نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۲(۵۴)، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۱۹۲-۱۷۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2020.676137

تأثیرمحلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کمبود آب بر عملکرد و اجزای عملکرد کدوی تخم کاغذی

وحیده بیاره[۱]، فرید شکاری[۲*]، سعید سیف‌زاده[۳]، حمیدرضا ذاکرین[۳] و اسماعیل حدیدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۹ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

چکیده

کدوی تخم کاغذی از جمله گیاهان دارویی با ارزش می‌باشد که دانه آن دارای مقادیر بالایی از روغن است. به منظور بررسی واکنش کدو تخم کاغذی به تنش کمبود آب و کاربرد سالیسیلیک اسید، آزمایشی مزرعه‌ای طی دو سال متوالی (بهار و تابستان سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. بوته‌های در مرحله ۵ تا ۶ برگی با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی شدند و ۱۵ روز پس از محلول‌پاشی، تحت تنش‌های رطوبتی ۰/۳-، ۱/۲- و ۱/۸- مگا پاسکال خاک قرار گرفتند. افزایش شدت تنش باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید، طول بوته، تعداد گره، تعداد ساقه فرعی، عملکرد میوه، قطر میوه، قطر میانبر میوه شد. در مقابل، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید موجب افزایش و بهبود معنی‌دار محتوای نسبی رطوبت برگ، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید، طول بوته، تعداد گره، تعداد ساقه فرعی، عملکرد میوه، قطر میوه، عملکرد دانه، تعداد دانه در میوه و وزن هزار دانه گردید. اثرات بهبوددهندگی سالیسیلیک اسید به ویژه در غلظت ۱/۵ میلی مولار چشم‌گیرتر بود. صفاتی نظیر محتوای رطوبت نسبی برگ، طول بوته، کلروفیل a، b و کل، تعداد گره در بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و قطر میان‌بر میوه در تیمار ۱/۲- مگا پاسکال کاهش معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد نشان ندادند و یا حتی افزایش نیز داشتند. همچنین، تعداد دانه در میوه در تیمار ۱/۲- نسبت به ۰/۳- مگا پاسکال افزایش معنی‌داری را نشان داد. به نظر می‌رسد کاهش آب در دسترس، الگوی تسهیم اسمیلات‌ها را در میوه تغییر داده و به طور عمده، به صرف کاهش اندازه مزوکارپ یا دیگر قسمت‌های میوه، به سمت بخش دانه جریان داده است. از بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در میوه و پس از آن، تعداد میوه در واحد سطح بیشترین اثر را بر افزایش میزان تولید در واحد سطح داشتند. در مقابل، وزن دانه تغییرات چندانی را در تیمارهای مختلف آبی یا محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید نداشت. بر اساس داده‌های حاصل، گیاه کدو تا تنش ۱/۲- مگا پاسکال کاهش زیادی را در عملکرد دانه نشان نداد.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، زیست توده، عملکرد دانه، عملکرد روغن، محتوای نسبی آب برگ.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) shekari@znu.ac.ir

۳- استادیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.

مقدمه

کدوی تخم کاغذی با نام علمی *Cucurbita pepo* از مهم‌ترین گیاهانی است که در درمان برخی از بیماری‌ها مانند سرطان خوش‌خیم پروستات استفاده می‌شود (Hamissou *et al*., 2013). دانه‌های این گیاه دارای ۴۲ تا ۵۴ درصد روغن بوده که دارای اسیدهای چرب (پالمتیک اسید، استئاریک اسید، اولئیک اسید و لینولئیک اسید)، ویتامین A، ویتامین E، کاروتنوئیدها و پروتوکلروفیل می‌باشد (Bernáth, 1999; Siyami *et al*., 2003). با توجه به این‌که گیاهان تیره کدوئیان دارای ساقه‌های رونده طویل و برگ‌های بزرگ هستند، در این گیاهان سرعت کاهش آب از مسیر تعرق بسیار سریع رخ می‌دهد (Bernáth, 1999; Wien, 2006). در نتیجه در صورت عدم آبیاری تکمیلی به‌ویژه در مناطق آفتابی با خاک سبک نشانه‌های تنش خشکی در این گیاهان به سرعت گسترش پیدا می‌کند (Bernáth, 1999).

آب، اصلی‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان به شمار می‌رود (Abedi and Pakniyat, 2010) و بیشترین تأثیر آن نیز بر رشد سلولی است. چرا که توسعه سلول فرآیندی وابسته به پتانسیل فشاری بوده و به شدت حساس به کمبود آب است (Hay and Porter, 2006). فاروق و همکاران (Farooq *et al*., 2009) گزارش کردند که تأثیر تنش خشکی بر گسترش سلول بیش از تقسیم سلولی است؛ و این مورد هم در برگ‌ها و هم در ساقه‌ها قابل مشاهده است. هر گونه کاهش رطوبت خاک در زمان رشد رویشی به‌طور مستقیم بر ارتفاع گیاه مؤثر خواهد بود که خود به‌دلیل کاهش تعداد گره و کاهش فاصله میان‌گره‌ها می‌باشد. از سوی دیگر، کمبود آب موجب خسارت و صدمه به کلروپلاست‌ها شده و محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. کاهش آب در دسترس می‌تواند عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای برای فتوسنتز و در نتیجه رشد به حساب آید (Siddique *et al*., 2016).

عملکرد دانه، نتیجه نهایی کلیه عوامل مؤثر بر رشد و تولید گیاه می‌باشد. میزان کاهش عملکرد در گیاهان می‌تواند تابعی از فنولوژی گیاه، فصل و شرایط اقلیمی مکان رشد، شدت و طول دوره اعمال تنش باشد. در صورت تغییر یکی از اجزای عملکرد، سهم دیگر اجزا نیز تغییر پیدا خواهد کرد. با این همه از میان اجزای عملکرد، وزن دانه پایداری بیشتری در مقایسه با دیگر اجزاء عملکرد نشان می‌دهد (Fageria *et al*., 2006). ربی انگورانی و همکاران (Rabbi Angourani *et al*., 2017) گزارش کردند اعمال تنش خشکی در کدوی تخم کاغذی موجب کاهش عملکرد دانه، وزن صد دانه، سطح برگ و میزان روغن گردید. روند کاهش عملکرد دانه در سطوح بالاتر تنش آبی تسریع گردید و موجب کاهش قابل توجه عملکرد دانه در بالاترین سطح تنش آبی شد. در مقابل، با اعمال تنش میزان متابولیت‌های ثانویه در دانه‌های کدو افزایش پیدا کردند. هاریس-وال و همکاران (Hariss-Valle *et al*., 2018) گزارش کردند اعمال تنش شوری یا خشکی موجب گردید تا وزن خشک بخش هوایی، ریشه‌چه، پتانسیل اسمزی گیاهچه‌های کدو کاهش پیدا کند. زینالی و همکاران (Zeinali *et al*., 2019) در بررسی واکنش چهار رقم کدوی تخم کاغذی نسبت به کاهش آب خاک از حد ظرفیت زراعی تا ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و همچنین اعمال تیمار عدم آبیاری تکمیلی یا دیم کامل، اعلام کردند کاهش محتوای آب خاک موجب کاهش غلظت کلروفیل

و کارتنوئیدهای برگ گردید. همچنین، تعداد و وزن میوه، تعداد دانه در میوه و عملکرد دانه در واحد سطح با کاهش میزان آب در دسترس کاهش پیدا کرد. روند کاهش عملکرد دانه در تیمارهای پایین‌تر آب خاک، افت سریع‌تری و شدیدتری را در مقایسه با تیمارهای قبلی نشان داد. در مقابل، درصد پروتئین دانه با کاهش آب در دسترس افزایش داشت. وزن هزار دانه تنها در دو تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و دیم کامل نسبت به تیمار شاهد، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش معنی‌داری را نشان داد.

سالیسیلیک اسید، یک ترکیب فنلی است که در ریشه گیاهان به میزان کم تولید می‌شود (Raskin, 1992) و نقش محوری در تنظیم تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، سنتز کلروفیل و پروتئین، ممانعت از بیوسنتز اتیلن و جذب و انتقال عناصر دارد (Klessing and Malami, 1994). این هورمون به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Senaratna *et al*., 2000). استفاده از سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی موجب برخی تغییرات درفرایندهای فیزیولوژیکی می‌گردد که می‌تواند مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را تحت تاثیر خود قرار دهد. افزایش میزان مقاومت مشاهده شده در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید با افزایش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و کاهش غلظت کربن دی‌اکسید فضای زیر روزنه‌ای همراه بود (Shekari *et al*., 2010).

