

بررسی تغییرات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه و روغن خرفه (*Portulaca oleracea*) در واکنش به کاربرد سالیسیلیک اسید و آبسزیک اسید تحت شرایط کم آبی

مهدی پناهیان کیوی^۱، مرتضی اعلی‌میلانی^۲، اباذر عباسی^۳

۱ و ۳- به ترتیب استادیار و مربی، عضو هیات علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، ۲- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۱۸)

چکیده

با هدف بررسی تغییرات فیزیولوژیکی و عملکرد روغن خرفه در واکنش به محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و آبسزیک اسید و کم آبی، آزمایش مزرعه‌ای به صورت اسپلیت پلات و بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور اردبیل شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح آبیاری (آبیاری بعد از ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و سه سطح محلول‌پاشی شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب)، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید (یک میلی‌مولار) و محلول‌پاشی با آبسزیک اسید (۵۰ میکرومولار) در مراحل پنج برگی و گل‌دهی کامل بودند. تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی به ترتیب در کرت‌های اصلی و فرعی قرار گرفتند. در این پژوهش، شاخص کلروفیل برگ، غلظت پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد و عملکرد روغن دانه خرفه ارزیابی شدند. تنش کم آبی سبب افت ۳۴/۲ درصدی شاخص کلروفیل برگ و افزایش محتوای پرولین برگ تحت تنش کم آبی شد. میانگین شاخص کلروفیل برگ، نسبت به شاهد، به طور معنی‌داری با کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش (۹/۶ درصد) و با کاربرد آبسزیک اسید کاهش (۵/۴ درصد) پیدا کرد. تنش کم آبی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز (بیش از دو برابر)، پراکسیداز (تقریباً دو برابر)، آسکوربات پراکسیداز (تقریباً دو برابر) و پلی‌فنل اکسیداز (تقریباً سه برابر) شد. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و آبسزیک اسید، موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد. درصد روغن دانه خرفه تحت تنش خشکی افزایش یافت (۱۶/۶ درصد) ولی عملکرد روغن کاهش پیدا کرد (۷۰/۱ درصد). عملکرد روغن با کاربرد سالیسیلیک اسید و آبسزیک اسید افزایش معنی‌داری یافت. در اغلب صفات مورد بررسی به جز شاخص کلروفیل برگ، تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین سطوح محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و آبسزیک اسید وجود نداشت. بنابراین محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و آبسزیک اسید برای بهبود عملکرد دانه و روغن خرفه به ویژه تحت تنش کم آبی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، خرفه، عملکرد روغن.

Evaluation of common purslane (*Portulaca oleracea*) physiological changes, seed and oil yield in response to salicylic and abscisic acids under water deficit conditions.

Mehdi Panahyan.Kivi¹, Morteza Alami Milani², Abazr Abbasi¹

1. Department of Agronomy, University of Payame Noor Tehran, 2. Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(Received: November 27, 2018 - Accepted: April 7, 2019)

ABSTRACT

To evaluate the physiological changes and oil yield of common purslane in response to water limitation and foliar application of salicylic and abscisic acids, field experiment was carried out as split-plot based on randomized complete block design with three replications in 2018. Treatments were four levels of water supply (irrigation after 70, 100, 130 and 160 mm evaporation from class A pan) and three levels of foliar application consisted of control (foliar application of water), foliar application of salicylic acid (1 μ molar) and foliar application of abscisic acid (50 μ molar). Irrigation and foliar application treatments were allocated to main and sub plots, respectively. Decreasing water availability resulted in decreasing chlorophyll content (34.2%); however, proline content of leaves enhanced under limited irrigation conditions. Mean leaf chlorophyll content significantly enhanced by salicylic acid application (9.6%) and decreased with foliar application of abscisic acid (5.4%), compared to control. Decreasing water supply led to reduction in anti-oxidant enzymes activity and grain yield. Foliar application of salicylic and abscisic acids caused significant increase in anti-oxidant enzymes activity and grain yield. Oil percentage in the grains of purslane increased (16.6%) as a result of water deficit, but grain oil yield decreased (70.1%) with increasing irrigation intervals. Oil yield was significantly enhanced by foliar application of salicylic and abscisic acids. There was no significant difference between the effects of salicylic and abscisic acids foliar application on the most traits except chlorophyll index. Therefore, regarding to beneficial effects of salicylic and abscisic acids on grain and oil yield of purslane, foliar application of salicylic and abscisic acids are recommended for the study area and the similar regions. This would become more important under conditions where water availability is limited.

* Corresponding author E-mail: panahyankivi@gmail.com

Keywords: Anti-oxidant enzymes, drought stress, growth regulators, oil yield, purslane.

مقدمه

میزان تعرق از سطح برگ‌ها از ظرفیت و توانایی ریشه برای جذب آب از خاک فراتر رود و شرایط جوی، موجب اتلاف مداوم آب از طریق تعرق و تبخیر شود (Jaleel *et al.*, 2009)؛ بنابراین رقابت بین گیاهان برای کسب آب (به دلیل فشار منفی) شروع می‌شود. واکنش گیاهان به تنش خشکی به شدت و مدت تنش، گونه گیاهی و مرحله رشد بستگی دارد (Wang *et al.*, 2016).

خشکی به عنوان یک تنش چندبعدی، اثرات متنوعی روی گیاهان دارد و بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فرایندهای فیزیولوژیکی مرتبط با رشد و توسعه گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تنش با کاهش پتانسیل آب سلول و آماس در گیاهان، باعث افزایش غلظت املاح در مایعات درون سلولی و برون سلولی می‌شود. تحت تنش، توسعه سلول کند و یا متوقف می‌شود و رشد گیاه به تأخیر می‌افتد. در خشکی طولانی مدت، بسیاری از گیاهان، آب خود را از دست می‌دهند و از بین می‌روند (Lisar *et al.*, 2012). خشکی نه تنها روابط آبی گیاه را از طریق کاهش محتوای آب و آماس تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه ضمن محدود ساختن تبادلات گازی، تعرق را کاهش می‌دهد و از جذب و تثبیت کربن جلوگیری می‌کند (Lisar *et al.*, 2012). تنش خشکی سبب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش شدت تعرق، کاهش پتانسیل آب بافت‌های گیاه، کاهش فتوسنتز و مهار رشد، سنتز پروتئین‌ها و mRNA جدید، تشکیل ترکیبات مهارکننده رادیکال (آسکوربات، گلوکاتایون و آلفا توکوفرول) و تجمع املاح می‌شود و بیان ژن‌های ویژه تنش را القا می‌کند. تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن و تشکیل ترکیبات مهارکننده رادیکال، اثرات منفی کم‌آبی را تشدید می‌کند (Lisar *et al.*, 2012). کاهش معنی‌دار پارامترهای مختلف رشد مانند تعداد برگ و نیز وزن تر و خشک بوته تحت تنش کمبود آب در گیاهان دارویی گشنیز (Nourzad *et al.*, 2014) و شوید (Setayesh-mehr *et al.*, 2013) گزارش شده است.

افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، از راه‌های مختلف شامل به‌زادگی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های

خرفه با نام انگلیسی Common Purslane (همچنین Little Hogweed) و نام علمی *Portulaca oleracea* L. یکی از گیاهان دارویی با ارزش از خانواده Portulacaceae است (Chan *et al.*, 2000). این گیاه برای تثبیت دی‌اکسیدکربن از مکانیسم فتوسنتزی C₄ که قابل تبدیل به CAM نیز می‌باشد استفاده می‌کند. از دیدگاه گیاه‌شناسی، خرفه گیاهی یک‌ساله، گرما دوست، علفی، دارای شاخه‌های فرعی با ساقه‌های شیره‌دار است که در انتهای قاعده گیاه حالت خوابیده و در راس وضعیتی افراشته دارد (Chan *et al.*, 2000). خرفه به عنوان سبزی برگی در تهیه انواع سالاد و به صورت پخته مانند اسفناج استفاده می‌کنند. شاخ و برگ خرفه دارای ۱۸ تا ۲۷ درصد پروتئین، ۲۳/۶ درصد کربوهیدرات، حدود شش درصد چربی و ۲۰/۳ درصد فیبر خام می‌باشد (Brabosa-Filho *et al.*, 2008). خرفه حاوی ویتامین‌های مهمی مانند A، B₁، B₂، C، نیاسین آمید، اسید نیکوتینیک، آلفاتوکوفرول و بتاکاروتن و برخی مواد معدنی همچون پتاسیم، کلسیم، منیزیم، مس، سدیم و آهن می‌باشد. در مجموع ۲۷ نوع اسید چرب در روغن دانه خرفه مشاهده شده است که اسید پالمیتیک، اسید لینولئیک یا امگاشش و اسید لینولنیک یا امگا سه، بیشترین اسیدهای چرب خرفه را تشکیل می‌دهند (Rinaldi *et al.*, 2010). در زمینه کاربردهای دارویی خرفه می‌توان به‌طور خلاصه به اثر ضد اضطرابی و خواب‌آوری، شل‌کنندگی عضلانی، افزایش کلسترول HDL و کاهش کلسترول تام و کلسترول LDL و در نتیجه کاهش خطر بیماری‌های قلبی و عروقی اشاره نمود (Karimi *et al.*, 2008).

رشد و قدرت تولید گیاه تحت تأثیر عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی مختلف قرار می‌گیرند. کمبود آب، یکی از تنش‌های غیرزیستی عمده است که اثرات نامطلوبی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد و تقریباً تولید ۲۵ درصد اراضی جهان را محدود ساخته است (Jaleel *et al.*, 2009) و بیشتر مساحت ایران نیز در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Azarakhshi *et al.*, 2013). تنش کم‌آبی زمانی در گیاه رخ می‌دهد که

رشد، عملی است. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند اسید سالیسیلیک و اسید آبسزیک آسان‌تر و ارزان‌تر است (Abaspor & Rezaei, 2014). اسید سالیسیلیک یا اسید اورتو هیدروکسی بنزوئیک، یک ترکیب فنلی گیاهی است که به عنوان یک تنظیم کننده هورمونی مورد توجه است و در راهبردهای دفاعی برای مقابله با اثرات منفی تنش‌های زیستی و محیطی نقش دارد. کاربرد سالیسیلات خارجی موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی و شوری می‌شود (Tari *et al.*, 2002). تحت تنش خشکی، اسید سالیسیلیک موجب افزایش صفات رشدی مانند وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ در گیاهان دارویی مرزنجوش و ریحان شده است (El-Lateef-Gharib, 2006). سالیسیلات، نقش کلیدی در گیاهان متأثر از تنش از جمله اثر بر جذب عناصر معدنی، پایداری غشا و روابط آبی، عملکرد روزه‌ها و بازدارندگی سنتز اتیلن و بهبود رشد دارد (Rahbarian & Salehi-Sardoei, 2014). سالیسیلیک اسید بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاهان را تنظیم می‌کند و سبب سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود. در مطالعه‌ای، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک با افزایش کلروفیل‌های a و b در بادرشبو، موجب افزایش مقاومت به خشکی شده است (Abaspor & Rezaei, 2014).

رشد، عملی است. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند اسید سالیسیلیک و اسید آبسزیک آسان‌تر و ارزان‌تر است (Abaspor & Rezaei, 2014). اسید سالیسیلیک یا اسید اورتو هیدروکسی بنزوئیک، یک ترکیب فنلی گیاهی است که به عنوان یک تنظیم کننده هورمونی مورد توجه است و در راهبردهای دفاعی برای مقابله با اثرات منفی تنش‌های زیستی و محیطی نقش دارد. کاربرد سالیسیلات خارجی موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی و شوری می‌شود (Tari *et al.*, 2002). تحت تنش خشکی، اسید سالیسیلیک موجب افزایش صفات رشدی مانند وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ در گیاهان دارویی مرزنجوش و ریحان شده است (El-Lateef-Gharib, 2006). سالیسیلات، نقش کلیدی در گیاهان متأثر از تنش از جمله اثر بر جذب عناصر معدنی، پایداری غشا و روابط آبی، عملکرد روزه‌ها و بازدارندگی سنتز اتیلن و بهبود رشد دارد (Rahbarian & Salehi-Sardoei, 2014). سالیسیلیک اسید بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاهان را تنظیم می‌کند و سبب سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود. در مطالعه‌ای، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک با افزایش کلروفیل‌های a و b در بادرشبو، موجب افزایش مقاومت به خشکی شده است (Abaspor & Rezaei, 2014).

اسید آبسزیک یکی از بازدارنده‌های طبیعی است که از سایر بازدارنده‌های طبیعی گیاهان، یک صد مرتبه قوی‌تر است و فرآیندهایی مانند رکود بذرها، جوانه‌ها و نیز ریزش اندام‌ها را کنترل می‌کند. اسید آبسزیک با تأثیر بر جذب و توزیع یون‌ها در بافت‌های گیاهی، تحریک سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سنتز اسمولیت‌های سازگار، در القای مقاومت به تنش خشکی در گیاهان نقش دارد (Kang *et al.*, 2005). Ghassemi-Golezani

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش مزرعه‌ای: این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور اردبیل اجرا گردید. این محل با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریای آزاد، دارای زمستان‌های خیلی سرد و بهار و تابستان‌های معتدل است. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه در طی یک دوره ۱۵ ساله به ترتیب ۷/۹ و ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه حدود ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد (Azarakhshi *et al.*, 2013).

