Archive of SID

مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۶، شماره ۴، صفحه ۶۹۰-۶۷۰ (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2020.127831.2641
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1399.36.670.102.4.1578.1610

# تغییرات صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد آلکالوئیدهای پروانش (*Catharanthus roseus* L. (G. Don)) در پاسخ به تنظیم‌کننده‌های رشد تحت تنش خشکی

مرضیه عباباف[۱]، حشمت امیدی[۲*] و عبدالمهدی بخشنده[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، پست الکترونیک: omidi@shahed.ac.ir

۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رامین، ملاثانی، خوزستان، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۸ تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۹

## چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر پارامترهای رشد، عملکرد، برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و آلکالوئیدهای گیاه پروانش (*Catharanthus roseus*) تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزارع تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۴۰٪ (شاهد)، ۶۰٪ و ۸۰٪ حداکثر حد مجاز تخلیه رطوبتی خاک و محلول‌پاشی اسید جاسمونیک (JA) در دو سطح (صفر و ۱۰ میکرومولار) و اسید سالیسیلیک (SA) در چهار سطح (صفر، ۰/۱، ۱ و ۱۰ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل‌های فرعی بود. براساس نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی، تنش خشکی ۸۰٪ موجب کاهش ۳۶/۶ درصدی وزن تر و ۲۵/۴ درصدی وزن خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. تیمار ۱۰ میلی‌مولار SA موجب افزایش ۱۳/۴، ۱۲۵/۵ و ۵۹/۶ درصدی به‌ترتیب در صفات ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک گل نسبت به شاهد (صفر) گردید. کاربرد JA موجب افزایش ۱۶/۳ و ۸/۶ درصدی به‌ترتیب در وزن خشک گل و وزن تر گیاه شد. نتایج نشان داد بیشترین وین‌کریستین و وین‌بلاستین به‌ترتیب با کاربرد ۱ و ۱۰ میلی‌مولار SA بدست آمد. اثر متقابل کاربرد هر دو تنظیم‌کننده رشد گیاهی و تنش خشکی، بیشترین محتوای آلکالوئیدها را نشان داد. بیشترین وین‌بلاستین و وین‌کریستین، تحت تنش شدید خشکی، به‌ترتیب همراه با محلول‌پاشی ۱mM SA +۱۰µM JA و ۱۰mM SA +۱۰µM JA حاصل شد.

**واژه‌های کلیدی:** آلکالوئیدها، اسید جاسمونیک، اسید سالیسیلیک، گیاه دارویی.

www.SID.ir

Archive of SID


## مقدمه

پروانش (*Catharanthus roseus* L. (G. Don)) گیاهی درختچه‌ای دائمی، دولپه‌ای، خودگشن و جزء گیاهان زینتی- دارویی از خانواده خرزهره (Apocynaceae) است که در مناطق سرد به‌صورت یک‌ساله کشت می‌شود (Aslam *et al*., 2010) و در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌صورت چندساله و همیشه سبز رشد می‌کند (Nejat *et al*., 2015). پروانش بیش از ۱۳۰ آلکالوئید از نوع ترپنوئید ایندول آلکالوئید (TIA) را تولید می‌نماید که ازجمله مهمترین مواد مؤثره آن می‌توان به ترکیب‌های وین‌کریستین (Vincristine) و وین‌بلاستین (Vinblastine) اشاره کرد (Nejat *et al*., 2015). وین‌کریستین و وین‌بلاستین قدرتمندترین داروهای ضدسرطان هستند که در واکوئل‌های سلول‌های ساقه و برگ گیاه پروانش تجمع می‌یابند. سنتز این ترکیب‌ها اغلب کم (کمتر از ۱٪ وزن خشک) است و کاملاً به مرحله فیزیولوژیکی و نمو گیاه بستگی دارد (Rao & Ravishankar, 2002). وجود مواد مؤثره بسیار کم در پروانش، یکی از محدودیت‌های کشت آن در مقیاس وسیع است. استفاده از الیسیتورها یکی از مهمترین روش‌ها برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه است. ترکیب‌های PGR (Plant Growth Regulators) از انواع الیسیتورها هستند که تولید متابولیت‌های ثانویه TIA را در گیاه *C. roseus* تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zhao & Verpoorte, 2007) و به‌عنوان یکی از ابزارهای بسیار قوی موجب کاهش پایداری اثرهای مضر تنش‌های محیطی در گیاهان می‌شوند (Ali *et al*., 2015). اثر ترکیب‌های تنظیم‌کننده رشد بر بیوسنتز آلکالوئیدهای ایندول ترپنوئیدی در کوتاه‌مدت در طول دوره گلدهی بر پروانش نشان داد که در مقایسه با تیمارهای کاربرد PGR به‌صورت تنها، تیمارهای ترکیبی تجمع آلکالوئیدها را به‌طور مؤثرتری افزایش می‌دهند (El-Sayed & Verpoorte, 2004).

