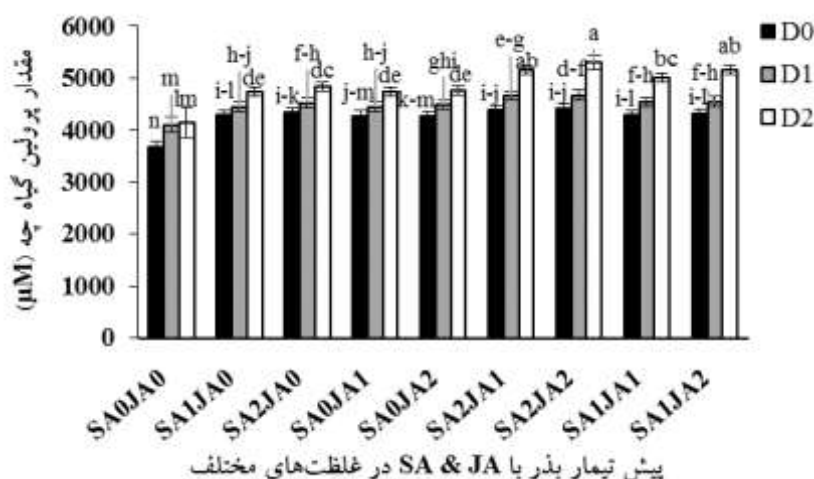


شکل ۴- اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار بذری بر شاخص طولی قدرت گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

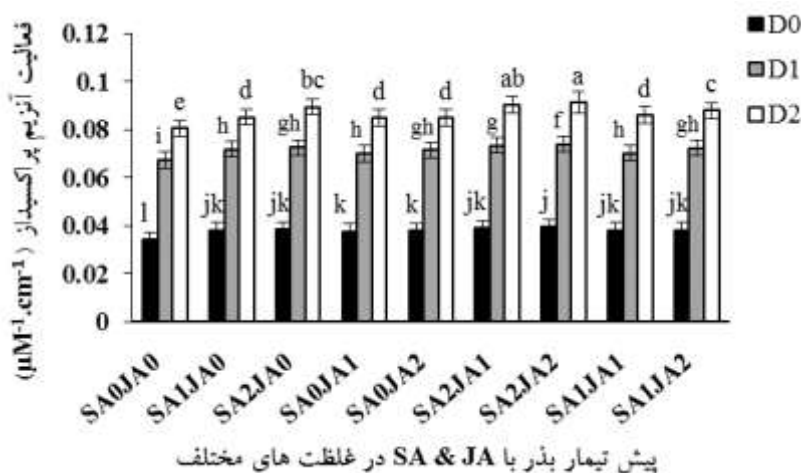
افزایش شدت تنش خشکی در بستر کشت بذره‌های کدو تخم کاغذی موجب افزایش معنی‌دار پرولین آزاد گیاهچه گردید ($P \leq 0.05$). به‌طوریکه در آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوای پرولین در حدود ۱۳ درصد نسبت به شاهد (شرایط بدون تنش) افزایش نشان داد (شکل ۵). در گیاهچه‌های به دست آمده از بذره‌های پیش‌تیمار شده با ترکیب‌های غلظتی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید، افزایش در میزان پرولین گیاهچه تحت تنش خشکی مشهودتر بود ($P \leq 0.05$). هر کدام از غلظت‌های سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به صورت منفرد موجب افزایش پرولین آزاد گیاهچه‌ها در شرایط تنش خشکی شد، اما به لحاظ آماری این ترکیبات به تنهایی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. درحالی‌که پیش‌تیمار بذره‌های کدو تخم کاغذی با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به صورت همزمان موجب تولید گیاهچه‌هایی با محتوای پرولین آزاد بیش‌تری گردید. به‌طوریکه غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید توأم با غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید (SA₂ JA₂) در سطوح مختلف تنش خشکی بیش‌ترین میزان پرولین گیاهچه را به خود اختصاص داد (شکل ۵).

سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید، به لحاظ شاخص طولی قدرت، مقاومت نسبی در برابر تنش خشکی از خود نشان دادند ($P \leq 0.05$). چرا که تمامی ترکیب‌های غلظتی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید تحت سطوح مختلف تنش خشکی شاخص طولی قدرت بیش‌تری در مقایسه با شرایط بدون پیش‌تیمار (شاهد) داشتند. هنگامی‌که بذره‌های کدو تخم کاغذی با غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید (بدون جاسمونیک اسید) تیمار شدند، شاخص طولی قدرت گیاهچه‌ها بیش‌تر از سایر سطوح پیش‌تیمار بود، در حالیکه هر دو غلظت جاسمونیک اسید (در غیاب سالیسیلیک اسید) از لحاظ این صفت در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. علاوه براین، کاربرد همزمان غلظت‌های مختلف غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید اثرات مثبت بیش‌تری بر شاخص طولی قدرت داشتند. به‌طوریکه، بیش‌ترین مقدار شاخص طولی قدرت گیاهچه کدو تخم کاغذی در غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید توأم با غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید (SA₂ JA₂) در سطوح مختلف تنش خشکی حاصل گردید (شکل ۴).



شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار بذر بر مقدار پرولین گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

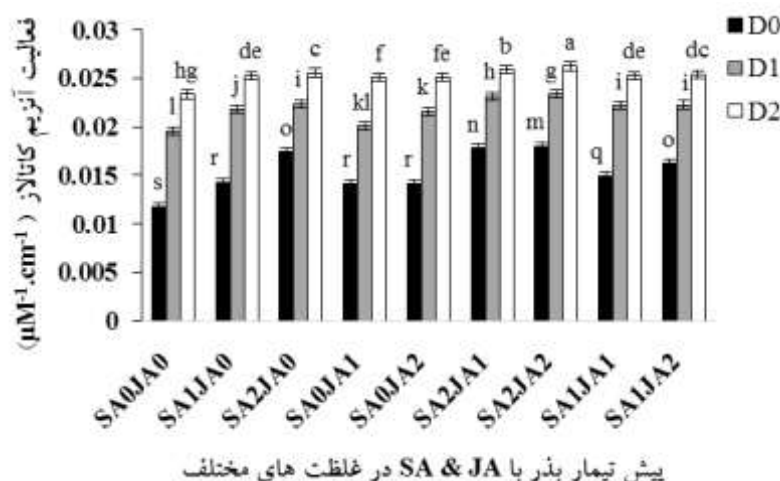


شکل ۶- اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار بذر بر فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید)، JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی پی ام جاسمونیک اسید)، D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

آنزیم نسبت به شرایط بدون محدودیت آب در بستر کشت (شاهد) مشاهده گردید (شکل ۶). توده‌های بذری پیش تیمار شده با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید منجر به افزایش معنی دار آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش خشکی شد ($P \leq 0.05$). روند صعودی فعالیت آنزیم در

فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه کدو تخم کاغذی به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت ($P \leq 0.05$). با شدت یافتن تنش فعالیت این آنزیم آنتی اکسیدان به طور معنی داری افزایش یافت. در سطوح خشکی ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، به ترتیب، افزایش حدود ۴۷ و ۵۶ درصدی فعالیت



شکل ۷- اثر متقابل تنش خشکی و پیش تیمار بذری بر فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

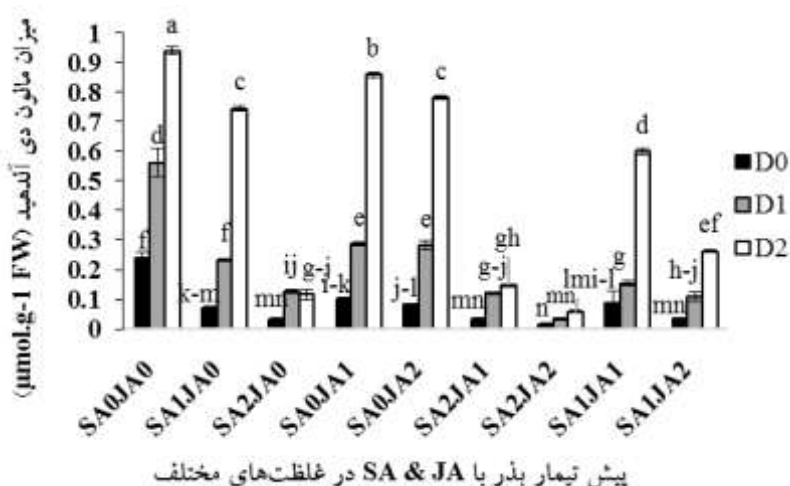
SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید)، JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید)، D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

نداشتند. اما کاربرد این دو ترکیب به صورت همزمان با هم برای پیش تیمار بذرها کدو تخم کاغذی، از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه، سودمندی بیشتری نسبت به استفاده منفرد از آنها داشت و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح پیش تیمار داشت. به نحوی که در سطوح مختلف تنش خشکی، غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید توأم با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید (SA₂ JA₂) بیش‌ترین فعالیت آنزیمی را از خود نشان داد (شکل ۷).