افزایش شدت پدیده خشکسالی و کاهش منابع آب زیرزمینی کشور، باعث شده تا توجه بیشتری به استفاده کارآمدتر از منابع آبی مبذول شود. عدم وجود اطلاعات در خصوص واکنش این گیاه غیربومی و جدید در برابر تنش آب از یک سو، و از سوی دیگر امکان افزایش دوره‌های آبیاری در اکثر گیاهان تیره کوکوربیتاسه به‌دلیل وجود ریشه عمیق، موجب گردید تا آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف هورمون سالیسیلیک اسید بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد دانه و روغن گیاه کدوی تخم کاغذی تحت تنش‌های مختلف کمبود آب انجام گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان (ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا، ′۴۱ °۳۶ شمالی و ′۲۷ °۴۸ شرقی) طی دو سال زراعی در بهار و تابستان سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ بر روی گیاه کدو کاغذی، رقم کاکایی انجام گردید. داده‌های هواشناسی دو ساله در جدول ۱ ارایه شده است. بذرها در کرت‌هایی با طول ۶ و عرض ۴ متر با فاصله روی ردیف ۰/۵ متر و بین ردیف دو متری در دهم خرداد ماه سال ۱۳۹۴ و یازدهم خرداد ماه ۱۳۹۵ کشت شدند و در دوازده خرداد ماه آبیاری کرت‌ها انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تنش کمبود آب (I) به‌عنوان عامل اصلی در ۳ سطح شامل آبیاری در شرایط مکش رطوبتی ۰/۳-، ۱/۲- و ۱/۸- مگا پاسکال به‌عنوان عامل اصلی و عامل سالیسیلیک اسید (SA) با چهار غلظت صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار به‌صورت محلول‌پاشی برگی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در مرحله شش برگی (هفته سوم تیر ماه) و در اوایل صبح روی گیاهان انجام شد. عمل محلول‌پاشی تا خیس شدن کامل

برگ‌ها و ساقه‌های جوان صورت گرفت. تیمار تنش کمبود آب نیز دو هفته پس از محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید انجام و تا زمان ظهور میوه به اندازه حدود پنج تا هفت سانتی‌متر؛ که برای هر کرت به‌صورت مستقل ارزیابی می‌شد (بسته به تیمار آبی یا محلول‌پاشی از هفته آخر مرداد تا هفته اول شهریور ماه)؛ ادامه داشت. فواصل بین آبیاری با استفاده از دستگاه TDR[1] و ترسیم منحنی رطوبتی خاک با روش توصیف شده توسط نوبوریو و همکاران (Noborio *et al*., 1999) تعیین شد.

در مرحله تشکیل میوه، طول ۸ بوته در هر کرت از سطح زمین تا نوک ساقه اصلی اندازه‌گیری و برحسب سانتی‌متر ثبت شد. تعداد گره و ساقه فرعی نیز با شمارش گره‌ها و ساقه‌های فرعی منشعب شده از ساقه اصلی در گیاه اندازه‌گیری شدند. قطر میوه و قطر میان‌بر میوه با استفاده از حداقل ۵ میوه از هر کرت و میانگین‌گیری آنها ثبت و سپس، میوه‌ها به‌صورت عرضی از بزرگ‌ترین بخش میوه برش داده شدند و با استفاده از کولیس برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. عملکرد میوه با جمع‌آوری تمامی میوه‌های موجود در هر کرت و توزین آنها با استفاده از ترازویی با دقت ۵± گرم، اندازه‌گیری شد. در نهایت رابطه ۱ برای محاسبه عملکرد میوه برحسب کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت:

رابطه ۱: $$\text{عملکرد میوه (تن در هکتار)} = \frac{\text{وزن میوه (کیلوگرم در مترمربع)}}{1000} \times 10000$$

برای اندازه‌گیری تعداد و وزن خشک دانه‌های هر میوه، دانه‌های هر میوه به‌صورت جداگانه شمارش شده و سپس وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دقیق (۰/۰۱ گرم) توزین شد. درصد روغن دانه‌ها با استفاده از روش سوکسله و با استفاده از هگزان اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد روغن دانه‌ها نیز از رابطه ۲ استفاده شد (Safari, 2014):

رابطه ۲: $$\text{عملکرد روغن دانه (کیلوگرم در هکتار)} = \frac{\text{عملکرد دانه} \times \text{درصد روغن دانه}}{100}$$

۵ برگ ما قبل آخر ساقه در هر کرت برای اندازه‌گیری محتوای نسبی رطوبت برگ در مرحله تشکیل میوه مورد استفاده قرار گرفتند. رابطه ۳ برای محاسبه محتوای نسبی رطوبت برگ استفاده شد (Sánchez-martín *et al*., 2014).

رابطه ۳:

RWC= [(وزن خشک–وزن)/(وزن خشک–وزن‌تر)] ×۱۰۰×[(اشباع

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید توسط روش آرنون (Arnon, 1967) و استفاده از رابطه‌های ۴ تا ۶ و بر حسب میلی‌گرم در گرم بافت تر اندازه‌گیری شد.

رابطه ۴: Chlorophyll a = (19.3× A663 - 0.86 × A645) V/100W

رابطه ۵: Chlorophyll b = (19.3 × A645 - 3.6 × A663) V/100W

رابطه ۶: Carotenoids = 100(A470) - 3.27(mg chl. a) - 104(mg chl. b)/227

در این رابطه‌ها A663، A645 و A470 به ترتیب نشان‌دهنده میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و V و W به‌ترتیب حجم محلول نهایی و وزن نمونه برگی می‌باشند.

تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد. رسم شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گردید.

۱-Time Domain Reflectometer.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو ساله نشان داد که برهم‌کنش تنش کمبود آب در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای رطوبت نسبی برگ و غلظت کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، اثرات ساده تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر غلظت کلروفیل a، کلروفیل کل، تعداد گره، طول بوته (جدول ۲)، عملکرد میوه، قطر میوه، قطر میان‌بر میوه، عملکرد دانه، تعداد دانه در میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

محتوای نسبی آب برگ

مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر محتوای رطوبت نسبی برگ نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار محتوای رطوبت نسبی برگ به‌ترتیب در تیمارهای ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در تنش کمبود آب ۱/۲- مگا پاسکال و تیمار صفر سالیسیلیک اسید در تنش ۱/۸- مگا پاسکال به دست آمد (شکل ۱). در تمامی تیمارهای رطوبتی، محلول‌پاشی گیاهان با سالیسیلیک اسید سبب بهبود شرایط آبی گیاه و افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ گردید. در بیشترین سطح تنش کمبود آب گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید در مقایسه با گیاهان تیمار نشده کارکرد بهتری را نشان دادند. به‌عبارت دیگر، اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر بهبود وضعیت آبی گیاهان در تنش‌های شدیدتر نمایان‌تر بود. بهبود وضعیت آبی گیاهان می‌تواند به دلیل جذب آب بهتر گیاهان با تیمار سالیسیلیک اسید یا کنترل بیشتر در دفع آب باشد. عبدالهی و همکاران (Abdolahi *et al.*, 2018) گزارش کردند گیاهان تیمار شده گندم با سالیسیلیک اسید طول و وزن ریشه بیشتری در مقایسه با گیاهان تیمار نشده داشتند. همچنین، گیاهان تیمار شده دارای محتوای قند و پرولین بالاتری بودند که نشان می‌دهد این گیاهان ضمن سرمایه‌گذاری بیشتر در اندام ریشه، تنظیم اسمزی بالاتری را نیز اعمال کرده بودند که موجب افزایش میزان محتوای نسبی آب گیاهان گردید. گزارش‌های دیگری نیز وجود دارد که بیان داشتند کاربرد برگی سالیسیلیک اسید سبب بهبود فتوسنتز در خردل تحت تیمار تنش خشکی گردید. افزایش میزان فتوسنتز با افزایش میزان تجمع پرولین و کاهش سنتز اتیلن همراه بود. همچنین، با کاربرد سالیسیلیک اسید سرعت اسمیلاسیون نیتروژن و گوگرد افزایش یافت (Nazar *et al.*, 2015).

محتوای کلروفیل

با افزایش شدت تنش کمبود آب محتوای کلروفیل a نیز به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a به‌ترتیب در تیمارهای ۰/۳- و ۱/۸- مگا پاسکال مشاهده شد (شکل ۲ الف). از سوی دیگر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید اثر مثبتی بر محتوای کلروفیل a داشت و با افزایش غلظت این هورمون تا ۱ میلی‌مولار مقدارکلروفیل a نیز روندی افزایشی نشان داد. فراتر از این مقدار، اختلاف معنی‌داری را با تیمار ۱ میلی‌مولار بر غلظت کلروفیل a نشان نداد (شکل ۲ ب).

بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار ۱/۲- مگا پاسکال و غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین مقدار آن در تیمار ۱/۸- مگا پاسکال و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. به‌طورکلی، در تیمار تنش ۱/۲- مگا پاسکال بیشترین غلظت کلروفیل b در مقایسه با دو تیمار رطوبتی خاک مشاهده شد (شکل ۲ج).

در تیمار رطوبتی شاهد (۰/۳- مگا پاسکال) روند افزایشی با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا بالاترین غلظت هورمون مشاهده شد. در تیمار ۱/۸- مگا پاسکال، افزایش در غلظت سالیسیلیک اسید تا یک میلی‌مولار موجب افزایش غلظت کلروفیل b گردید ولی پس از این غلظت تغییری در میزان غلظت کلروفیل b مشاهده نشد. افزایش شدت تنش کمبود آب سبب کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل شد. بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل کل به‌ترتیب در تیمارهای ۰/۳- و ۱/۸- مگا پاسکال مشاهده شد (شکل ۲د). همچنین، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی شده تا ۱ میلی‌مولار باعث افزایش غلظت کلروفیل کل گردید. افزایش بیشتر از یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری در غلظت کلروفیل کل ایجاد نکرد (شکل ۲ه). اظهار شده است که سالیسیلیک اسید از مهم‌ترین تنظیم‌کنندگان سیستم فتوسنتزی است. زیرا، بر روی ساختار برگ و کلروپلاست و همچنین بر روی مقدار کلروفیل و کاروتنوئید تأثیرگذار می‌باشد (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد استفاده از سالیسیلیک اسید موجب افزایش میزان کلروفیل برگ در گیاهانی نظیر گندم (Abdolahi *et al*., 2018) و گلرنگ (Mohammadi *et al*., 2017) گردید. از سویی نیز افزایش در میزان کلروفیل می‌تواند تحت تأثیر میزان غلظت سالیسیلیک اسید به کار رفته قرار گیرد. پاک‌مهر و همکاران (PakMehr *et al*. 2014) گزارش کردند در لوبیا چشم بلبلی پرایم کردن بذرها تا غلظت ۲۷۰۰ میکرو مولار موجب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید. ولی، فراتر از این مقدار و به ویژه در گیاهان تحت تنش خشکی موجب کاهش در مقدار کلروفیل برگ گردید. ریواس-سان ویسنته و پلاسنکیا (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011) پیشنهاد دادند که سالیسیلیک اسید از طرق تأثیر بر غلظت اکسین سبب تغییر در غلظت کلروفیل می‌شود. به‌صورتی که غلظت‌های پایین آن سبب افزایش و غلظت‌های بالای آن سبب کاهش مقدار کلروفیل گردید.

کاروتنوئید

برهم‌کنش تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر غلظت کارتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین مقدار کاروتنوئید در تیمار رطوبتی ۰/۳- مگا پاسکال و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۳). با کاهش محتوای آب خاک میزان کاروتنوئیدها افزایش پیدا کرد. همچنین، یک اثر افزایشی با کاربرد سالیسیلیک اسید بر روی محتوای کاروتنوئیدها دیده شد که بیان‌گر اثر تحریک‌کنندگی سالیسیلیک اسید روی بیوسنتز این ترکیبات بود. با توجه به پیوندهای متعدد دوگانه در ساختمان کاروتنوئیدها، اظهار شده است کاروتنوئیدها نقش محافظتی در ساختار فتوسیستم‌ها در برابر اکسیداسیون نوری کلروفیل‌ها را دارند (Taiz and Zeiger, 2010). افزایش غلظت این ترکیبات تحت شرایط تنش بیان‌گر فعال شدن سیستم محافظتی در کلروپلاست‌ها برای حفظ دستگاه فتوسنتزی است. اثرات بهبوددهندگی سالیسیلیک اسید برای پایداری غشا تحت تنش‌های محیطی می‌تواند مربوط به افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Pawlowski *et al*., 2016)، تجمع محلول‌های فنلی و کاروتنوئیدهاکه بافت‌های گیاهی را از صدمه اکسیداتیو حفاظت می‌کنند (Khan *et al*., 2015) باشد. موهارکار و همکاران (Moharekar *et al*, 2003) نشان دادند که کاربرد سالیسیلیک

اسید سبب افزایش سنتز کارتنوئیدها و زانتوفیل‌ها و سرعت د-آپوکسیداسیون گردید که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی داشت.

تعداد گره، طول بوته و تعداد ساقه فرعی

تیمار ۱/۸- مگا پاسکال سبب کاهش معنی‌دار تعداد گره و طول بوته شد؛ اما بین تیمارهای ۰/۳- و ۱/۲- مگا پاسکال اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۴ الف وج). افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا ۱ میلی‌مولار باعث افزایش تعداد گره شد و افزایش بیشتر غلظت سالیسیلیک اسیدتأثیر معنی‌داری بر تعداد گره و طول بوته نداشت (شکل ۴ ب و د). اثر سطوح تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید در سطح ۱ درصد بر تعداد ساقه فرعی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تنش بر تعداد ساقه فرعی نشان داد که تیمارهای ۰/۳- و ۱/۲- مگا پاسکال به‌ترتیب با میانگین‌های ۳/۵۸ و ۳/۳۷ بیشترین تعداد ساقه فرعی را داشتند و کمترین تعداد ساقه فرعی به تیمار تنش شدید (تیمار ۱/۸- مگا پاسکال) تعلق داشت (شکل ۵ الف). در همین راستا، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به‌کار رفته منجر به افزایش تعداد ساقه فرعی گردید (شکل ۵ ب).

در گیاهان تیره کدوئیان گل‌ها بر روی ساقه‌های فرعی، که از گره‌ها منشأ می‌گیرند، ظاهر می‌شوند (Wien, 2006). به‌همین دلیل حفظ تعداد گره و عدم کاهش آن می‌تواند از دیدگاه میزان عملکرد در بوته و فیزیولوژی تولید با اهمیت باشد. ثابت ماندن تعداد گره تا تیمار ۱/۲- مگا پاسکال نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش خشکی در این گیاه می‌باشد. افزایش تعداد گره با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید نیز می‌تواند بیان‌گر اثر این هورمون بر روی کارکردهای گیاهی و همچنین، اثر رونق‌بخشی آن بر روی دیگر هورمون‌ها باشد.

عملکرد میوه و اجزای آن

عملکرد میوه و قطر میوه تنها در تنش کمبود آب ۱/۸- مگا پاسکال کاهش معنی‌داری را نسبت به سایر سطوح تیمارهای رطوبتی نشان دادند (شکل ۶ الف و ج). اما قطر میان‌بر میوه همگام با افزایش شدت تنش از ۰/۳- تا ۱/۸- مگا پاسکال به‌صورت پیوسته و معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۶ه). بیشترین عملکرد میوه در تیمارهای ۰/۳- و ۱/۲- مگا پاسکال به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۲۸۹۵ و ۲۲۴۸۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۶ الف). همچنین، کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش عملکرد میوه، قطر میوه و قطر میانبر میوه در این گیاه گردید. به‌صورتی که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا ۱/۵ میلی مولار عملکرد میوه، قطر میوه و قطر میان‌بر میوه افزایش یافت. هر چند از نظر آماری بین تیمار ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۶ ب، د و ز).

عملکرد دانه و اجزای عملکرد آن

بیشترین عملکرد دانه و تعداد دانه در میوه متعلق به تیمار تنش ۱/۲- مگا پاسکال بوده و کمترین مقدار در این صفات نیز در تیمار ۱/۸- مگا پاسکال به دست آمد (شکل ۷ الف و ج). وزن هزار دانه با افزایش شدت تنش تا ۱/۲- مگا پاسکال تغییر معنی‌داری پیدا نکرد. اما افزایش بیشتر شدت تنش سبب کاهش معنی‌دار این صفت شد (شکل ۷ه). مطالعات رابینسون (Robinson, 1993) در کدو طبی و مارسلیز و بان هوفمن-ایجر (Marcelis and Baan Hofman-Eijer, 1997) در فلفل نشان دادند که رشد بیش از اندازه میوه، از تشکیل دانه جلوگیری کرده و