اسید سالیسیلیک (SA) یک ترکیب فنولی دخیل در تنظیم رشد و نمو گیاهان است (Miura & Tada, 2014) و مانند یک واسطه‌گر، فرایندهای متابولیکی مهم گیاه را کنترل می‌کند (Khan *et al*., 2015). گزارش‌های بسیاری وجود دارد که بیان می‌کند SA به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در القای سنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان نقش دارد (Idrees *et al*., 2013). همچنین در القای ژن‌های مربوط به دفاع و مقاومت به تنش، در گیاهانی که تحت تنش هستند نقش دارد، در نتیجه حفاظت گیاهان را در مقابل تنش‌های زنده فراهم می‌کند (Kumar *et al*., 2012).

اسید جاسمونیک (JA) نیز یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد درونی یا بازدارنده‌های رشد گیاه است که نقش کلیدی در رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های محیطی ایفاء می‌کند (Avanci *et al*., 2010). اگرچه برخی از هورمون‌های گیاهی (مانند اکسین و سیتوکینین) در رشد گیاه نقش دارند، JA در تنظیم هر دو پاسخ‌های رشدی و دفاعی در شرایط تنش نقش منحصر به‌فردی دارد. جاسمونات‌ها به‌عنوان ترکیب‌های پیام‌رسان کلیدی معرفی شده‌اند که تجمع متابولیت‌های ثانویه را باعث می‌شوند (Yu *et al*., 2006). این مولکول‌ها منجر به القای فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرایند واکنش‌های بیوسنتزی مربوط به متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (Montiel *et al*., 2011).

خشکی یکی از مهمترین محدودیت‌های محیطی است که بر طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های فیزیولوژیکی، مولکولی و سلولی تمام اندام‌های گیاه تأثیر می‌گذارد (Zhang *et al*., 2015). به‌طوری که قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی منجر به بروز انواع اختلالات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جدی می‌شود (Rahbarian *et al*., 2011). خشکی همچنین تأثیر منفی بر رشد و تولید گیاهان دارد و موجب کاهش شدید در عملکرد اقتصادی گیاهان می‌شود (Chai *et al*., 2016). اثرهای تنش خشکی با توجه به درجه و مدت زمان تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Idrees *et al*., 2011). البته توانایی تحمل تنش خشکی در گونه‌های گیاهی مختلف زمانی که در شرایط تنش قرار می‌گیرند، متفاوت است (Wilson & Roberts, 2014). برای کنترل تنش خشکی و مدیریت بهتر آب و آبیاری و همچنین ثبات تولید برای اطمینان از امنیت غذایی آینده، از روش‌های مختلف مدیریتی استفاده می‌شود. یکی از راهبردهای استفاده

www.SID.ir

Archive of SID


بهتر از آب برای افزایش قابلیت عملکرد در هنگام کاهش مصرف آب، توسعه گیاهانی است که نیاز به حجم کمتر آب و تحمل بیشتر به خشکی دارند (Kang *et al*., 2017). پروانش یک گیاه مقاوم به تنش‌های خشکی، شوری و گرما است و می‌تواند در مناطقی که هر گیاه دیگر به‌طور معمول از بین می‌رود، رشد کند. در این شرایط، گیاه به آب و مواد غذایی کمتری احتیاج دارد (Pandey, 2017). نتایج تحقیقات نشان داده که پروانش به‌عنوان یک گیاه دارویی، قابلیت تولید آنتی‌اکسیدانی خوبی در تمام اندام‌های خود در شرایط تنش خشکی دارد، بنابراین پروانش می‌تواند انتخاب مناسبی برای کشت تحت تنش خشکی باشد (Jaleel *et al*., 2007). ازاین‌رو از کمبود آب در مناطق می‌توان به‌عنوان قابلیت خوبی برای کشت گیاهان دارویی مانند پروانش استفاده کرد و تولید اقتصادی آلکالوئید را در گیاه افزایش داد (Jaleel *et al*., 2008).