با افزایش سطوح خشکی میزان مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن گیاهچه کدو تخم کاغذی به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.05$). به‌طوری‌که نسبت به شاهد (بدون تنش خشکی) تنش خشکی شدید موجب کاهش حدود ۸۴ درصدی میزان مالون دی‌آلدهید گیاهچه‌ها و ۷۱ درصدی میزان پراکسید هیدروژن گیاهچه‌ها و تنش خشکی ملایم موجب کاهش حدود ۶۴ درصدی میزان مالون دی‌آلدهید گیاهچه‌ها و ۴۷ درصدی میزان پراکسید هیدروژن گیاهچه‌ها گردید (شکل ۸ و ۹). از سوی دیگر، مقدار مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن گیاهچه‌های حاصل از بذرها پیش تیمار شده با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید

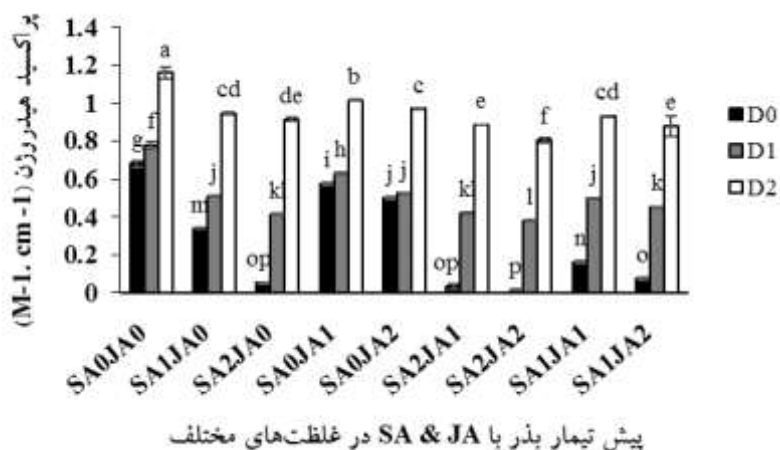
سطوح تنش در تمامی ترکیب‌های غلظتی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشهود بود، اما در شرایط آبیاری نرمال سطوح مختلف پیش تیمار از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. از سوی دیگر در آبیاری ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، پیش تیمار بذری با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید توأم با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید (SA₂ JA₂) بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را موجب گردید (شکل ۶).

با خشک‌تر شدن محیط، فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه افزایش یافت ($P \leq 0.05$). به‌طوری‌که در تنش شدید رطوبتی، بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز مشاهده شد (شکل ۷). پیش تیمار بذری با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید موجب تولید گیاهچه‌هایی شد که فعالیت آنزیم کاتالاز آنها در سطوح مختلف تنش افزایش معنی‌داری از خود نشان داد ($P \leq 0.05$). کاربرد غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید (بدون حضور جاسمونیک اسید) فعالیت آنزیم کاتالاز بیش‌تری نسبت به سایر سطوح پیش تیمار در حالت منفرد داشت. غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید (بدون اسید سالیسیلیک) نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر



شکل ۸- اثر متقابل تنش خشکی و پیش‌تیمار بذر بر میزان مالون دی‌آلدئید گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید). JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید). D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).



شکل ۹- اثر متقابل تنش خشکی و پیش‌تیمار بذر بر میزان پراکسید هیدروژن گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی

SA₀ (شاهد، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک)، SA₁ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید)، SA₂ (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید). JA₀ (شاهد، عدم کاربرد جاسمونیک اسید)، JA₁ (غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید)، JA₂ (غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید). D₀ (شاهد، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₁ (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، D₂ (۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

کاغذی مؤثرتر بودند. اما پیش‌تیمار بذر با ترکیب هر دو ماده در غلظت‌های مختلف موجب بروز اثرات مثبت بیش‌تری شد. به طوریکه کم‌ترین مقدار مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن گیاهچه‌ها به ترکیب تیماری SA₂JA₂ (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک و ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید) و بیش‌ترین

(SA and JA) در شرایط تنش نسبت به شاهد (عدم پیش‌تیمار بذر) کاهش معنی‌داری نشان داد ($P \leq 0.05$). غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در حالت منفرد نسبت به غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید به صورت منفرد در کاهش مقدار مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن گیاهچه‌های کدو تخم

مقدار مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن گیاهچه‌های به ترکیب تیماری SA_0 JA_0 (عدم پیش تیمار بذر) تعلق داشت (شکل ۸ و ۹).