حتی تعداد دانه را کاهش داد. وجود این رابطه در دیگر گیاهان تیره کدو نیز تایید شده است (Wien, 2006). جهان و همکاران (Jahan *et al*., 2010) نیز گزارش کردند که کدوی تخم کاغذی گیاهی مقصد محدود[1] بوده و افزایش اندازه میوه دلیلی بر تولید دانه بیشتر نیست. با توجه به گزارش‌های ذکر شده، پایین‌تر بودن عملکرد دانه در تیمار ۰/۳- مگا پاسکال نسبت به تیمار ۱/۲- مگا پاسکال به احتمال فراوان به دلیل افزایش وزن میوه در پی افزایش قطر میان‌بر میوه بوده است. درواقع آبیاری بیشتر تنها باعث انتقال بیشتر ماده خشک و آسیمیلات‌ها به سمت قسمت میانبر میوه گردید. به نظر می‌رسد با بهبود وضعیت آبی در بوته و افزایش سرعت فتوسنتز، در میوه‌های درحال رشد، میان‌بر به‌عنوان یک مقصد فیزیولوژیک قوی‌تر برای مواد فتوسنتزی باشد. ازسویی نیز با توجه به این‌که بین دو تیمار شاهد و تنش ۱/۲- مگا پاسکال اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه دیده نمی‌شود؛ درحالی‌که بین این دو تیمار آبی از نظر تعداد دانه در میوه اختلاف معنی‌داری دیده شد. به نظر می‌رسد که تعداد دانه در مقایسه با وزن هزار دانه، نقش پر رنگ‌تری را در افزایش عملکرد دانه‌ای این گیاه بازی می‌کند. اظهار شده است در بسیاری از گیاهان زراعی وزن دانه ثبات بیشتری را در مقایسه با تعداد دانه نشان می‌دهد (Fageria *et al*., 2006). به نظر می‌رسد، برای افزایش میزان عملکرد دانه در کدو کاغذی، تمرکز بر روی افزایش تعداد میوه در واحد سطح، به همراه افزایش بیشتر دانه در میوه اجزای مهم‌تری در افزایش عملکرد دانه در این گیاه باشند تا تولید میوه‌هایی با اندازه درشت‌تر همراه با دانه‌های سنگین‌تر.

محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (شکل ۷الف). به طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۷ب). تعداد دانه در میوه و وزن هزار دانه نیز واکنش مثبتی را به تیمار با سالیسیلیک اسید نشان دادند (جدول ۴ و ۶). بیشترین مقدار این صفات در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد که نسبت به تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۷د و ز). افزایش عملکرد دانه مشاهده شده با تیمار سالیسیلیک اسید می‌تواند به دلیل اثر مثبت این هورمون روی تعداد دانه (شکل ۷ج) و وزن دانه (شکل ۷ز) باشد. وجود این اثرات هم‌افزا بر روی تعداد دانه در میوه و وزن هزار دانه، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید گردید (شکل ۷الف)، زیرا این دو جزء مؤثر بر عملکرد در تیمارهای ۱/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نداشتند.

درصد و عملکرد روغن دانه

با توجه به معنی‌دار بودن اثر تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید در سطح ۱ درصد بر درصد روغن دانه (جدول ۴) و علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار میان تیمارهای ۰/۳- و ۱/۲- مگا پاسکال، تیمار ۱/۸- مگا پاسکال کاهش معنی‌داری نسبت به دو تیمار ذکر شده نشان داد (شکل ۸الف). همراه با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، درصد روغن دانه نیز به‌صورت پیوسته افزایش یافت و در دو تیمار ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۸ب). اثر تنش کمبود آب، سالیسیلیک

۱-Sink limited

اسید و اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید در سطح ۵ درصد بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). در تمامی تیمارهای تنش کمبود آب با افزایش غلظت هورمون به کار رفته، عملکرد روغن نیز افزایش پیدا کرد. همچنین، بیشترین مقدار عملکرد روغن در تیمار محلول‌پاشی با محلول ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار ۱/۲- مگا پاسکال به‌دست آمد (شکل ۹). بالاتر بودن میزان روغن تولید شده در واحد سطح در تنش ۱/۲ - مگا پاسکال بیشتر می‌تواند به این دلیل باشد که در تیمار شاهد یا عدم تنش، بخش عمده وزن میوه‌های تولید شده مربوط به قسمت میان‌بر میوه بود و در این تیمار آبی میزان دانه کمتری تولید شد. به‌همین علت میزان روغن تولید شده در گیاهان این رژیم آبی پایین‌تر از تیمار ۱/۲- مگا پاسکال بود. در حالی‌که در تیمار ۱/۲- مگا پاسکال با کاهش میان‌بر میوه دانه بیشتری تولید شد؛ ولی درصد روغن موجود در دانه اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد آبی نداشت. در تیمار تنش ۱/۸- مگا پاسکال کاهش معنی‌دار و قابل توجه روغن تولید شده در واحد سطح هم به دلیل کاهش میزان دانه تولید شده در میوه و هم به دلیل کاهش درصد روغن دانه بود. در کلیه سطوح تیمارهای آبی، یک روند افزایشی با کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. این روند می‌تواند به دلیل اثر افزایشی این هورمون روی تعداد دانه تولید شده در میوه و افزایش درصد روغن باشد.

ربی‌انگورانی و همکاران (Rabbi Angourani *et al*., 2017) گزارش کردند اعمال تنش ملایم آبی در کدوی تخم کاغذی باعث افزایش درصد روغن گردید. ولی، افزایش شدت تنش اعمال شده باعث کاهش درصد روغن شد. در مقابل، میزان بتاسیتواسترول با اعمال تنش خشکی افزایش پیدا کرده بود. همانند پژوهش حاضر، در آزمایش ربی انگورانی و همکاران (Rabbi Angourani *et al*., 2017) محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید موجب افزایش مقاومت به خشکی و افزایش عملکرد دانه و روغن گردید. گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک الیسیتور عمل می‌نماید و سبب افزایش مقدار ماده موثره در گیاهان مورد مطالعه گردیده بود (Ramirez-Estrada *et al*., 2016; Sarrou *et al*., 2015). پیشنهاد شده که سالیسیلیک اسید از مسیر انباشت H_2O_2 این فرایند را واسطه‌گری می‌کند (War *et al*., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

داده‌های پژوهش حاضر نشان داد گیاه کدو کاغذی تا تنش کمبود آب ۱/۲- مگا پاسکال در بسیاری از صفات و به‌ویژه صفات زراعی کاهش معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد نشان نداد. این مطلب آشکار می‌سازد کدوی تخم کاغذی می‌تواند به عنوان گیاهی با تحمل مناسب به خشکی در نظر گرفته شود که با توجه به کمبود آب، دورهای آبیاری در این گیاه می‌تواند افزایش پیدا کند. همچنین،گیاه واکنش مناسبی را در جهت بهبود تحمل به خشکی با کاربرد هورمون سالیسیلیک اسید نشان داد. محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب افزایش کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، طول بوته، تعداد ساقه فرعی، عملکرد میوه، قطر میوه، قطر میانبر میوه، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه و محلول‌پاشی با غلظت یک ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب افزایش RWC، کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، تعداد گره، طول بوته، تعداد ساقه فرعی، عملکرد میوه، قطر میوه، عملکرد دانه، تعداد دانه در میوه، وزن هزار دانه،

درصد روغن دانه و عملکرد روغن دانه گردیدند. بیشترین مقدار عملکرد میوه از تیمارهای ۰/۳- و ۱/۲- مگا پاسکال و محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولارسالیسیلیک اسید به‌دست آمد. ولی، بیشترین مقدار عملکرد دانه (افزایش ۱۶۳ درصد نسبت به تیمار ۱/۸- مگا پاسکال و ۱۱۱/۹ درصدی نسبت به تیمار صفر میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) و عملکرد روغن (افزایش ۲۱۸ درصدی نسبت به تیمار صفر میلی‌مولار سالیسیلیک اسید وتیمار ۱/۸- مگا پاسکال) در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار ۱/۲- مگا پاسکال حاصل شد. بر اساس یافته‌های آزمایش حاضر اعمال تنش خشکی کنترل شده در این گیاه باعث افزایش میزان دانه و روغن تولید شده به هزینه کاهش قطر و وزن بخش میان‌بر میوه گردید.