اگرچه تاکنون مطالعات بسیاری در مورد تنش خشکی انجام شده، اما اثرهای آن بر گیاهان دارویی به‌خوبی مشخص نشده است؛ بنابراین به‌منظور درک بیشتر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارویی تحت تنش خشکی، به مطالعه بیشتر در این زمینه نیاز است. همچنین بررسی تغییرات مورفوفیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و آلکالوئیدهای گیاه پروانش، در پاسخ به PGRs تحت تنش خشکی، ضروری به‌نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بدست آوردن مواد گیاهی با مقدار آلکالوئیدهای بیشتر و با کیفیت بالاتر انجام شد.

## مواد و روش‌ها

**موقعیت مزرعه:** این پژوهش در زمین‌های تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی، واقع در بخش جلگه‌ای خوزستان با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا انجام شد.

**آماده‌سازی زمین کشت:** بعد از شخم و تسطیح، کرت‌ها در ابعاد ۳×۳ مترمربع با رعایت حاشیه و فاصله بین بلوک‌ها دو متر منظور شد. کشت در هر کرت با رعایت حاشیه ۵۰ سانتی‌متر از هر طرف، فاصله بین ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها بین گیاهان ۲۰ سانتی‌متر، برای بدست آوردن بیشترین عملکرد شاخساره در نظر گرفته شد (Nejat *et al*., 2015).

نمونه‌برداری مرکب از خاک محل کشت، قبل از انجام عملیات آماده‌سازی زمین از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد و مطابق با نتایج آنالیز خاک (جدول ۱)، عناصر غذایی مورد نیاز به‌صورت کود پایه (فسفر) و سرک (اوره) به زمین داده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

| منطقه آزمایش | بافت | رس (٪) | سیلت (٪) | شن (٪) | نیتروژن (٪) | فسفر ($mg\ kg^{-1}$) | پتاس ($mg\ kg^{-1}$) | مواد آلی (٪) | pH | EC ($dS\ m^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اهواز | سیلتی لومی | ۳۳/۷ | ۴۴/۴ | ۲۲/۱ | ۰/۰۴۳ | ۵/۹ | ۲۲۸ | ۰/۲۹ | ۷/۵ | ۸/۵۹ |

منبع: آزمایشگاه آب‌وخاک مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر

**مواد گیاهی و طرح آزمایشی:** آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار انجام شد. تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۴۰٪ (شاهد)، ۶۰٪ (تنش ملایم) و ۸۰٪ (تنش شدید) حداکثر حد مجاز تخلیه رطوبتی خاک (MAD) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی SA در چهار سطح (صفر، ۰/۱، ۱ و ۱۰ میلی‌مولار) (Drazic & Mihailovic, 2005) و JA در دو

www.SID.ir

Archive of SID


سطح (شاهد و ۱۰ میکرومولار) (El-Sayed & Verpoorte, 2004) به‌عنوان فاکتورهای فرعی در کرت‌های فرعی اعمال شدند.

**تنش خشکی**: پس از استقرار گیاهان، نمونه‌برداری از خاک برای تعیین نمودار قابلیت رطوبتی خاک انجام شد. با فرض مکش اتمسفر برای حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)، رطوبت حاصل از رابطه ۱ به‌ترتیب نشان‌دهنده رطوبت نمونه خاک در نقطه FC و PWP است.

رطوبت زراعی و پژمردگی دائم از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2010).

رابطه ۱ $\theta m = W_{FC,\ PWP} = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}}$ = رطوبت وزنی در FC, PWP = (وزن خاک تر − وزن خاک خشک) / وزن خاک خشک

پس از محاسبه رطوبت نمونه خاک در نقطه FC و PWP و جرم مخصوص ظاهری خاک (نسبت جرم بخش جامد یا خاک آون‌خشک به حجم کل خاک)، رطوبت حجمی در نقاط FC و PWP محاسبه شد (رابطه ۲) (Alizadeh, 2010).