بحث

با توجه به سیستم‌های آنتی اکسیدانی، شاخص‌های ظهور و رشد اولیه گیاهچه، مهم‌ترین مشاهده این مطالعه القای مقاومت به تنش خشکی در گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار شده با سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در کدو تخم کاغذی بود. در این پژوهش شاخص‌های ظهور گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی با افزایش محدودیت آب در بستر کشت کاهش معنی‌داری داشت. مطابق با نتایج این مطالعه، پژوهشگران گزارش نمودند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داری ظهور و رشد اولیه گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی شد (کریم‌زاده حسینیان، ۱۳۹۲). Rajabi and Fetri (۲۰۱۳) بیان نمودند که اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی صورت می‌گیرد و در نتیجه کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر، ظهور و رشد اولیه گیاهچه را شاهد خواهیم بود. یکی از دلایل احتمالی کاهش ظهور و رشد اولیه گیاهچه کدو تخم کاغذی تحت تنش خشکی را می‌توان به تغییرات هورمونی نسبت داد، چرا که محدودیت آب در بستر بذر با افزایش اسید آبسزیک، مانع از جوانه‌زنی بذر، ظهور و رشد مطلوب گیاهچه‌ها در مراحل ابتدایی رشد می‌شود (Ko et al., 2006; Taiz et al., 2015). در این راستا، پژوهشگران اعلام نمودند که سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به عنوان سیگنال‌های درونی گیاه در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده نظیر پاتوژن‌ها، اشعه‌ی UV، شوری و کم آبی عمل می‌نمایند (Popova et al., 2003). منوچهری‌فر و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد است که در پیش تیمار بذرهای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تنظیم‌کننده دامنه‌ی وسیعی از فرآیندهای مختلف گیاهان نظیر ظهور گیاهچه و خصوصیات رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد

گیاهچه می‌شود (Rajasekaran et al., 2002; Shakirova and Sahabudinova, 2003; El-Tayeb, 2005). بطور کلی افزایش ظهور گیاهچه (سرعت و درصد ظهور گیاهچه) و رشد اولیه گیاهچه (طول و وزن خشک گیاهچه) را می‌توان به تأثیر سالیسیلیک اسید بر بیوستز جیبرلین، فعالیت دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از آن، مقدار فتوستز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای و سیستم آنتی‌اکسیدانی نسبت داد (Rajasekaran et al., 2002; Korkmaz, 2007). از سوی دیگر زارعی و همکاران (۱۳۹۵) عنوان کردند که پیش تیمار بذرهای سیاه‌دانه با جاسمونیک اسید شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را به طور معنی‌داری افزایش داد، که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. پیش تیمار بذر با جاسمونات‌ها، موجب تحریک تولید پلی‌آمین آزاد در بافت‌های گیاهی می‌شود، لذا می‌توان گفت که جاسمونات و پلی‌آمین یک حالت هم‌افزایی نسبت به هم دارند که در اثر این هم‌افزایی، پیش تیمار بذر با جاسمونیک اسید می‌تواند جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه را افزایش دهد (Kaya et al., 2002).

مطابق نتایج این پژوهش، آقایی و احسان‌زاده (۱۳۹۰) گزارش نمودند که تنش خشکی، تجمع پرولین آزاد را در کدو تخم کاغذی افزایش داد. Saneoka (۲۰۰۴) تصریح کرد که تجمع پرولین رابطه مثبت و مستقیمی با افزایش مقاومت به تنش کم آبی در گیاهان دارد، که این موضوع در نتایج مطالعه حاضر مشهود بود. افزایش پرولین منجر به حفظ تورم و کاهش خسارت غشاء سلولی در گیاهان می‌شود، بنابراین با تنظیم اسمزی تحمل به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Pandey and Agarwal, 1998). از سوی دیگر پیش تیمار بذرهای سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید موجب تشدید روند صعودی محتوای پرولین آزاد گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی تحت شرایط تنش خشکی شد. در این راستا Hussain و همکاران (۲۰۰۸) با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) دریافتند که این ماده موجب افزایش میزان پرولین آزاد گیاهچه‌ها می‌گردد. همچنین، Bandurska and Stroinski (۲۰۰۵) بیان