جدول ۱- میانگین بارش و دما در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ ایستگاه هواشناسی زنجان

Table 1- Mean of rain and temperature of Zanjan weather station at years of 2013 and 2014

	میانگین بارش (mm) Mean of perception (mm)		**میانگین دما** (ºC) Mean of temperature (ºC)	
	(2013) **۱۳۹۴**	(2014) **۱۳۹۵**	(2013) **۱۳۹۴**	(2014) **۱۳۹۵**
April	2.6	2	10.7	9.5
May	0.2	0.9	16.65	16.5
June	0.01	0.5	22.3	19.8
July	0.03	0.05	26.55	24.6
August	0	0	25.9	26.85
September	0.09	0	21.45	22.55

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه کدو تخم کاغذی تحت تنش‌های مختلف کمبود آب

Table 2- Analysis of variance of studied traits of pumpkin under different water deficit stress

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		تعداد ساقه فرعی Number of branches	طول بوته Plant length	تعداد گره Number of nods	محتوای کلروفیل کل Total Chlorophyll	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a
سال Year	1	0.109^{ns}	193.389^{ns}	13.347^{ns}	0.026^{ns}	0.006^{ns}
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	0.050	80.264	10.347	41.630	9.664
تنش کمبود آب water deficit stress	2	6.040**	15774.847**	460.722**	1022.83**	1283.252**
خطا (Error)	10	0.232	657.4974	13.4722	41.01362	33.216
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	1.031**	1026.185**	35.755**	133.865**	167.740**
خطا (Error)	51	0.056	13.636	0.617	11258	9.727
ضریب تغییرات C.V.(٪)	-	7.434	10.871	9.649	5.881	6.744

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, and **= not significant, significant at P level of 0.05and 0.01, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه کدو تخم کاغذی تحت تنش‌های مختلف کمبود آب

Table 3 - Analysis of variance of studied traits of pumpkin under different water deficit stress

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		
		کاروتنوئید Carotenoids	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b	محتوای رطوبت نسبی برگ RWC
سال Year	1	0.008^{ns}	0.006^{ns}	37.556^{ns}
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	0.043	11.310	37.722
تنش کمبود آب water deficit stress	2	15.427**	57.941**	1617.681**
خطا (Error)	10	0.03442	1.007	48.4306
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	17.843**	3.106*	154.907**
تنش کمبود آب×سالیسیلیک اسید water deficiency ×Salicylic acid	6	6.642**	6.401**	9.310**
خطا (Error)	45	0.0576	0.993	1.376
ضریب تغییرات C.V.(٪)	-	3.31	9.248	14.84

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, and **= not significant, significant at P level of 0.05and 0.01, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه کدو تخم کاغذی تحت تنش‌های مختلف کمبود آب

Table 4- Analysis of variance of studied traits of pumpkin under different water deficit stress

		میانگین مربعات MS					
منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	درصد روغن دانه Seed oil %	تعداد دانه در میوه Number of seeds in fruit	عملکرد دانه Seed yield	قطر میان‌بر میوه Mesocarp diameter	قطر میوه Fruit diameter	عملکرد میوه Fruit yield
سال Year	1	0.014^{ns}	392.000^{ns}	1198972.248^{ns}	43.556^{ns}	1065.681^{ns}	8820000.00^{ns}
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	1.306	2685.278	2777775.619	2.222	1075.014	10753323.528
تنش کمبود آب Water deficit stress	2	90.514**	73856.889**	53645456.471**	625.722**	37628.181**	371077467.681**
خطا (Error)	10	1.1138	442.9558	181930.6864	27.789	1016.8638	10040186.28
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	20.569**	1650.926**	161781.048**	21.963**	1405.014**	16362509.981**
خطا (Error)	51	0.422706	34.5335	38182.678	0.316	24.063	27621.707
ضریب تغییرات C.V.(%)		2.923	7.759	7.283	10.433	11.944	5.45

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, and **= not significant, significant at P level of 0.05and 0.01, respectively.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه کدو تخم کاغذی تحت تنش‌های مختلف کمبود آب

Table 5- Analysis of variance of studied traits of pumpkin under different water deficit stress

	میانگین مربعات MS	
منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد روغن دانه Seed oil yield
سال Year	1	1673.486^{ns}
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	5080.468
تنش کمبود آب Water deficit stress	2	115577.201**
خطا (Error)	10	402.432
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	6429.760**
تنش کمبود آب×سالیسیلیک اسید water deficit stress ×Salicylic acid	6	243.836*
خطا (Error)	45	79.848
ضریب تغییرات C.V.(%)	-	6.808

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, and **= not significant, significant at P level of 0.05and 0.01, respectively.

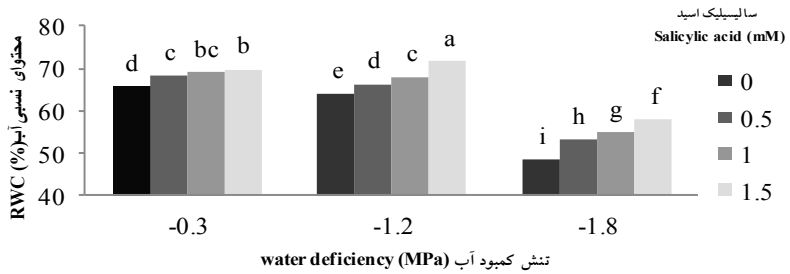
جدول ۶- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه کدو تخم کاغذی تحت تنش‌های مختلف کمبود آب

Table 6- Analysis of variance of studied traits of pumpkin under different water deficit stress

	میانگین مربعات MS	
منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds
سال Year	1	606.681*
سال (تکرار) Year (Repeat)	4	416.517
تنش کمبود آب Water deficit stress	2	3542.469**
سال×تنش کمبود آب Year× water deficit stress	2	673.462*
خطا (Error)	8	84.283
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	162.870**
خطا (Error)	51	6.569
ضریب تغییرات C.V.(%)	-	3.631

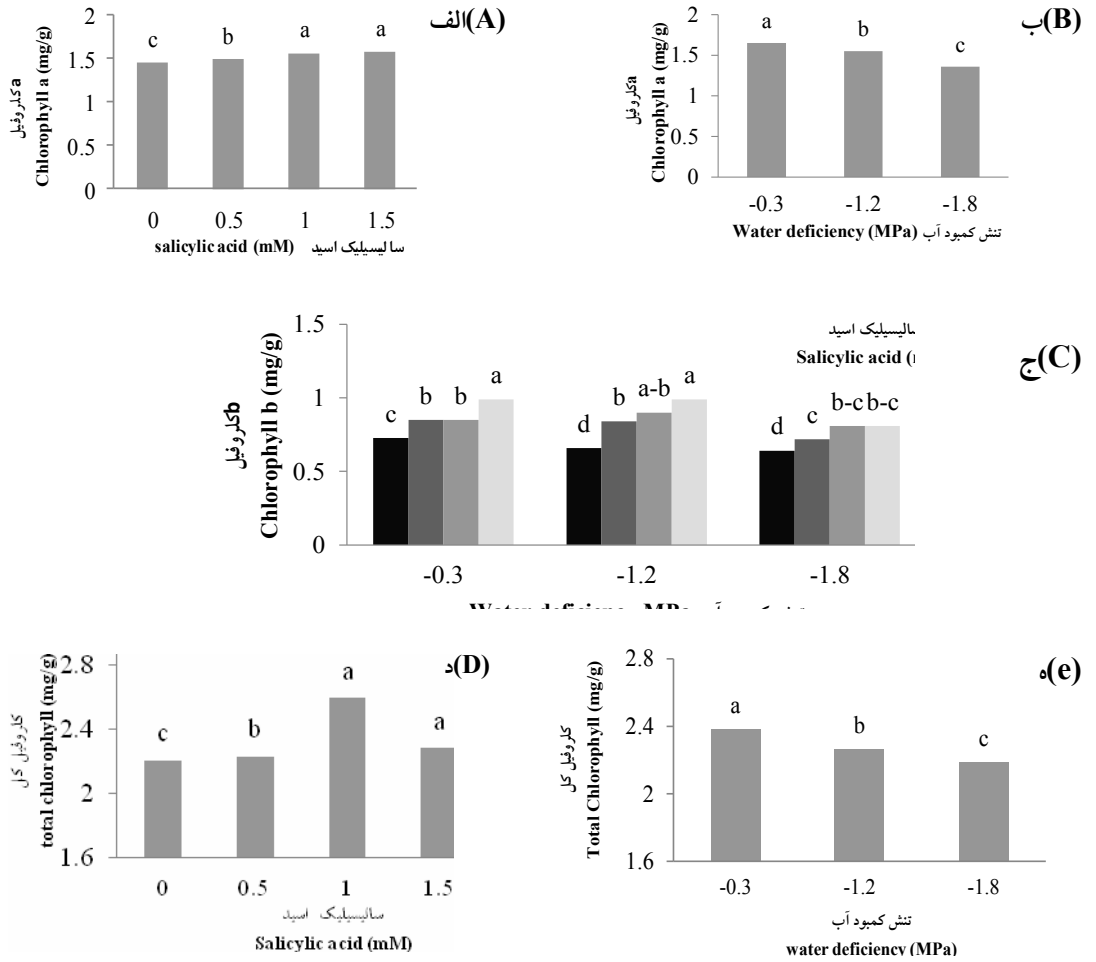
ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, and **= not significant, significant at P level of 0.05and 0.01, respectively.