خصوصیات خاک مزرعه: به منظور بررسی وضعیت خاک قطعه زمین مورد نظر در مزرعه، نمونه خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد که نتایج حاصل از تجزیه آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل انجام آزمایش

Table 1. Soil physicochemical analysis of the experimental site

Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)	OC (%)	EC (dS/m)	Soil Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	Depth (cm)
8.6	0.92	318	17.7	0.06	0.83	1.18	Sandy loam	61	25	14	7.76	0-30

کرت‌های آزمایشی، به صورت دستی و در چندین نوبت انجام شد. برداشت خرفه در ۱۶ مرداد ماه سال ۱۳۹۷، زمانی که ۷۰ درصد کپسول‌ها کاملاً رسیده بودند و رنگ آن‌ها به زرد تغییر یافته بود، به صورت دستی صورت گرفت.

صفات مورد بررسی

پرولین: برای استخراج پرولین برگ از روش Bates *et al.* (1973) استفاده شد. غلظت پرولین در هر نمونه بر اساس جذب و غلظت‌های معین موجود در منحنی استاندارد و بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه شد.

شاخص کلروفیل برگ: بدین منظور از کلروفیل سنج قابل حمل SPAD-502 (Minolta, Co.) SPAD-502 (Japan) که شاخص کلروفیل برگ را نشان می‌دهد استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها قبل از آبیاری و در ابتدای گلدهی خرفه انجام شد و محتوای کلروفیل برگ‌های بالغ و سالم بالایی، میانی و پایینی پنج برگ از هر کرت ثبت شد. در نهایت، میانگین ۱۵ عدد به دست آمده، به عنوان شاخص کلروفیل برگ هر کرت در نظر گرفته شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ: یک گرم از بافت برگ در هاون چینی با نیتروژن مایع پودر و سپس با ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و pH برابر ۶/۸ استخراج شد و مخلوط حاصل، به مدت ۲۰ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. از روش‌ناور حاصل برای سنجش آنزیم‌ها استفاده شد (Bradford, 1976).

کاتالاز: محلول واکنش، حاوی بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، H_2O_2 ۱۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تجزیه آب اکسیژنه با کاهش جذب طی مدت ۷۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر پیگیری و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد (Chance & Maechly, 1995).

پراکسیداز: فعالیت پراکسیداز با استفاده از آزمون گایاکول سنجش شد. تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰

عملیات مزرعه‌ای: شخم زمین محل اجرای آزمایش در پاییز سال ۱۳۹۶ صورت گرفت و عملیات تکمیلی تهیه زمین (دیسک) و کرت‌بندی، در بهار سال ۱۳۹۷ انجام شد. هر واحد آزمایشی دارای هشت ردیف کاشت سه متری بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۶ سانتی‌متر (تراکم ۲۵ بوته در مترمربع)، فاصله دو کرت مجاور از هم یک متر و فاصله تکرارها از یکدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت، به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. بذر خرفه مورد استفاده در این تحقیق از فروشگاه نهاده کشاورزی شهرستان همدان تهیه شد که توده بومی و مورد کشت منطقه است. بذرها در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه با تراکم بالا در شیارهایی به عمق یک سانتی‌متر کشت شدند و سپس در مرحله چهار تا شش برگی جهت رسیدن به تراکم مطلوب (۲۵ بوته در مترمربع) تنک شدند.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. فواصل آبیاری (I_۱، I_۲، I_۳، I_۴): به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) به عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شد. سطح آبیاری I_۱ به عنوان آبیاری مطلوب (بدون تنش کمبود آب) و سایر سطوح آبیاری به عنوان تیمارهای تنش کمبود آب در نظر گرفته شدند (Rahimi and Kafi, 2009). محلول-پاشی با سالیسیلیک اسید (یک میلی‌مولار)، آبسیزیک اسید (۵۰ میکرومولار) و شاهد (محلول‌پاشی با آب) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها (مرحله پنج برگی گیاه)، بوته‌ها تنک شدند و پس از آن، آبیاری‌ها بر اساس تیمارهای مورد نظر و میزان تبخیر از تشتک صورت گرفت. محلول‌پاشی در دو نوبت در مراحل پنج برگی و گل‌دهی کامل، به منظور اطمینان از اثر بخشی کامل تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و آبسیزیک اسید (Ghassemi- et al. 2018) و هر بار صبح زود و قبل از طلوع آفتاب و در زمان‌هایی که وزش باد وجود نداشت، با سم‌پاش دستی انجام گرفت. وجین علف‌های هرز همه

تجزیه‌های آماری: پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن و یکنواختی واریانس خطای داده‌ها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف انجام گرفت تا در صورت نیاز، تبدیل داده مناسب صورت گیرد. از نرم‌افزار MSTAT-C و SPSS Ver. ۲۱ برای انجام تجزیه‌های آماری استفاده شد و میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای پنج درصد مقایسه شدند. به دلیل بیشتر بودن خطای فرعی از اصلی در نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای اکثر صفات مورد بررسی، از ادغام خطای اصلی و فرعی (pooling) به منظور افزایش درجه آزادی خطا و قدرت آزمون استفاده گردید و معنی‌داری تیمارها برای صفات بر اساس خطای جدید حاصل از ادغام خطای اصلی و فرعی سنجیده شد.

نتایج و بحث

غلظت پرولین برگ: بر اساس جدول ۲، اثرات سطوح آبیاری و محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر غلظت پرولین برگ معنی‌دار بودند. تنش شدید خشکی، موجب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگ گردید. بیشترین محتوای پرولین برگ در سطح آبیاری I_۴ و تیمار محلول‌پاشی با آبسازیک اسید به دست آمد. به‌طور کلی، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و آبسازیک اسید در همه سطوح آبیاری، منجر به افزایش محتوای پرولین برگ شد ولی اثر این سطوح محلول‌پاشی در افزایش محتوای پرولین برگ در سطوح آبیاری I_۴ و I_۳ بارزتر بود (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی، عملکرد دانه و روغن خرفه تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم-

کننده‌های رشد

Table 2. Analysis of variance of purslane physiological traits, grain and oil yield under drought stress and growth regulator applications