کردند که تیمار با سالیسیلیک اسید محتوی پرولین را در برگ‌های *H. spontaneum* در شرایط کمبود آب افزایش داد. سالیسیلیک اسید با اثر بر فعالیت آنزیم‌های مسیر سنتز پرولین، موجب افزایش تولید این اسید آمینه می‌شود و از این طریق تحمل گیاه به شرایط تنش را ارتقا می‌دهد (Misra and Saxena, 2009; Li et al., 2017). از طرفی، همسو با نتایج این پژوهش Yoon و همکاران (۲۰۰۹) افزایش محتوای پرولین گیاهچه‌های سویا تحت تأثیر جاسمونیک اسید را گزارش نمودند. جاسمونیک اسید به عنوان کنترول‌کننده‌ی بیان ژن‌های تنظیم‌کننده‌ی اسمزی نظیر تئوین، اسموتین، هیدروکسی پرولین و پرولین عمل کرده و با تنظیم افزایشی آن‌ها به ویژه پرولین سبب افزایش میزان این اسید آمینه در شرایط تنش می‌شود (Wasternack and Kombrink, 2009; Geetika et al., 2017).

در این پژوهش، با کاهش پتانسیل آب در بستر کشت تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهچه کدو تخم کاغذی افزایش یافت که این امر موجب افزایش واکنش‌های پراکسیداتیو و تجمع مواد سمی مانند مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن گردید. از طرفی سیستم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهچه کدو تخم کاغذی در جهت خنثی کردن این اثرات سوء افزایش معنی‌داری نشان دادند. دلایل محکمی وجود دارد که تنش خشکی در گیاهان مختلف می‌تواند سبب تجمع انواع اکسیژن واکنش‌گر مانند آنیون سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل، اکسیژن منفرد و پراکسید هیدروژن گردد (Todorova et al., 2016). سالیسیلیک اسید به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، موجب ارتقاء توان آنتی‌اکسیدان‌های سلولی و سنتز پروتئین‌های جدید شده و از این طریق از دستگاه فتوسنتزی محافظت می‌کند (Pasala et al., 2016)، به‌طوریکه این ترکیب در مطالعات متعدد به عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی مورد تأکید قرار گرفته است (El-Tayeb, 2005; Le, Thanh et al., 2017). به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید با پاکسازی رادیکال‌های آزاد، از اکسیداسیون لیپیدها جلوگیری نموده و مانع از تجمع بیش‌تر

مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن می‌گردد (محمدی و سیاری، ۱۳۹۳). سالیسیلیک اسید به طور مستقیم یا غیر مستقیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را فعال می‌کند و می‌تواند به عنوان یک سوبسترای دهنده الکترون برای کاتالاز و پراکسیداز عمل نماید و در کاهش تنش به وجود آمده نقش مهمی ایفا کند (نظر بیگی و بلوچی، ۱۳۹۰). با توجه به نتایج مشاهده شده در این پژوهش مشخص گردید که تنش خشکی باعث آزاد شدن رادیکال‌های آزاد و به وجود آمدن تنش اکسیداتیو می‌گردد، که در نهایت منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز شد، که این آنزیم‌ها در کاهش تنش به وجود آمده و کاهش تجمع H_2O_2 و مالون دی‌آلدهید نقش مهمی ایفا نمودند. از سوی دیگر، عنوان شده است که جاسمونیک اسید با بالا نگه داشتن سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز و پراکسیداز مانع اثر رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش، بر غشاء گردیده است و از تجمع مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن ممانعت می‌کند (Wang, 1999). گزارش‌ها مختلفی مبنی بر اثر مثبت جاسمونیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش تجمع مالون دی‌آلدهید در گیاه آراییدوبسیس (Jung, 2004)، کلزا (Comparot et al., 2002) و بادام زمینی (Kumari et al., 2006) ارائه شده است. تغییرهای سوخت و سازی ایجاد شده با جاسمونیک اسید منجر به تغییر در سطح رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که این تغییرها زمینه‌ساز انگیزش سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی می‌شود. به نظر می‌رسد که، جاسمونیک اسید و گونه‌های فعال اکسیژن به ویژه پراکسید هیدروژن، در سیستم پیام‌رسانی سلولی دخالت داشته و باعث انگیزش دفاع آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش می‌گردد (Orozco-Cardenas et al., 2001).