رابطه ۲ $\theta_v = \frac{V_w}{V_t} = \theta_m \times \frac{\rho_b}{\rho_w}$ = نسبت رطوبت حجمی

ρw: چگالی یا جرم مخصوص آب (۱ $g\ cm^{-3}$)، ρb: جرم مخصوص ظاهری خاک، Vw: حجم آب موجود در خاک، Vt: حجم کل خاک

زمان و مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری (سطوح تنش خشکی: شاهد (۴۰٪ MAD)، تنش ملایم (۶۰٪ MAD) و تنش شدید (۸۰٪ MAD)) طبق روابط زیر محاسبه شد. زمانی که میانگین حجمی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به $\theta MAD = \alpha (1 \pm 0.05)$ رابطه ۳ می‌رسید، آبیاری انجام می‌شد (Gheysari *et al*., 2015).

رابطه ۳ $\theta MAD{=}\alpha = \theta v_{FC} - (\theta v_{FC} - \theta v_{PWP}) \times \alpha$

رابطه ۴ $D_{ir}\ (MAD{=}\alpha) = (\theta v_{FC} - \theta_i)\ D_i$

رابطه ۵

مقدار آب مورد نیاز محاسبه‌شده برای آبیاری در هر سطح تنش × مساحت کرت = مقدار آب آبیاری

$\theta_{MAD=\alpha}$: نسبت حجمی رطوبت در هر تیمار خشکی، $\theta v_{FC}$: رطوبت حجمی خاک در FC، $\theta v_{PWP}$: رطوبت حجمی خاک در PWP، α: تیمارهای آبیاری به‌ترتیب برابر ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪، $D_i$: عمق توسعه ریشه، $\theta_i$: رطوبت اندازه‌گیری شده عمق لایه i ام خاک (سانتی‌متر)

عمق آب آبیاری از رابطه ۴ محاسبه شد (Gheysari *et al*., 2015). در این رابطه، $D_{ir}$ (MAD=α) برابر با عمق آب آبیاری در تیمارهای تنش خشکی برای مقدار ضریب تخلیه مجاز رطوبتی تعریف شده است.

گیاهان تا قبل از اعمال تنش خشکی در تمام کرت‌ها به‌طور یکسان تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند.

www.SID.ir

Archive of SID


محلول‌پاشی SA از ابتدای گلدهی (El-Sayed & Verpoorte, 2004) و محلول‌پاشی JA از ۵۰٪ گلدهی (Pan *et al*., 2010) آغاز شد و تا چهار مرحله بعد از آن (هر هفته یک‌بار) ادامه یافت (Mokhaberi *et al*., 2013). اعمال تنش خشکی از بعد از اولین محلول‌پاشی SA (Jaleel *et al*., 2008) آغاز شد و تا زمان برداشت ادامه یافت.

**صفات مورد مطالعه:** در پایان دوره رشد (۱۸۰ روز پس از کشت) ارتفاع بوته اندازه‌گیری شد. همچنین در این زمان تعداد کل برگ، ساقه، گل و غلاف در بوته شمارش و بعد وزن تر کل و به‌تفکیک وزن تر اجزای گیاه در تمامی تکرارهای هر تیمار با ترازو لندازه‌گیری شدند. گیاهان به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از آون خشک شدند و وزن خشک گیاهان پس از آن ثبت شد. سطح برگ نیز با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (AM200, Bioscientific Co) اندازه‌گیری شد (Shabbir *et al*., 2017).

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد آلکالوئیدها، برگ گیاهان ۲۴ ساعت پس از آخرین مرحله محلول‌پاشی JA، جمع‌آوری شد و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و بعد به کمک آسیاب پودر گردید (Rady, 2019). برای انجام آنالیز کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) از روش Uniyal و همکاران (۲۰۰۱) استفاده شد و میزان آلکالوئیدها لندازه‌گیری شدند. دستگاه HPLC مورد استفاده (Knauer ساخت کشور آلمان) مجهز به پمپ HPLC مدل k-1001 به‌همراه شیر تزریق Rheodyne مدل (I) 7725 با لوپ‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر و آشکارساز PDA مدل K-2800 با حجم سل ۱۰ میکرولیتر و نرم‌افزار EZ Chrom Elite بود. برای جداسازی وین‌بلاستین و وین‌کریستین از ستون مخصوص (C18×4.6mm×5µ, phenomenex) استفاده شد. بهترین جداسازی با روش Naaranlahti و همکاران (۱۹۸۷) بدست آمد. فاز متحرک شامل ۲۹٪ متانول و ۷۱٪ استونیتریل و بافر آمونیوم استات شامل تری‌اتیل آمین با سرعت یک میلی‌لیتر در دقیقه بود. کلیه آزمایش‌ها در طول‌موج ۲۸۰ نانومتر انجام شد و در نهایت غلظت هر ماده براساس سطح زیر منحنی پیک خروجی و مقایسه با پیک استاندارد مشخص گردید.