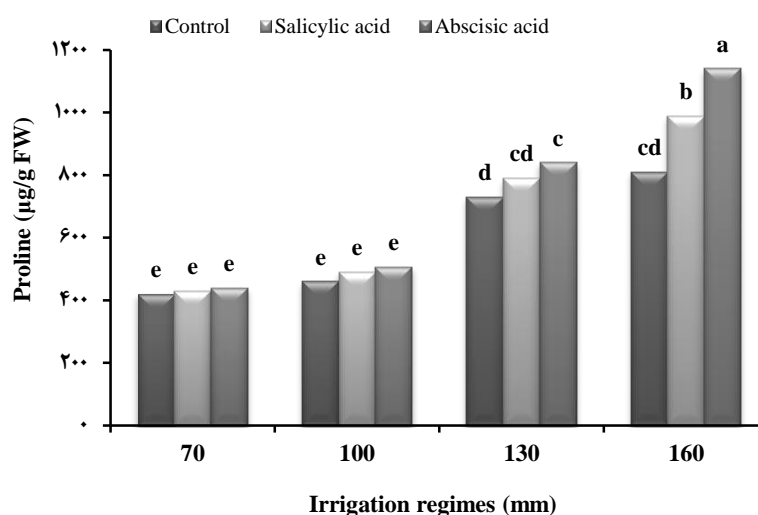
SOV	df	Mean of squares										
		Proline	Chlorophyll content	Catalase	Peroxidase	Ascorbate peroxidase	Polyphenol oxidase	Soluble carbohydrates	Anthocyanin	Grain yield	Oil percentage	Oil yield
Replication	2	134.6	1.803	0.008	0.009	0.003	0.008	0.007	0.003	0.885	0.054	8.27
Irrigation (I)	3	603544.9	413.8 **	7.701 **	0.776 **	6.028 **	28.49 **	15.007 **	7.13 **	4353.9	7.968 **	8168.2 **
Error (a)	6	1754.5	7.344	0.003	0.001	0.001	0.001	0.005	0.004	5.98	0.032	15.607
Regulator (R)	2	47650.1 **	89.19 **	0.193 **	0.085 **	0.198 **	0.309 **	0.424 **	0.357 **	185.7	0.014	220.3 **
R × I	6	14873.6 **	7.933	0.014	0.003	0.003	0.004	0.02	0.019	1.278	0.105	4.468
Error (b)	16	2719.1	10.582	0.013	0.004	0.002	0.004	0.011	0.009	11.835	0.256	11.564
C.V (%)		7.78	8.98	4.43	6.89	1.54	1.62	2.11	1.53	6.89	4.29	5.68

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: Significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

یکی از مهم‌ترین فرایندهای زیستی سازگاری درون سلولی است (Seki *et al.*, 2007). در گیاه ریحان نیز با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، میزان پرولین افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته است (Ramrodi & Khamr, 2013). Yeganehpour *et al.* (2017) نیز گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش محتوای پرولین برگ گشنیز تحت شرایط آبیاری مطلوب و محدود شد. محققان این واکنش فیزیولوژیکی را یکی از مکانیزم‌های افزایش مقاومت به تنش خشکی در این گیاه عنوان کردند.

بر اساس نظر Wang *et al.* (2016) تجمع پرولین، پاسخ متابولیکی گیاهان عالی به کمبود آب است. غلظت‌های بالای پرولین تحت تنش خشکی برای گیاهان مفید می‌باشد زیرا پرولین در پتانسیل اسمزی و در نتیجه تنظیم اسمزی برگ شرکت می‌کند. همچنین پرولین می‌تواند از پروتئین‌ها و آنزیم‌ها محافظت کند و پایداری غشا را نیز تحت شرایط گوناگون افزایش دهد. افزایش تجمع پرولین تحت تنش خشکی، ناشی از افزایش فعالیت آنزیم پرولین سنتتاز یا کاهش اکسیداسیون گلوتامات و یا کاهش دخالت آن در سنتز پروتئین است. تجمع پرولین در واکنش به افت پتانسیل آب سلول،



شکل ۱- محتوای پرولین برگ خرفه تحت سطوح مختلف آبیاری در واکنش به تنظیم‌کننده‌های رشد
Figure 1. Proline content of purslane leaves under different irrigation levels in response to growth regulators

خرفه شد ولی تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۳). یکی از عوامل کاهش کلروفیل، رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) در شرایط تنش خشکی است (Hafeez *et al.*, 2013) زیرا تجمع پرولین در خرفه، مکانیزم دفاعی مهمی تحت تیمارهای آبیاری محدود است (جدول ۳)، پیش‌ماده گلوتامات در بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه شده است. کاهش کلروفیل ناشی از تنش خشکی، استفاده از تابش نور را پایین می‌آورد زیرا جذب انرژی مزاد توسط دستگاه فتوسنتزی، اغلب تولید گونه‌های فعال اکسیژن

شاخص کلروفیل برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص کلروفیل برگ (جدول ۲)، اثر آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت معنی‌دار بود اما اثر متقابل تیمارها بر شاخص کلروفیل برگ خرفه، غیرمعنی‌دار شد. با کاهش آب قابل دسترس برای گیاه، شاخص کلروفیل برگ خرفه کاهش یافت و میانگین این شاخص در سطح اول (I₁) آبیاری بیشتر از سایر سطوح تیمار آبیاری بود (جدول ۳).

محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد، ۹/۶ درصد افزایش داد. کاربرد آبسازیک اسید، موجب افت شاخص کلروفیل برگ

ساختار کلروپلاست است (Nematollahi *et al.*, 2012). محلول پاشی اسید سالیسیلیک در ارقام زراعی آفتابگردان تحت شرایط تنش خشکی نیز محتوای کلروفیل برگ را افزایش و خسارت ناشی از خشکی را کاهش داده است (Nematollahi *et al.*, 2012). آبسازیک اسید، موجب کاهش سرعت فتوسنتز و مقدار کلروفیل برگ زینان می شود که از دلایل اصلی اثر این هورمون بر زوال و پیری برگ است.

را تحریک می کند که این وضعیت با تخریب رنگیزه های جذب کننده نور، تا حدودی قابل کنترل است (Mafakheri *et al.*, 2010). کاهش میزان کلروفیل در خرفه تحت تنش خشکی، با نتایج حاصل در گشنیز (Yeganehpour *et al.*, 2017) مطابقت دارد. افزایش محتوای کلروفیل برگ خرفه با مصرف اسید سالیسیلیک نیز به دلیل اثرات مثبت این هورمون بر متابولیسم، بیوسنتز، فعالیت های اکسیداتیو و فعالیت های بیولوژیکی نظیر رشد و نمو، فتوسنتز، جذب و انتقال یون ها، تغییر فعالیت برخی آنزیم های مهم و

جدول ۳- میانگین صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه و روغن خرفه تحت تیمارهای مختلف آبیاری و هورمونی

Table 3. Means of purslane physiological traits, grain and oil yield under different irrigation and hormone treatments