نتیجه‌گیری کلی

به نظر می‌رسد که پیش‌تیمار بذر کدو تخم کاغذی با سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید تأثیر زیادی بر قابلیت تحمل به تنش خشکی در بوته‌های حاصل دارد، به‌طوری‌که در شرایط محدودیت آب ظهور و رشد اولیه این گیاهچه‌ها و

همچنین فعالیت سیستم‌های آنتی اکسیدانی در این گیاهچه‌ها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. این امر موجب افت شدید واکنش‌های پراکسیداتیو و تولید محصولات سمی نظیر مالون دی‌آلدئید و H_2O_2 در گیاهچه‌های کدو تخم کاغذی گردید. بطور کلی، تمامی سطوح سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در مقایسه با شاهد (عدم پیش‌تیمار بذر) اثرات مثبتی در جهت تحمل به تنش خشکی در مرحله ظهور و استقرار گیاهچه از خود نشان دادند، اما گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با ترکیب توأم سطح بالای سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید ($SA_2 JA_2$) بترتیب با ۸، ۷ و ۵ درصد افزایش در سرعت ظهور، طول و وزن خشک گیاهچه از تحمل به تنش بالاتری برخوردار بودند. لذا با توجه

به نتایج حاصل و بررسی‌های وسیع‌تر در این زمینه، می‌توان توصیه نمود که در مزارع کدو تخم کاغذی جهت یکنواختی ظهور و رشد اولیه گیاهچه و همچنین قابلیت تحمل به تنش خشکی در گیاهچه‌های حاصل، از پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در غلظت‌های بهینه (غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید همراه با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک اسید) استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی و مالی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ملایر اعلام می‌دارند.

منابع

- امید بیگی، ر. (۱۳۷۹) رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی. انتشارات آستان قدس رضوی.
- آقای، ا. ح. و احسان‌زاده، پ. (۱۳۹۰) اثر رژیم آبیاری بر عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه دارویی کدو تخم کاغذی. مجله علوم باغبانی ایران ۴۲: ۲۹۹-۲۹۱.
- بلوچی، ح. م. (۱۳۹۲) بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در کدوی تخم کاغذی تحت تنش شوری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۱۰: ۱۷۹-۱۶۵.
- خزائی، ح. م.، پارسا، ف. و پناهی، ح. (۱۳۷۸) اثرات تلقیح نژادهای بومی ریزوبیوم بر گره‌زایی ژنوتیپ‌های دسی و کابلی نخود تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی در مرحله رشد رویشی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۶: ۹۷-۸۹.
- زارعی، ب.، تقی‌پور، ز. و فاضلی، آ. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری. نشریه تحقیقات بذر ۶: ۶۷-۶۱.
- کافی، م.، برزوئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. جهاد دانشگاهی مشهد.
- کریم‌زاده و حسینیان، ی. س.، بذرگر، ا. ب.، صدرآباد حقیقی، ر. و بختیاری، س. (۱۳۹۲) مقایسه اثر پرایمینگ در بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر کدو تخم کاغذی تحت شرایط تنش خشکی. نشریه تحقیقات بذر ۳: ۶۰-۵۲.
- محمدی، م. و سیاری، م. (۱۳۹۳) اثر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی، محتوای پروتئین و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه کاهو در شرایط شوری خاک. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۱۳: ۱۲-۱.
- منوچهری‌فر، پ.، لاری‌یزدی، ح. و زاجی، ب. (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی دو رقم ذرت. فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست بوم ۳۴: ۲۰-۳.
- نظر بیگی، ا. و بلوچی، ن. (۱۳۹۰) بررسی اثرات برهم‌کنش سالیسیلیک اسید و کلرید سدیم بر روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در دو رقم کلزا. فصلنامه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۳: ۲۰۴-۱۹۶.