شکل ۱- اثر تنش کمبود آب و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر محتوای رطوبت نسبی برگ گیاهان کدوی تخم کاغذی

Figure 1- Effect of water deficit stress and salicylic acid foliar application on RWC of pumpkin

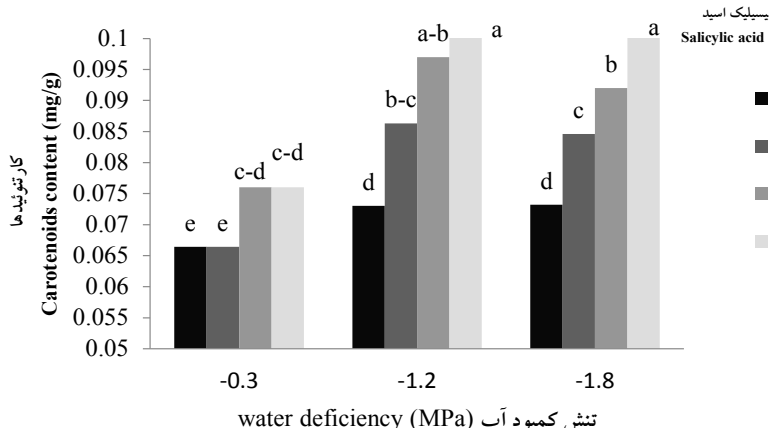


شکل ۲- الف) اثر تنش کمبود آب و ب) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل a، ج) اثر تنش کمبود آب و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر روی محتوای کلروفیل b، د) اثر تنش کمبود آب و ه) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل کل در گیاهان کدوی تخم کاغذی

Figure 2- A) Effect of water deficit stress , B) salicylic acid foliar application on Chlorophyll a content, C) Effect of water deficiency and foliar application of salicylic acid on chlorophyll b content, D) Effect of water deficiency and e) foliar application of salicylic acid of pumpkin

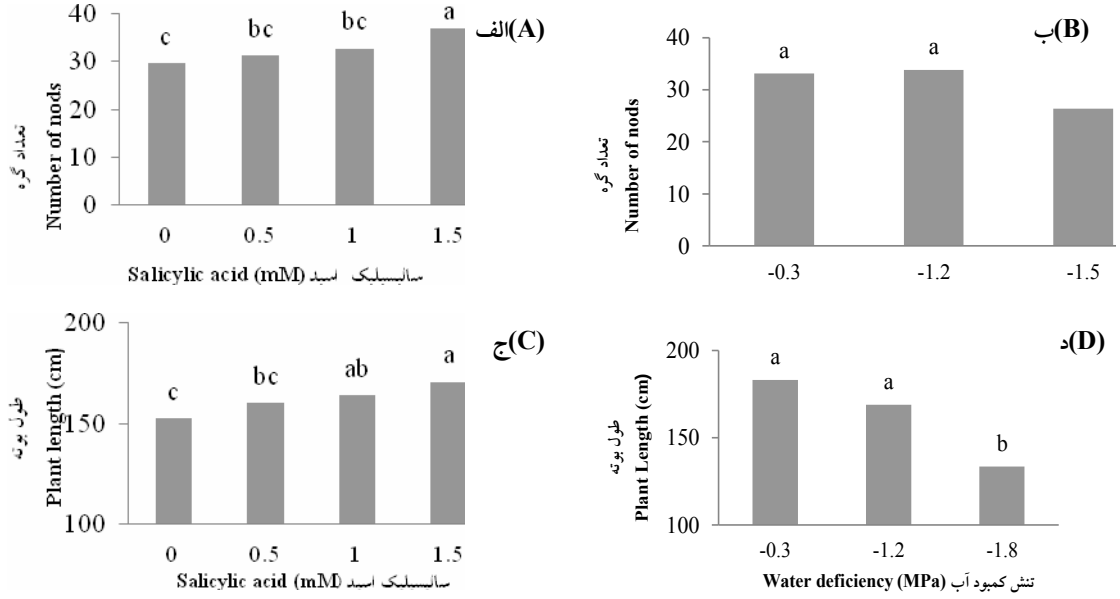
حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.



شکل ۳- اثر تنش کمبود آب و تیمار با سالیسیلیک اسید بر روی محتوای کاروتنوئید برگ در گیاهان کدوی تخم کاغذی

Figure 3- Effect of water deficit stress and salicylic acid foliar application on Carotenoids content of pumpkin

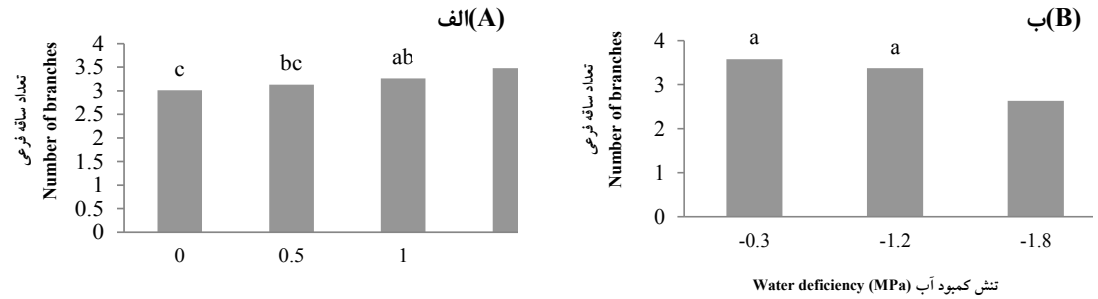


شکل ۴- الف) اثر تنش کمبود آب و ب) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر تعداد گره، ج) اثر تنش کمبود آب و د) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر طول بوته در گیاهان کدوی تخم کاغذی

Figure 4- A) Effect of water deficit stress and B) salicylic acid foliar application on number of nods, C) Effect of water deficit stress and D) salicylic acid foliar application on plant length of pumpkin

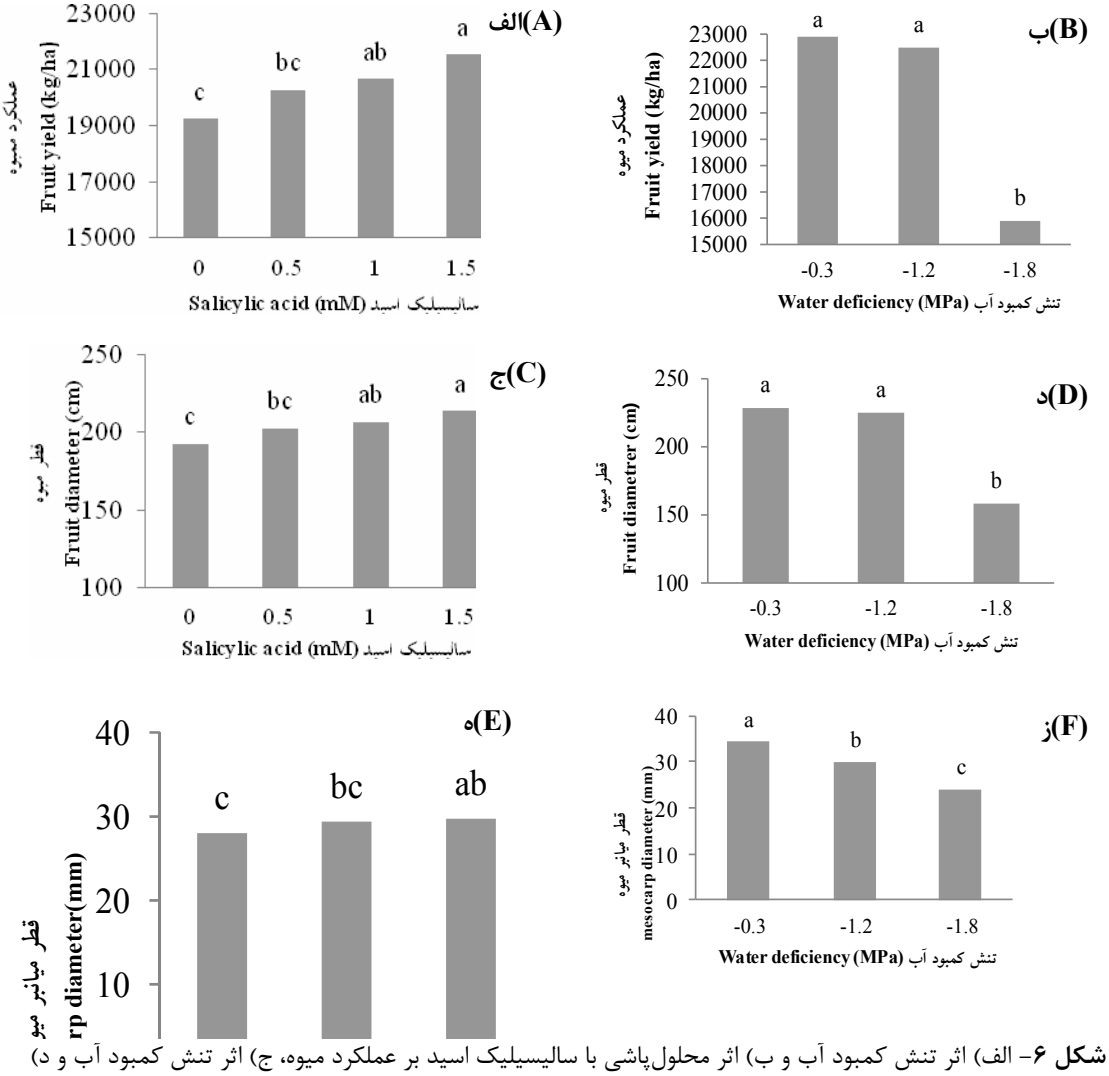
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.