	Chlorophyll content (spad)	Catalase (unit mg protein ⁻¹ min ⁻¹)	Peroxidase (unit mg protein ⁻¹ min ⁻¹)	Ascorbate peroxidase (mmol ascorbate oxidized mg ⁻¹ min ⁻¹)	Polyphenol oxidase (unit mg protein ⁻¹ min ⁻¹)	Soluble carbohydrates (mg.g ⁻¹ dw ⁻¹)	Anthocyanin (μmol g ⁻¹ fw)	Grain yield (g m ⁻²)	Oil percentage (%)	Oil yield (kg ha ⁻¹)
Irrigation										
I ₁	43.51 a	0.91 d	0.64 c	1.71 d	2.01 d	3.77 d	5.25 d	72.7 a	12.6 a	91.5 a
I ₂	40.01 b	1.02 c	0.71 c	3.07 c	2.92 c	4.05 c	5.54 c	63.8 b	12.3 a	78.4 b
I ₃	32.65 c	1.64 b	1.05 b	3.58 a	4.65 b	5.44 b	6.7 b	37.2 c	11.3 b	42.1 c
I ₄	28.62 d	2.84 a	1.26 a	3.23 b	5.99 a	5.99 a	7.1 a	25.9 d	10.5 c	27.3 d
Regulator										
Control	35.7 b	1.46 b	0.82 b	2.75 b	3.71 c	4.74 b	5.96 c	45.4 b	11.71 a	54.9 b
abscisic acid	33.75 b	1.69 a	0.95 a	2.99 a	4.02 a	5.1 a	6.17 b	51.5 a	11.7 a	61.7 a
salicylic acid	39.14 a	1.65 a	0.98 a	2.95 a	3.94 b	5.01 a	6.31 a	52.7 a	11.65 a	62.8 a

در هر ستون، میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن ندارند. I₁, I₂, I₃, I₄: به ترتیب آبیاری بعد از ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان

Different letters in the same column indicate significant difference at P ≤ 0.05 (Duncan multiple range test). I₁, I₂, I₃, I₄: irrigation after 70, 100, 130 and 160 mm evaporation, respectively.

غشاهای پروتئین ها و ماکرومولکول ها در مقابل خسارت های گونه های فعال اکسیژن محافظت می کنند و موجب مقاومت و پایداری گیاهان در برابر تنش های محیطی مانند خشکی می شوند (Ghassemi, Golezani *et al.*, 2018). بنابراین، ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاهان با تحمل تنش رابطه مستقیم دارد (Mittler, 2002). فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان مانند آسکوربات-پراکسیداز تحت تنش گزارش کردند. فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهان به طور معنی داری با کاهش دسترسی به آب، افزایش یافت و محلول پاشی هورمونی، فعالیت این آنزیم را افزایش داد؛ میان تیمارهای سالیسیلیک و آبسازیک اسید از این نظر

فعالیت آنزیم های کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز برگ های خرفه به طور معنی داری تحت تأثیر آبیاری و محلول پاشی هورمونی قرار گرفت (جدول ۲) و با افزایش تنش کم آبی، فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل-اکسیداز افزایش یافت. کاربرد سالیسیلیک و آبسازیک اسید به طور معنی داری فعالیت این آنزیم ها را افزایش داد (جدول ۳). تنش خشکی مانند سایر تنش های محیطی، موجب تجمع گونه های فعال اکسیژن در سلول می شود. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی کارآمد شامل آنزیم های آنتی اکسیدان هستند. آنزیم های آنتی اکسیدان از

گروه‌های فسفات فسفولپید، از ساختار پروتئین‌ها و غشاهای سلولی محافظت می‌کنند (Mundree *et al.*, 2002).

محتوای قند محلول بالاتر در گیاهان محلول‌پاشی شده با سالیسیلیک اسید، به دلیل دارا بودن محتوای کلروفیل بیشتر (جدول ۳) و در نتیجه فتوسنتز بالاتر است. Khodary (2004) عنوان نمود که سالیسیلیک اسید به علت حفظ مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و احتمالاً ساختار و فعالیت آنزیم روبیسکو، باعث افزایش مقدار قندها در شرایط تنش می‌شود. سالیسیلیک اسید از طریق کنترل تبادلات منبع به مخزن، سبب افزایش قندهای محلول می‌شود (Amin *et al.*, 2007). به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید از طریق فعال کردن سوخت و ساز قندهای محلول، موجب تشکیل ترکیبات جدید سلولی به عنوان مکانیسمی برای تحریک رشد گیاهان می‌شود. همچنین ممکن است از یک سو سیستم آنزیمی پلی‌ساکارید-هیدرولیز و از سوی دیگر سرعت تبدیل قندهای محلول به پلی‌ساکاریدها را برای حفظ قندهای محلول در شرایط تنش محدود کند (Khodary, 2004). افزایش قندهای محلول در گندم پس از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش و بدون تنش گزارش شده است (El-Tayeb & Ahmad, 2010).

Pattanagul (2011) گزارش نمود که کاربرد آبسیزیک اسید با کاهش محتوای نشاسته، موجب افزایش تجمع قندها می‌شود. تجمع قند بر اثر محلول‌پاشی با آبسیزیک اسید ممکن است تا حدی تنظیم اسمزی را افزایش دهد و از آنزیم‌ها و غشاهای سلولی در برابر اثرات یون‌های مخرب محافظت نماید (Farooq *et al.*, 2009). گزارش شده است که آبسیزیک اسید در متابولیسم و تنظیم انتقال قند محلول نیز نقش دارد (Pattanagul, 2011).

تنش کم‌آبی، تولید آنتوسیانین را افزایش داد به طوری که کمترین مقدار آن در شرایط بدون تنش مشاهده شد (جدول ۳). افزایش محتوای آنتوسیانین در شرایط تنش توسط Palliotti *et al.* (2011) نیز گزارش شده است. آنتوسیانین‌ها مهم‌ترین گروه از رنگیزه‌های محلول در

اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). بسیاری از پژوهشگران، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را به عنوان یک عامل کلیدی برای حفاظت گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی عنوان نموده‌اند (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2018). زیرا پراکسیداز، موجب حذف پراکسید هیدروژن در کلروپلاست می‌شود و از اثرات مخرب آن بر فتوسنتز و کلروپلاست جلوگیری می‌کند (Shen *et al.*, 1997). سالیسیلیک اسید یک مولکول پیام‌رسان مهم در شرایط تنش‌های محیطی است و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مستقیم یا غیرمستقیم توسط آن سازماندهی می‌شود. سالیسیلیک اسید موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود و از این طریق، صدمات اکسیداتیو در گیاه را کاهش می‌دهد (Senaratna *et al.*, 2000).