### تجزیه‌وتحلیل آماری

در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS v. 9.1 تجزیه‌وتحلیل شد. سپس مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

## نتایج

### خصوصیات ساقه (وزن تر، خشک و تعداد ساقه‌های فرعی)

از بین تیمارهای بکاررفته، فقط اثر اصلی تنش خشکی و کاربرد SA بر خصوصیات ساقه (وزن تر، خشک و تعداد ساقه‌های فرعی) معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که تنش خشکی در وزن تر، خشک و تعداد ساقه گیاه پروانش به‌ترتیب موجب کاهش ۲۰/۴، ۲۳/۲ و ۲۰/۹ درصدی نسبت به شاهد شد. کاربرد SA موجب افزایش معنی‌دار صفات مذکور شد. افزایش غلظت SA اثر مثبتی بر خصوصیات ساقه داشت. در بین تیمارهای SA، ۱ میلی‌مولار بیشترین وزن تر و تعداد ساقه و ۱۰ میلی‌مولار بیشترین وزن خشک ساقه را نشان داد.

### خصوصیات برگ (وزن تر، خشک، تعداد و سطح برگ)

از بین اثرهای اصلی تیمارهای بکاررفته، فقط اثر تنش خشکی بر تمام صفات برگ و SA بر تمام صفات برگ بجز وزن خشک در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد تنش خشکی موجب کاهش تمام صفات مربوط به برگ شد (جدول ۳). محلول‌پاشی SA موجب بهبود صفات برگی شد. به‌طوری که با افزایش

www.SID.ir

Archive of SID


غلظت، اغلب صفات مربوط به برگ بهبود یافت. اگرچه بین تیمارهای ۱ و ۱۰ میلی‌مولار SA اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

از بین اثرهای متقابل، فقط اثر متقابل دوگانه تنش خشکی×SA و SA×JA بر سطح برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). اثر متقابل خشکی×SA بیشترین سطح برگ را با کاربرد ۱۰ میلی‌مولار SA در شرایط عدم تنش نشان داد، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین دیگر غلظت‌های کاربردی SA دیده نشد. در شرایط تنش نیز کاربرد SA موجب افزایش سطح برگ شد. اثر متقابل SA×JA، بیشترین سطح برگ (۲۵۸۰۳ سانتی‌متر مربع در بوته) را با کاربرد ۱۰ میلی‌مولار SA بدون JA نشان داد. در غلظت‌های بالای SA (۱ و ۱۰ میلی‌مولار)، عدم کاربرد JA و در غلظت پایین SA (۰/۱ میلی‌مولار) استفاده از JA نتایج بهتری را نشان داد. به‌طوری که در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار SA، سطح برگ با کاربرد و بدون کاربردJA به‌ترتیب ۱۳۶۹۷ و ۱۲۶۴۲ سانتی‌متر مربع در بوته بدست آمد.

## ارتفاع گیاه

در این پژوهش فقط اثرهای اصلی تنش خشکی و محلول‌پاشی SA بر ارتفاع گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاه شد. کمترین ارتفاع (۷۸/۱۶ سانتی‌متر) در تیمار تنش شدید خشکی (MAD ۸۰٪) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۸/۵٪ کاهش داشت. محلول‌پاشی SA بر ارتفاع گیاه پروانش افزایش معنی‌داری نشان داد. بیشترین ارتفاع ۸۶/۰۹ و ۸۴/۸۷ سانتی‌متر، به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰ و ۱ میلی‌مولار SA مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۳/۴ و ۷/۶ درصد افزایش داشت (جدول ۳).