شکل ۵- الف) اثر تنش کمبود آب و ب) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر تعداد ساقه فرعی در کدوی تخم کاغذی

Figure 5- A) Effect of water deficit stress and B) salicylic acid foliar application on number of branches, of pumpkin

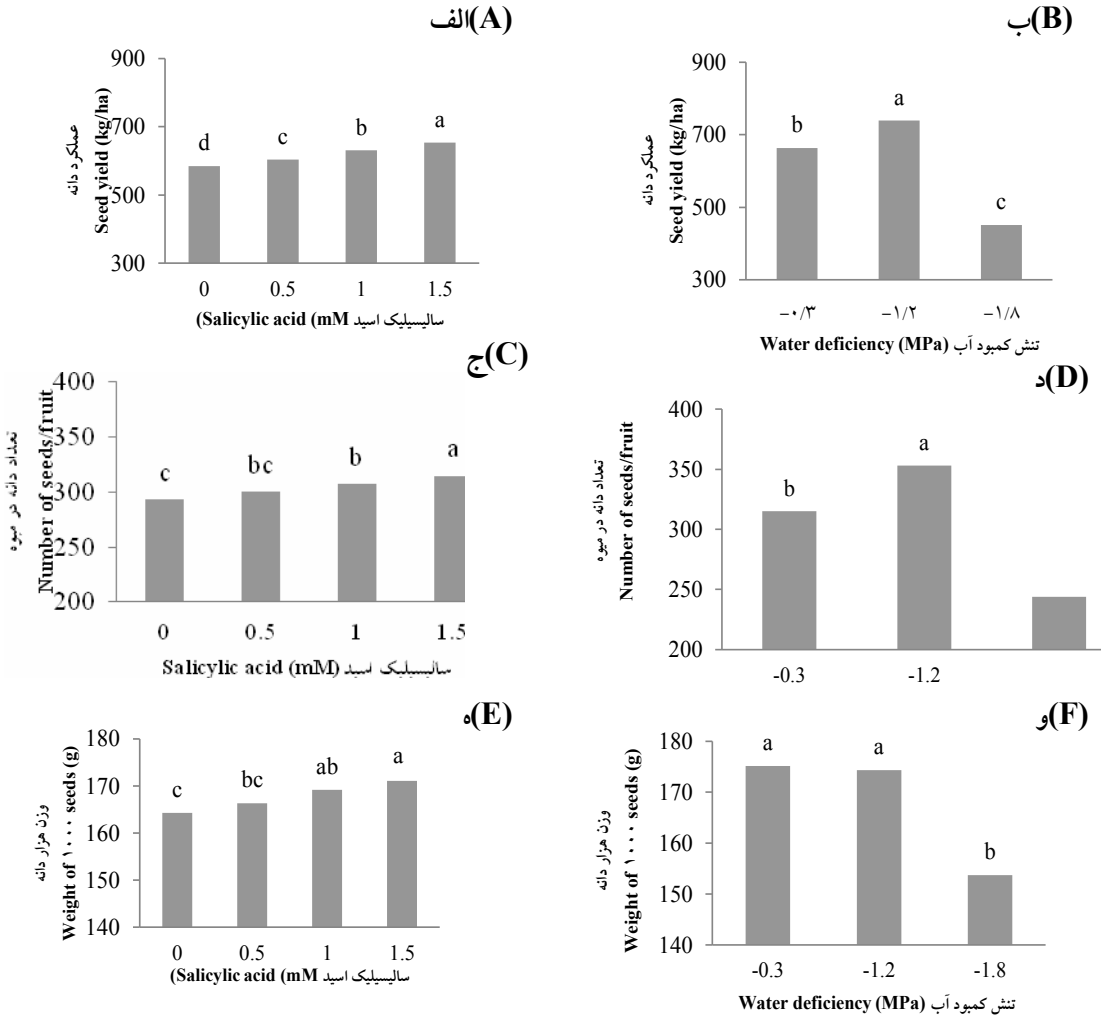


شکل ۶- الف) اثر تنش کمبود آب و ب) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر عملکرد میوه، ج) اثر تنش کمبود آب و د) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر قطر میوه، ه) اثر تنش کمبود آب و ز) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر قطر میان‌بر میوه، در کدوی تخم کاغذی

Figure 6- A) Effect of water deficit stress and B) salicylic acid foliar application on Fruit yield, C) Effect of water deficit stress, B) salicylic acid foliar application on fruit diameter, E) Effect of water deficit stress and F) salicylic acid foliar application on fruit mesocarp diameter of pumpkin

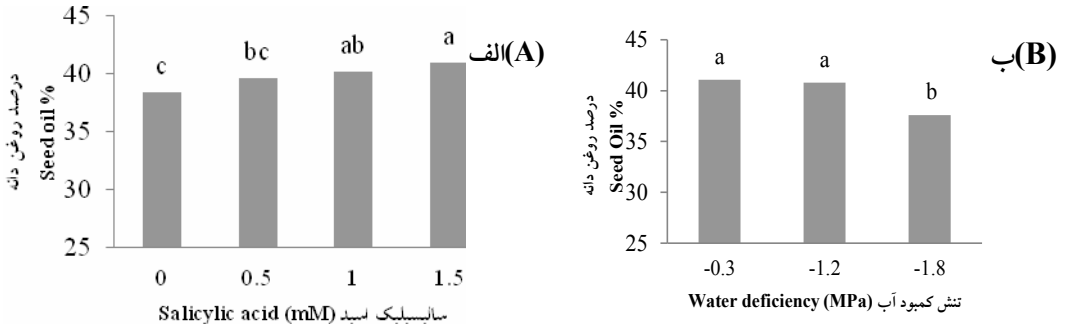
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%



شکل ۷- الف) اثر تنش کمبود آب و ب) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه، ج) اثر تنش کمبود آب و د) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر تعداد دانه در میوه، ه) اثر تنش کمبود آب و ز) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر وزن هزار دانه در گیاهان کدوی تخم کاغذی

Figure 7- A) Effect of water deficit stress and B) salicylic acid foliar application on seed yield, C) Effect of water deficit stress, D) salicylic acid foliar application on number of seeds per fruit, E) Effect of water deficit stress and F) salicylic acid foliar application on weight of 1000 seeds of pumpkin

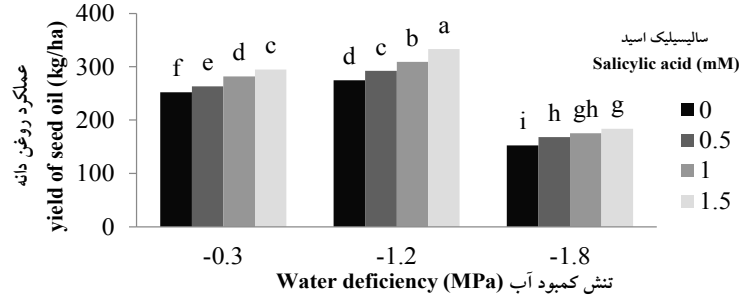


شکل ۸-الف) اثر تنش کمبود آب و ب) اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر درصد روغن دانه در کدوی تخم کاغذی

Figure 8- A) Effect of water deficit stress and B) salicylic acid foliar application on seeds oil percent of pumpkin

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.