محتوای قند و آنتوسیانین

اثر آبیاری و محلول‌پاشی هورمونی بر محتوای قندهای محلول و آنتوسیانین معنی‌دار شد ولی اثر متقابل آبیاری × هورمون معنی‌دار نشد (جدول ۲). محتوای قندهای محلول و آنتوسیانین با افزایش شدت تنش، افزایش یافت و محلول‌پاشی هورمونی سبب افزایش معنی‌دار این صفات شد. بیشترین مقدار آنتوسیانین به تیمار سالیسیلیک اسید اختصاص داشت. از نظر آماری محتوای قندهای محلول برای تیمار سالیسیلیک اسید و آبسیزیک اسید مشابه بود (جدول ۳). Rechinger (1982) عنوان نمود که تحت شرایط نامساعد محیطی، قندهای محلول در تمام بافت‌های گیاهان تجمع می‌یابد که میزان تجمع آن‌ها در برگ‌ها بیش از سایر اندام‌ها است. تجمع قندهای محلول در گیاهان تحت تنش، با نقش آن‌ها در تنظیم اسمزی و حفظ آماس سلولی و همچنین با پایدار کردن غشاهای سلولی و پروتئین‌ها در ارتباط می‌باشد. قندهای محلول عمدتاً با دو روش به ایجاد تحمل در گیاهان تحت تنش کمک می‌کنند: ۱- به عنوان یک عامل اسمزی، با کاهش پتانسیل آب سلول، ضمن حفظ آماس سلولی، امکان جذب و نگهداری بیشتر آب را فراهم می‌کنند و ۲- با ایجاد لایه‌های حفاظتی اسمزی، به عنوان جانشینی برای آب عمل کرده و با دنباله‌های قطبی پپتیدها و

بسته یا بسته می‌شوند که این امر موجب کاهش جذب CO₂ می‌شود. از طرفی گیاه برای جذب آب، انرژی زیادی مصرف می‌کند و تحت تنش، تعداد برگ خود را کاهش می‌دهد که این امر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افت انتقال مواد به دانه‌ها منجر می‌شود (Belin *et al.*, 2010) که نتیجه آن، کاهش وزن هزار دانه، تعداد دانه و در نهایت محصول دانه (شکل ۸a) است. افت محصول دانه با افزایش فواصل آبیاری در گیاهان دارویی سیاه‌دانه (Rezapor *et al.*, 2011) و زیره سیاه (Laribi *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. Arfan *et al.* (2007) دریافتند که در تیمار ۰/۲۵ میلی-مولار سالیسیلیک اسید، افزایش محصول دانه با افزایش وزن صد دانه همراه بوده است. اثر مفید سالیسیلیک اسید بر وزن دانه ممکن است با انتقال بیشتر مواد پرورده به دانه‌ها در طی پر شدن مرتبط باشد. این یافته با نتایج Zhou *et al.* (1999) مرتبط است. آن‌ها گزارش نمودند که استفاده از سالیسیلیک اسید وزن هزار دانه ذرت را نسبت به تیمار شاهد، نه درصد افزایش داد. هورمون آسپیزیک اسید از طریق تسهیل نفوذ ریشه در خاک، نقش مهمی در تحمل کم‌آبی دارد (Hartung *et al.*, 1994) که در نهایت از طریق بهبود تنظیم اسمزی در گیاهان، باعث افزایش تولید مواد پرورده و محصول می‌شود (Hussain *et al.*, 2010). ارقام مقاوم به خشکی، سطح بالاتری از هورمون آسپیزیک اسید را دارا می‌باشند و می‌توان از طریق کاربرد این هورمون، ارقام حساس به خشکی را تا حدودی مقاوم کرد و تولید را افزایش داد (Cellier *et al.*, 1998).

درصد روغن دانه

درصد روغن دانه خرفه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت (جدول ۲) اما بین سطوح مختلف تیمار محلول‌پاشی از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت غیرمعنی‌دار بود. درصد روغن دانه خرفه با افزایش فواصل آبیاری تا تنش ملایم (I₂) کاهش معنی‌داری نداشت ولی تحت تنش متوسط (I₃) و شدید خشکی (I₄)، افت پیدا کرد (جدول ۳). میانگین درصد

گیاهان هستند که اثرات مفیدی به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و عامل ضد التهاب دارند. آنتوسیانین دارای برخی اثرات مثبت درمانی است که عمدتاً با فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن همراه است (Palliotti *et al.*, 2011). افزایش محتوای آنتوسیانین با تشدید تنش (جدول ۳)، حاکی از آن است که خرفه نسبت به افزایش تنش تحمل نشان می‌دهد.

استفاده از سالیسیلیک اسید در مسیر بیوسنتز آنتوسیانین اثر می‌گذارد (Chae *et al.*, 2003) و این رنگیزه را افزایش می‌دهد (جدول ۳). در زنجبیل نیز سالیسیلیک اسید باعث القای سنتز آنتوسیانین می‌شود (Ghasemzadeh & Jaafar, 2012). کاهوهای تیمار شده با آسپیزیک اسید، محتوای آنتوسیانین بالایی نسبت به گیاهان شاهد داشتند (Li *et al.*, 2010). کاربرد آسپیزیک اسید نیز سبب تحریک سنتز آنتوسیانین (جدول ۳) و فنل‌ها می‌شود و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در انگور را به دنبال دارد (Wojdyto *et al.*, 2007). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌طور قابل توجهی فعالیت PAL (فنیل-آلانین آمونیا لیاز)^۱ را بهبود می‌بخشد و سبب افزایش تولید آنتوسیانین می‌شود (Ghasemzadeh *et al.*, 2016). Hung & Kao (2004) نیز گزارش نمودند که آسپیزیک اسید، فعالیت PAL را به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز آنتوسیانین افزایش می‌دهد.

عملکرد دانه

ب بین سطوح آبیاری و محلول‌پاشی از نظر محصول دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه خرفه غیرمعنی‌دار بود. تحت تنش کم‌آبی ملایم (I₂)، متوسط (I₃) و شدید (I₄)، محصول دانه به ترتیب ۱۲/۲، ۴۸/۸ و ۶۴/۳ درصد کمتر از آبیاری مطلوب (I₁) بود (جدول ۳). محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بیشترین محصول دانه را تولید کرد که نسبت به شاهد، ۱۶/۱ درصد افزایش را داشت. بین سطوح محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و آسپیزیک اسید تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد (جدول ۳). در شرایط کم‌آبی، روزه‌های گیاه نیمه