## خصوصیات گل (وزن تر و خشک گل)

نتایج این پژوهش نشان داد تنش خشکی و SA بر وزن تر و خشک گل و JA فقط بر وزن خشک گل معنی‌دار بودند. اثرهای متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورها تنها بر وزن خشک گل معنی‌دار شدند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک گل پروانش شد. محلول‌پاشی JA، وزن خشک گل را نسبت به شاهد ۱۶٪ افزایش داد. همچنین SA موجب افزایش وزن تر و خشک گل شد، اگرچه تیمارهای مختلف SA اختلاف معنی‌داری بر وزن تر گل نداشتند. بیشترین وزن تر و خشک (به‌ترتیب ۱۷/۱ و ۴/۳ گرم در بوته) در تیمار ۱۰mM SA بدست آمد که ۴۱/۲ و ۵۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود (جدول ۳). اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها، بر وزن خشک گل نشان داد که بیشترین وزن خشک گل (۸/۹ گرم در بوته) در تیمار بدون تنش+ ۱۰mM SA+JA بدست آمد. همچنین در شرایط بدون تنش کاربرد JA در تمام سطوح SA موجب بهبود وزن خشک گل شد (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر صفات مورفوفیزیولوژیکی پروانش (***Catharanthus roseus***)

| منابع تغییر (**S.O.V**) | درجه آزادی | میانگین مربعات (**MS**) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن تر ساقه | وزن خشک ساقه | تعداد ساقه‌ها | تعداد برگ | وزن تر برگ | وزن خشک برگ | سطح برگ |
| تکرار (**R**) | ۲ | ۲۵۶/۷۳ns | ۳۹/۳۷* | ۸۶/۰۴** | ۲۵۰۸۵/۸۵** | ۷۱/۷۶ns | ۷/۶۴ns | ۵۴۸۲۶۹۷ns |
| خشکی (**D**) | ۲ | ۱۳۹۴/۲۲** | ۸۳/۱۸** | ۱۷/۳۶* | ۵۹۳۸۹/۶۸** | ۱۰۰۵/۹۶** | ۲۳/۸۲** | ۳۹۳۱۹۰۷۱۲** |
| **R×D** | ۴ | ۳۱/۷۸ | ۱۰/۴۳ | ۳/۳۴ | ۳۸۱۸/۶۴ | ۱۲/۲۱ | ۴/۷۳ | ۱۶۶۳۰۷۱۵ |
| اسید جاسمونیک (**JA**) | ۱ | ۴/۳۱ns | ۰/۴۱ns | ۰/۰۱ns | ۱۹۱۱/۶۸ns | ۵۱/۵۳ns | ۰/۶۷ns | ۲۸۱۲۹۵۸۷۶ns |
| اسید سالیسیلیک (**SA**) | ۳ | ۱۰۵۰/۴۴** | ۴۵/۶۲** | ۱۵/۸۸* | ۶۲۰۴۰/۱۳** | ۵۱۸/۴۴** | ۶/۱۲ns | ۳۳۸۲۴۰۵۱۶** |
| **D×JA** | ۲ | ۸۵/۵۷ns | ۰/۹۸ns | ۰/۷۹ns | ۴۳۹۶/۲۶ns | ۹۷/۷۴ns | ۴/۴۱ns | ۳۰۰۵۲۲۴ns |
| **D×SA** | ۶ | ۱۲۴/۷۵ns | ۶/۹۳ns | ۲/۳۳ns | ۳۸۵۵/۶۳ns | ۹/۷۶ns | ۱/۴ns | ۳۱۵۵۶۰۸۴** |
| **JA×SA** | ۳ | ۴۸/۷۸ns | ۵/۴۷ns | ۲/۸۴ns | ۱۱۷۷۷/۵۷ns | ۶۵/۴۹ns | ۲/۳۸ns | ۲۳۳۹۰۹۵۱۳** |
| **D×JA×SA** | ۶ | ۲۱۹/۶ns | ۹/۱۳ns | ۲/۲۱ns | ۱۱۷۳/۳۲ns | ۴۳/۲۸ns | ۱/۰۳ns | ۱۹۵۹۰۱۸۰ns |
| خطا (**Error**) | ۴۲ | ۹۵/۹۴ | ۱۰/۲۱ | ۴/۵۵ | ۴۶۵۴/۶۷ | ۵۹/۶ | ۴/۱۶ | ۱۳۱۸۳۳۲۳ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱۴/۹۳ | ۲۱/۴۲ | ۲۸/۵۱ | ۱۸/۸۴ | ۲۱/۷۷ | ۲۸/۶۹ | ۲۶/۲۸ |