شکل ۹- اثر تنش کمبود آب و تیمار با سالیسیلیک اسید بر عملکرد روغن دانه در گیاهان کدوی تخم کاغذی

Figure 9- Effect of water deficit stress and salicylic acid foliar application on yield of seed oil of pumpkin

حروف مشابه در هرستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%

References منابع مورد استفاده

- Abdolahi, M., F. Shekari, J. Saba, and E. Zangani. 2018. Seed priming with salicylic acid enhanced gas exchanges parameters and biological yield of wheat under late sowing date. *Agriculture and Forestry*. 64: 145-157.
- Abedi, T., and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 46: 27–34.
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy*. 23: 112-121.
- Bernáth, J. 1999. Biological and economical aspects of utilization and exploitation of wild growing medicinal plants in middle and south Europe. In: Proceedings of the second world congress on medicinal and aromatic plants for human welfare WOCMAP-2. Caffini, N., J. Bernáth, L.Craker, L., *et al.* (eds.). pp: 31-41. Argentina: Mendoza.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar, and R. Clark. 2006. Physiology of crop production. Translated to Persian by: Shekari, F., F. Shekari, and E. Esfandiari. University of Margheh Press. (In Persian).
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development.* 29: 185-212.
- Hamissou, M., A.C. Smith, R.E. Carter and J.K. Triplett. 2013. Antioxidative properties of bitter gourd (*Momordica charantia*) and zucchini (*Cucurbita pepo*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 25: 641-647.
- Harris-Vallea, C., M. Esquedaa, A. Gutiérreza, AE. Castellanosb, A.A. Gardeaa, and R. Berbarac. 2018. Physiological response of *Cucurbita pepo* var. *pepo* mycorrhized by Sonoran desert native arbuscular fungi to drought and salinity stresses. *Brazilian Journal of Microbiology*. 49: 45–53.

- Hay, R.K.M., and J.R. Porter. 2006. The physiology of crop yield. Wiley-Blackwell Ltd Co.
- Jahan, M., A. Koocheki, M. Nassiri, and F. Dehghanipoor. 2010. The effects of different manure levels and two branch management methods on organic production of *Cucurbita pepo*L. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 5: 281-289. (In Persian).
- Khan, M., P.T. Fatma, N.A. Anjum, and N.A. Khan. 2015. Salicylic acid induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*. 6: 1–17.
- Klessing, D.F., and J. Malamy. 1994. The salicylic acid signal in plants. *Plant Molecular Biology.* 26: 1439-1458.
- Marcelis, L.F.M., and L.R. Baan Hofman-Eijer. 1997. Effects of seed number on competition and dominance among fruits in *Capsicum annuum* L. *Annals of Botany*. 79: 687-693.
- Mohammadi, L., F. Shekari, J. Saba, and E. Zangani. 2017. Effects of priming with salicylic acid on safflower seedlings photosynthesis and related physiological parameters. *Journal of Plant Physiology and Breeding.* 7: 1-13.
- Moharekar, S., S. Lokhande., T. Hara, and R. Tanaka. 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. *Photosynthetica.* 41(2): 315-317.
- Nazar, R., S. Umar, N.A. Khan, and O. Sareer. 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*. 98: 84–94.
- Noborio, K., R. Horton, and C.S. Tan. 1999. Time domain reflectometry probe for simultaneous measurement of soil matric potential and water content. *Soil Science. Societies American Journal.* 63: 1500–1505.
- Pakmehr, A., F. Shekari, and M. Rastgoo. 2014. Effect of seed priming by salicylic acid on some photosynthetic traits of cowpea under water deficit in flowering stag. *Iranian Journal of Pulses Research.* 5: 19-30. (In Persian).
- Pawlowski, M.L., C.R. Bowen, C.B. Hill, and G.L. Hartman. 2016. Responses of soybean genotypes to pathogen infection after the application of elicitors. *Crop Protection.* 87: 78–84.
- Rabbi Angourani, H., J. PanahandeYangajeh, S.A. Boland Nazar, J. Saba, and F. Zare Nahandi. 2017. The Effects of exogenous salicylic acid on some quantitative and qualitative attributes of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. Styriaca) under drought stress. *Advances in Bioresearch*. 8: 242-249.
- Ramirez-Estrada, K., H. Vidal-Limon, D. Hidalgo, E. Moyano, M. Golenioswki, R.M. Cusidó, and J. Palazon. 2016. Elicitation, an effective strategy for the biotechnological production of bioactive high-added value compounds in plant cell factories. *Molecules.* 21: 182-206.

- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 43: 439-463.
- Rivas-San Vicente, M., and J. Plasencia. 2011. Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany.* 62: 3321–3338.
- Robinson, R.W. 1993. Genetic parthenocarpy in *Cucurbita pepo* L. *Report Cucurbit Genetics Cooperative.* 16: 55-57.
- Safari, M. 2014. Technology of edible oils and fats. University of Tehran Press. (In Persian).
- Sánchez-martín, J., J. Heald, A. Kingston-smith, A. Winters, D. Rubiales, M Sanz, L.A.J. Mur, and E. Prats. 2014. A metabolomic study in oats (*Avena sativa* L.) highlights a drought tolerance mechanism based on salicylate signalling pathways and the modulation of carbon. *Plant, Cell and Environment.* 38: 1434–1452.
- Sarrou, E., P. Chatzopoulou, K. Dimassi-Theriou, I. Therios, and A. Koularmani. 2015. Effect of melatonin, salicylic acid and gibberellic acid on leaf essential oil and other secondary metabolites of bitter orange young seedlings. *Journal of Essential Oil Research.* 27: 487–496.
- Senaratna T., D. Touchell, E. Bunn, and K. Dixon. 2000. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulator*. 30: 157-161.
- Shekari, F., A. Pakmehr, M. Rastgo, M. Vazaiefi, and M.J. Goreish Nasab. 2010. The effects of seed priming with salicylic acid on some physiological traits of cowpea under water shortage stress at pod filling period. *Agricultural Science.* 4: 14-29. (In Persian).
- Siddique, Z., S. Jan, S.R. Imadi, A. Gul, and P. Ahmad. 2016. Drought stress and photosynthesis in plants. In: Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach. Ahmad, P. (ed.).pp:1-11. United States: Hoboken.
- Siyami, A., R. Haydari, and A. Dastpak. 2003. Measurement of oil and fatty acids in seeds of several varieties of *Cucurbita* L. *Research and Development*. 59: 16-19.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2010. Plant physiology. 5th ed. Sinauer Associates Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts U.S.A.
- War, A.R., M.G. Paulraj, M.Y. War, and S. Ignacimuthu. 2011. Role of salicylic acid in induction of plant defense system in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Signaling and Behavior.* 6: 1787–1792.
- Wien, H.C. 2006. The physiology of vegetables. Translated to Persian by: Shekari, F., S. Massiha, and B. Esmailpoor. Zanjan University Press. (In Persian).
- Zeynali, M., B. Maleki Zanjani, P. Moradi, and F. Shekari. 2019. Effects of field capacity based-irrigation levels on physiological and agronomic characteristics of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Applied Research in Field Crops*. 31: 1-20. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2020.676137

Effect of Foliar Application of Salicylic Acid on Yield and Yield Components of Pumpkin under Different Water Deficienies

Vahideh Biyare[1], Farid Shekari[2*], Saeid Seifzadeh[3], Hamidreza Zakerin[3], and Esmaeil Hadidi[3]

Received: February 2019 , Revised: 2 February 2020, Accepted: 3 February 2020

Abstract

Pumpkin is one of the valuable medicinal plants which have high oil content in its seeds. The response of pumpkin was examined against controlled water deficiency with spraying salicylic acid under field conditions in 2015 and 2016 in split plot experiment based on complete randomized block design. The plants sprayed with 0, 0.5, 1 and 1.5 mM concentrations of salicylic acid at 5-6 leaf stages. After 15 days plants exposed to -0.3, -1.2 and -1.8 MPa water deficiency. Increasing water deficiency reduced RWC, chlorophyll and carotenoids content, plant height, number of nodes and branches per plant, fruit yield, fruit diameter, seed yield, number of seed per fruit and weight of 1000 seeds while it and also increased the diameter of mesocarp especially in -1.8 MPa treated plants. On the contrary, spraying with salicylic acid resulted in significant increase in RWC, chlorophyll and carotenoids contents, plant height, number of nodes and branches per plant, fruit yield, diameter of fruit, seed yield, number of seed per fruit and weight of 1000 seeds. Haghest salicylic acid effect observed at 1.5 mM concentration. Most of traits under study depicated their significant reduction at -1.8 MPa water deficiency, while other traits like leaf water content, plant height, chlorophyll a, b and total chlorophyll content, nodes per plant, number of branches and mesocarp diameter were reduced at -1.2 MPa. On the other hand, seed per fruit was increased significantly at -1.2 MPa as compared to -0.3 MPa water deficiency. The main reason for increment of seed number per fruit was due to reduction in mesocarp diameter and its weight. It seems that water deficiency changed the partitioning pattern of assimilates from fruit and shifted them to seeds against mesocarp or other parts of fruit. Among the yield components, seed number per fruit and number of fruit per land area had the most effect on yield formation. The variation in seed weight was not significant. According to results, pumpkin may considered as a tolerant plant to soil suction till -1.2 MPa, without a significant reduction in seed yield.

Key words: Biomass, Leaf relative water content, Oil, Seed yield, Water deficit.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
**Corresponding Author: shekari@znu.ac.ir*