¹ phenylalanine ammonia-lyase

سبب افزایش عملکرد روغن در واحد سطح شد. Shubhra *et al.* (2004) دریافتند که محصول دانه و روغن در همیشه بهار در شرایط تنش خشکی به شدت کاهش یافته است. به گزارش Yeganehpour *et al.* (2017) تنش خشکی به دلیل کاهش میزان آب خاک و فعال نمودن فرایندهای مختلف در گیاه که با مصرف انرژی همراه می‌باشد، بر صفات کیفی گشنیز اثر می‌گذارد و سبب کاهش عملکرد روغن این گیاه شده است. Fanaei *et al.* (2015) طی تحقیقی روی گلرنگ دریافتند که تنش خشکی عملکرد دانه و روغن این گیاه را کاهش می‌دهد زیرا همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این دو صفت وجود دارد. نتایج تحقیق Sibi *et al.* (2012) نیز بیانگر افزایش درصد روغن در دانه گلرنگ با مصرف اسید سالیسیلیک می‌باشد. این چنین به نظر می‌رسد که در گیاهانی که بذرشان با اسید سالیسیلیک پیش‌تیمار شده باشند، افزایش سطح برگ و استفاده بهینه از تابش‌های خورشیدی و افزایش سرعت فتوسنتز خالص ناشی از مصرف اسید سالیسیلیک (Ghassemi- *et al.*, 2018) باعث افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و شاخص برداشت دانه و روغن در این گیاهان شده است.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، محلول‌پاشی سالیسیلیک و آبسیزیک اسید در رفع اثرات منفی تنش کم‌آبی نقش دارد و کاربرد آن به‌طور مؤثری موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیز عملکرد دانه خرفه شد. می‌توان اظهار داشت که خرفه گیاهی حساس به کم‌آبی است و افزایش فواصل آبیاری، رشد، عملکرد دانه و تولید روغن این گیاه دارویی را محدود ساخت. تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین سطوح محلول-پاشی سالیسیلیک و آبسیزیک وجود اسید نداشت؛ بنابراین محلول‌پاشی با این دو تنظیم‌کننده رشد، می‌تواند رشد، عملکرد دانه و تولید روغن خرفه را در شرایط آبیاری مطلوب و محدود بهبود بخشد.

روغن دانه خرفه در این بررسی ۱۰-۱۲ درصد بود (جدول ۳). تحت تنش خشکی، دوره پر شدن دانه کاهش می‌یابد و در نتیجه از مقدار انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه کاسته می‌شود. به دلیل همبستگی منفی که بین درصد روغن و پروتئین دانه وجود دارد، با افزایش درصد پروتئین دانه تحت شرایط کمبود آب، از میزان روغن دانه کاسته می‌شود. از آن‌جا که در شرایط تنش و به دلیل کاهش فتوسنتز خالص و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها از وزن دانه کاسته می‌شود و نسبت پروتئین دانه به روغن افزایش می‌یابد، در نتیجه درصد روغن دانه کاهش پیدا می‌کند (Fanaei *et al.*, 2015). کاهش درصد روغن دانه با تشدید کم‌آبی در گلرنگ (Fanaei *et al.*, 2015) و آفتابگردان (Alahdadi *et al.*, 2011) نیز گزارش شده است.

عملکرد روغن دانه

بین سطوح آبیاری و محلول‌پاشی از نظر عملکرد روغن در واحد سطح اختلاف معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی برای عملکرد روغن غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد روغن دانه خرفه (۹۱/۵ کیلوگرم در هکتار) از دانه گیاهان آبیاری شده با فواصل ۷۰ میلی‌متر تبخیر (I_۱) به‌دست آمد و با تشدید کم‌آبی، میانگین عملکرد روغن کاهش یافت، به‌طوری که تحت تیمار I_۴ به ۲۷/۳ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۳). بیشترین محصول روغن از تیمار محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید حاصل شد که نسبت به شاهد، ۱۴/۳ درصد افزایش نشان داد. بین سطوح محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و آبسیزیک اسید تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد (جدول ۳). محصول روغن دانه، تابعی از درصد روغن و عملکرد دانه می‌باشد. در این پژوهش، درصد روغن و عملکرد دانه، تحت تنش خشکی افت پیدا کردند و در نتیجه محصول روغن کاهش پیدا کرد. چون عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست می‌آید و به دلیل این‌که کاربرد سالیسیلیک و آبسیزیک اسید موجب افزایش محصول دانه شده بود (جدول ۳)، بنابراین محلول‌پاشی با سالیسیلیک و آبسیزیک اسید

REFERENCES

1. Abaspor, H. & Rezaei, H. (2014). Effects of salicylic acid and jasmonic acid on hill reaction and photosynthetic pigment (*Dracocephalum moldavica* L.) in different levels of drought stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2, 2850-2859.
2. Alahdadi, I., Oraki, H. & Parhizkar-Khajani, F. (2011). Effect of water stress on yield and yield components of sunflower hybrids. *African Journal of Biotechnology*, 10(34), 6504-6509.
3. Amin, A. A., Rashad, M. & El-Abagy, H. M. H. (2007). Physiological effect of indole-3-butyric acid and salicylic acid on growth, yield and chemical constituents of onion plants. *Journal of Applied Science Research*, 3, 1554-1563.
4. AOAC. (1990). Fatty acids in oil and fats. In: Helrich K. (Ed), *Official methods of analysis*. 15th edition, (pp. 963-964.) USA.
5. Arfan, M. H., Athar, R. & Ashraf, M. (2007). Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal of Plant Physiology*, 6, 685-694.
6. Azarakhshi, M., Farzadmehr, L., Eslah, M. & Sahabi, H. (2013). An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66, 1-16. (In Persian)
7. Barbosa-Filho, J. M., Alencar, A. A., Nunes-Tomaz, A. C., Sena-Filho, J. G. & Athayde-Filho, P.F. (2008). Sources of alpha, beta, gamma, delta and epsilon carotenoids: A twentieth century review. *Revista Brasileira Farmacognosia*, 18, 135-154.
8. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
9. Belin, C., Thomine, S. & Schroeder, J. I. (2010). Water balance and the regulation of stomatal movements. In: Pareek A., Sopory S.K., Bohnert H.J. and Govindjee (Ed). *Abiotic stress adaptation in plants*. (pp. 283-305.) Springer, Dordrecht, Netherlands.
10. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Biochemistry*, 72, 248-254.
11. Cellier, F., Conejero, G., Breitler, J. C. & Casse, F. (1998). Molecular and physiological responses to water deficit in drought sensitive lines of sunflower. *Plant Physiology*, 116, 319-328.
12. Chae, H. S., Faure, F. & Kieber, J. J. (2003). The *eto1*, *eto2*, and *eto3* mutations and cytokinin treatment increase ethylene biosynthesis in arabidopsis by increasing the stability of ACS protein. *Plant and Cell*, 15, 545-559.
13. Chan, K., Islam, M. W., Kamil, M., Radhakrishna, R., Zakaria M. N. & Habibullah, M. (2000). The analgesic and anti-inflammatory effects of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 73, 445-451.
14. Chance, B. & Maechly, A. C. (1995). Assay of catalases and peroxidase. *Methods in enzyme*, 2, 764-775.
15. El-Lateef-Gharib, F. (2006). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(4), 485-492.
16. El-Tayeb, M. A. & Ahmed, N. L. (2010). Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 3, 1-7.
17. Fanaei, H., Keikha, H. & Piri, I. (2015). Effect of seed priming on grain and oil yield of safflower under water deficit conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 2(2), 49-59. (In Persian)
18. Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Ahmad, N. & Saleem, B. A. (2009). Improving the salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 237-246.
19. Ghasemzadeh, A. & Jaafar, H. Z. (2012). Effect of salicylic acid application on biochemical changes in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Journal of Medicinal Plant Research*, 6, 790-795.
20. Ghasemzadeh, A., Talei, D., Jaafar, H. Z. E., Juraimi, A. S., Muda-Mohamed, M. T., Puteh, A. & Halim, M. R. A. (2016). Plant-growth regulators alter phytochemical constituents and pharmaceutical quality in Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16, 152-166.
21. Ghassemi-Golezani, K., Ghassemi, S. & Zehtab-Salmasi, S. (2018). Changes in essential oil-content and composition of ajowan (*Carum copticum* L.) seeds in response to growth regulators under water stress. *Scientia Horticulturae*, 231, 219-226.