- Anda, A. and Pinter, L. (1994) Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content. *Agronomy Journal* 86: 621-624.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Balbaki, R. Z., Zurayk, R. A., Bleik, M. M. and Tahouk, S. N. (1999) Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology* 27: 291-302.
- Bandurska, H. and Stroinski, A. (2005) The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum* 27: 379-386.
- Bates, L. S. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
- Boydak M., Dirik, H., Tilki, F. and Calikoglu, M. (2003) Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture* 27: 91-97.
- Cavazza, L., Patruno, A. and Cirillo, E. (2007) Field capacity in soils with a yearly oscillating water table. *Biosystems Engineering* 98: 364-370.
- Comparot, S. M., Graham, C. M. and Reid, D. M. (2002) Methyl jasmonate elicits a differential antioxidant response in light and dark grown canola (*Brassica napus*) roots and shoots. *Journal Plant Growth Regulation* 38: 21-30.
- Ekor, M. (2014) The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology* 4: 1-10.
- Ellis, R. H. and Roberts, E. H. (1981) The quantification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Science Technology* 9: 373-409.
- El-Tayeb, M. A. (2005) Response of barley Gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
- Geetika, S., Ruqia, M., Poonam, S., Harpreet, K., and Mudaser, A. M. (2017) Jasmonate signaling and stress management in plants. *Mechanism of Plant Hormone Signaling under Stress* 143-171.
- Ghoulam, C. F., Ahmed, F. and Khalid, F. (2001) Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 47: 139-150.
- Govahi, M., Arvin, M. J. and Saffari, G. (2008) Response of seed sermination and seedling growth of sugar beet to low temperature by priming with PEG, acetyl salicylic acid and methyl jasmonate. *Agrochimica* 4: 12-21.
- Harris, D. (2003) Reducing risk and increasing yields from rain fed crops in Africa using on farm seed priming. In: *Harnessing Crop Technologies to Alleviate Hunger and Poverty in Africa*. Pp: 87-88. 6th Biennial Conference of the Africa Crop Science Society, Hilton Nairobi, Kenya.
- Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photo peroxidation in isolated chloroplasts, I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- Hung, S. H., Yu, C. W. and Lin, C. H. (2005) Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Botanical studies Bull. Academic journal* 46: 1-10.
- Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y. and Cheema, M. A. (2008) Improving drought tolerance by exogenous application of glycine betaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 136-145.
- ISTA. (2008) International rules for seed testing. Rules 2008. Supple.
- Jacob, H. and Clarke, G. (2002) Methods of soil analysis, part 4, physical method. Pp. 1692. Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA.
- Jung, S. (2004) Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. *Journal of Plant physiology and Biochemistry* 42: 231-255.
- Kalantar Ahmadi, S. A., Ebadi, A., Daneshian, J., Jahanbakhsh, S., Siadat, S. A. and Tavakoli, H. (2015) Effects of irrigation deficit and application of some growth regulators on defense mechanisms of canola. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43:124-130
- Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cıkili, Y. and Kolsarici, O. (2006) Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy* 24: 291-295.
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Saltli, K. (2002) Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticultrea* 93: 65-74.
- Khalid, K. A. (2006) Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International-Agrophysics* 20: 289- 296.
- Khan, A. J., Azam, F. and Ali, A. (2010) Relationship of morphological traits and grain yield in recombinant inbred wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan Journal of Botany* 42: 259-267.
- Ko, J. H., Yang, S. H. and Han, K. H. (2006) Upregulation of an Arabidopsis RING-H2 gene, XERICO, confers drought tolerance through increased abscisic acid biosynthesis. *The Plant Journal* 47: 343-355.