22. Hafeez, B., Khanif, Y. M. & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition - a review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3, 374-391.
23. Hartung, W., Zhang, J. & Davies, W. J. (1994). Does abscisic acid play a stress physiological role in maize plants growing in heavily compacted soil? *Journal of Experimental Botany*, 45, 221-226.
24. Hung, K. T. & Kao, C. H. (2004). Hydrogen peroxide is necessary for abscisic acid induced senescence of rice leaves. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1347-1357.
25. Hussain, S., Saleem, M. F., Ashraf, M. Y., Cheema, M. A. & Haq, M. A. (2010). Abscisic acid, a stress hormone helps in improving water relations and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids under drought. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 2177-2189.
26. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105.
27. Kang, D. J., Seo, Y. J., Ishii, R., Kim, K. U., Shin, D. H., Park, S. K., Jang, S. W. & Lee, I. J. (2005). Jasmonic acid differentially affects growth, ion uptake and abscisic acid concentration in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 273-282.
28. Kar, M. & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57, 315-319.
29. Karimi, G., Ziaee, T. & Nazari, A. (2008). Effect of *Portulaca oleraceae* L. extracts on the morphine dependence in mice. *Iranian Journal of Basic Medical Science*, 10, 229-232.
30. Khodary, S. E. A. (2004). Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6: 5-8.
31. Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Hellebust JA, Craigie JS, (Ed) *Handbook of Phycological Methods*, Physiological and Biochemical Methods, pp.95-97.
32. Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. & Mazrouk, B. (2009). Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Industrial Crops and Products*, 30, 372-379.
33. Li, Z., Zhao, X., Sandhu, A. K. & Gu, L. (2010). Effects of exogenous abscisic acid on yield, antioxidant capacities, and phytochemical contents of greenhouse grown lettuces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6503-6509.
34. Lisar, S. Y. S., Motafakkerzad, R., Hossain, M. M. & Rahman, I. M. M. (2012). Water Stress in Plants: causes, effects and responses. In: Rahman I.M.M. (Ed). *Water Stress*. (pp. 1-14.) In Tech Publications.
35. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C. & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll content in three Chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4, 580-585.
36. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 7, 405-415.
37. Mundree, S. G., Baker, B., Mowla, S. H., Peters, S., Marais, S., Willigen, C. V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J. M. & Thomson, J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology*, 1, 28-38.
38. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in Spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867-280.
39. Nematollahi, E., Jafari, A. & Bagheri, A. (2012). Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, 5, 37-51. (In Persian)
40. Nourzad, S., Ahmadian, A., Moghaddam, M. & Daneshfar, E. (2014). Effect of drought stress on yield, yield components and essential oil in coriander (*Coriandrum sativum* L.) treated with organic and inorganic fertilizers. *Journal of Crops Improvement*, 2, 289-302. (In Persian)
41. Palliotti, A., Poni, S., Silvestroni, O., Tombesi, S. & Bernizzoni, F. (2011). Morpho-structural and physiological performance of *Sangiovese* and *Montepulciano* (*Vitis vinifera*) under non-limiting water supply conditions. *Functional Plant Biology*, 38, 888-898.
42. Pattanagul, W. (2011). Exogenous abscisic acid enhances sugar accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. *Asian Journal of Plant Science*, 10, 212-219.

43. Rahbarian, P. & Salehi Sardoei, A. (2014). Effects of drought stress and manure on herb yield and essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*). *2th Congress of Organic Agriculture*, Ardabil, pp.212-217.
44. Rahimi, Z. & Kafi, M. (2009). Effects of drought stress on germination characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 2(1), 87-91.
45. Rahmani, N., Valadabadi, S. A. R., Daneshian, J. & Bigdeli, M. (2008). The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24(1), 101-108. (In Persian)
46. Ramrodi, M. & Khamr, R. (2013). Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation intervals on some quantity and quality traits and osmoregulators in basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, 1(1), 19-31. (In Persian)
47. Rechinger, K. (1982). *Flora Iranica*. N150, Academic Druk. U Verlag Sustalt Gratz, pp. 439.
48. Rezapour, A. R., Heidari, M. R., Galavi, M. & Ramrod, M. (2011). Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa*. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 3(53), 384-396. (In Persian)
49. Rinaldi, R., Amodio, M. L. & Colelli, G. (2010). Effect of temperature and exogenous ethylene on the physiological and quality traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 147-156.
50. Seki, M., Umezawa, T., Urano, K. & Shinozaki, K. (2007). Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 296-302.
51. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plant. *Plant Growth Regulation*, 30, 157-161.
52. Setayesh-mehr, Z. & Ganjali, A. (2013). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Anethum graveolens* L. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 27(1), 27-35.
53. Shen, B., Jensen R. G. & Bohnert, H.J. (1997). Mannitol protects against oxidation by hydroxyl radicals. *Plant Physiology*, 115, 527-532.
54. Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C. L. & Munjal, R. (2004). Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. *Biologia Plantarum*, 48(3), 445-448.
55. Sibi, M., Mirzakhani, M. & Gomarian, M. (2012). Response of physiological characteristics to water stress, application of salicylic acid and zeolite in Safflower. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(4), 151-156.
56. Singh, B. & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedling under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39, 137-14.
57. Tari, I., Csiszar, J., Szalai, G., Horvath, F., Pecsvaradi, A., Kiss, G., Szepesi, A., Szabo, M. & Redei, L. (2002). Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pretreatment. *Acta Biomaterialia*, 46, 55-56.
58. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93.
59. Wang, X., Cai, X., Xu, C., Wang, Q. & Dai, S. (2016). Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 1-30.
60. Wojdylo, A., Oszmianski, J. & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105: 940-949.
61. Yeganehpour, F., Zehtab Salmasi, S., Shafagh Kolvanagh, J., Ghassemi Golezani, K. & Dastborhan, S. (2017). Effect of some morphological traits and oil content of coriander seeds in response to bio-fertilizer and salicylic acid under water stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 10(1), 140-149.
62. Zhou, X. M., Mackenzie, A. F., Madramootoo, C. A. & Smith, D. L. (1999). Effects of stem-injected plant growth regulator, with or without sucrose, on grain production, biomass and photosynthetic activity of field-grown corn plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183, 103-110.