- Koo, A. J. (2017) Metabolism of the plant hormone jasmonate: a sentinel for tissue damage and master regulator of stress response. *Phytochemistry Reviews* 1-30.
- Korkmaz, A., Uzunlu, M. and Demirkiran, R. (2007) Acetyl salicylic acid alleviates chilling induced damage in muskmelon seedlings. *Canadian Journal of Plant Science* 80: 581-585.
- Kumari, G. J., Reddy, A. M., Naik, S. T., Kumar, S. G., Prasanthi, J., Sriranganayakulu, G., Reddy, P. C. and Sudhakar, C. (2006) Jasmonic acid induced changes in protein pattern, antioxidative enzyme activities and peroxidase isozymes in peanut seedlings. *Biologia Plantarum* 50: 219-226.
- Le, Thanh, T., Thumanu, K., Wongkaew, S., Boonkerd, N., Teaumroong, N., Phansak, P. and Buensanteai, N. (2017) Salicylic acid-induced accumulation of biochemical components associated with resistance against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in rice. *Journal of Plant Interactions* 12: 108-120.
- Li, Z., Yu, J., Peng, Y. and Huang, B. (2017) Metabolic pathways regulated by abscisic acid, salicylic acid and γ -aminobutyric acid in association with improved drought tolerance in creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). *Physiologia plantarum* 159: 42-58.
- MacAdam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology* 99:872-878.
- Mahmud, S., Sharmin, S., Chowdhury, B. L. D. and Hossain, M. A. (2017) Research article effect of salinity and alleviating role of methyl jasmonate in some rice varieties. *Asian Journal of Plant Science* 16:87-93.
- Maksymiec, W. (2011) Effects of jasmonate and some other signalling factors on bean and onion growth during the initial phase of cadmium action. *Biologia Plantarum* 55: 112-118.
- Meyer, S. E. and Pendleton, R. L. (2000) Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentate* (Rosaceae). *Annals of Botany* 85: 521-529.
- Misra, N. and Saxena, P. (2009) Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Science* 177: 181-189.
- Orozco-Cardenas, M. L., Narvaez-Vasquez, J. and Ryan, C. A. (2001) Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defence genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *The Plant Cell* 13:179-191.
- Pandey, R. and Agarwal, R. M. (1998) Water stress-induced change in proline contents and nitrate reductase activity in Rice under light and dark condition. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 4:53-57.
- Pasala, R. K., Khan, M. I. R., Minhas, P. S., Farooq, M. A., Sultana, R., Per, T. S., Deokate, P. P., Khan, N. A. and Rane, J. (2016) Can plant bio-regulators minimize crop productivity losses caused by drought, heat and salinity stress? An integrated review. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 22: 89.
- Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., and Stoinova, Z. h. (2003) Salicylic Acid and Methyl Jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. *Bulgarian journal of plant physiology* 133: 152.
- Rajabi, M. and Fetri, M. (2013) Effect of drought and salinity stress on germination and seedling growth of Coriander (*Coriandrum sativum*). *International Journal of Farming and Allied Sciences* 2: 510-513.
- Rajasekaran, L. R., Stiles, A., Surette, M. A., Sturz, A. V., Blake, T. J., Caldwell, C. and Nowak, J. (2002) Stand establishment technologies for processing carrots: Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 443-450.
- Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S. 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.
- Shakirova, F. M., Shakhbutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. *Plant science* 164: 317-322.
- Shakirova, F. M. and Sahabudinova D. R. (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant science* 164: 317-322.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. and Murphy, A. (2015) *Plant physiology and development*. Sinauer Associates, Incorporated.
- Todorova, D., Talaat, N. B., Katerova, Z., Alexieva, V. and Shawky, B. T. (2016) Polyamines and brassinosteroids in drought stress responses and tolerance in plants. *Water stress and crop plants: A sustainable approach* (ed. Ahmad, P.) Pp. 608-627.
- Wang, S. Y. (1999) Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. *Journal of Plant Growth Regulation* 18: 127-134.
- Wasternack, C. and Kombrink, E. (2009) Jasmonates: Structural requirements for lipid-derived signals active in plant stress responses and development. *ACS Chemical Biology* 5: 63-77.

Yoon, J. Y., Hamayun, M., Lee, S. K. and Lee, I. J. (2009) Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 12: 63-68.

Effect of seed priming with Salicylic Acid and Jasmonic Acid on emergence and early growth of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seedlings under drought stress condition

Majid Rostami¹ and Ahmad Javadi²

¹Department of Agronomy, Faculty of Faculty of Agriculture and Natural Resources, Malayer University, Iran

²Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: 04/09/2017, Accepted: 03/01/2018)

Abstract

In order to study the effect of seed priming with salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) on emergence and early growth of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seedlings under drought stress condition, a factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) with four replications was conducted in the greenhouse of Malayer University. Experimental treatments were seed priming with salicylic acid (0, 100 and 200 ppm) and jasmonic acid (0, 50 and 100 ppm) and three levels of drought stress (100, 60 and 30% of field capacity). Based on the results, drought stress significantly ($P \leq 0.05$) affected the percentage and rate of seedling emergence. In severe drought stress (30% of field capacity) percentage and rate of seedling emergence were decreased 10% and 54%, respectively. Furthermore, seedling length, seedling dry weight and seedling length vigor index decreased 11%, 9% and 25%, respectively, whereas at the same condition malondialdehyde and proline content increased 84% and 13%, respectively. Severe drought stress also increased the activity of catalase and peroxidase enzymes in pumpkin seedlings up to 39 and 57 percent, respectively. Seed priming with salicylic acid and jasmonic acid significantly ($P \leq 0.05$) decreased the negative effect of drought stress on all of the studied traits except seedling emergence percentage. Simultaneous priming with highest level of salicylic acid and jasmonic acid resulted in highest drought tolerance in pumpkin seedlings.

Key words: Antioxidant enzymes, Germination rate, Plant hormones, Seed priming

Corresponding author, Email: M.rostami@malayeru.ac.ir