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۲-

| منابع تغییر (S.O.V) | درجه آزادی | میانگین مربعات (MS) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع گیاه | وزن تر گل | وزن خشک گل | وزن تر کل گیاه | وزن خشک کل گیاه |
| تکرار (R) | ۲ | ۲۱۲/۵۷** | ۱۱۰/۷۹** | ۳/۳۳* | ۳۶/۶۵ns | ۶۹/۰۳* |
| خشکی (D) | ۲ | ۳۲۰/۱۱** | ۴۰۷/۱** | ۳۰/۵۵** | ۲۵۷۷۸/۸۴** | ۳۸۳** |
| R×D | ۴ | ۳۰/۲۳ | ۴۲/۱۷ | ۰/۴۱ | ۲۸۶/۵۸ | ۲۷/۱ |
| اسید جاسمونیک (JA) | ۱ | ۱/۳۹ns | ۱۹/۲۱ns | ۴/۷۲* | ۲۴۶۶/۳۶** | ۲۶/۲ns |
| اسید سالیسیلیک (SA) | ۳ | ۳۹۶/۱۳** | ۱۰۲/۲۳** | ۷/۷۷** | ۹۰۴۵/۶۳** | ۱۸۶/۸۵** |
| D×JA | ۲ | ۱۲/۳۶ns | ۴۱/۵۶ns | ۹/۲۸** | ۳۷۰۸/۶۱** | ۲۶/۴۵ns |
| D×SA | ۶ | ۱۵/۷۶ns | ۳۷/۱۵ns | ۳/۱۱** | ۶۰۱/۷۱ns | ۱۳/۶۱ns |
| JA×SA | ۳ | ۲۱/۹۵ns | ۵۰/۶۲ns | ۳/۳۴** | ۲۳۲/۸۸ns | ۲۸/۳۹ns |
| D×JA×SA | ۶ | ۱/۲۲ns | ۶/۷۱ns | ۲/۲۴** | ۱۰۰۸/۱۶** | ۲۳/۱۳ns |
| خطا (Error) | ۴۲ | ۲۱/۸ | ۱۸/۴۱ | ۰/۶۷ | ۲۷۷/۰۳ | ۱۵/۴۳ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۵/۷۱ | ۲۷/۲۹ | ۲۴/۳۵ | ۱۱/۶۸ | ۱۵/۶۸ |

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرهای تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه پروانش (***Catharanthus roseus***)

| صفات آزمایشی / تیمارها | وزن تر ساقه (گرم در بوته) | تعداد ساقه‌ها (تعداد در بوته) | وزن خشک ساقه (گرم در بوته) | وزن تر برگ (گرم در بوته) | وزن خشک برگ (گرم در بوته) | سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته) | تعداد برگ (تعداد در بوته) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی (حداکثر تخلیه مجاز رطوبت) | | | | | | | |
| ٪۴۰ | ۷۳/۷۵±۱۴/۶۱a | ۷/۱۳±۲/۶۷a | ۱۷/۰۱±۳/۳۶a | ۴۲/۱۷±۱۰/۵۱a | ۸/۱۷±۱/۹۹a | ۱۸۳۵۷/۵۹±۸۴۵۰/۹۶a | ۴۱۴/۳۲±۹۱/۰۹a |
| ٪۶۰ | ۶۴/۴±۱۱/۰۹b | ۵/۹۶±۳/۰۴ab | ۱۴/۳۱±۳/۸۵b | ۳۴/۹۵±۷/۲۶b | ۶/۹۸±۲/۱۷ab | ۱۲۴۹۵/۱۴±۵۷۲۹/۲۸ab | ۳۵۶/۳۵±۷۷/۲۱b |
| ٪۸۰ | ۵۸/۶۵±۱۰/۳۷c | ۵/۴۷±۱/۹۲b | ۱۳/۴۴±۲/۹۵b | ۲۹/۲۵±۷/۴c | ۶/۱۹±۱/۶b | ۱۰۵۹۱/۸۴±۴۸۶۴/۳۳b | ۳۱۵/۳±۹۲/۱۹b |
| اسید جاسمونیک (**JA**) (میکرومولار) | | | | | | | |
| ۰ | ۶۵/۳۵±۱۱/۵۹a | ۶/۱۷±۲/۵۲a | ۱۴/۸۴±۳/۳۴a | ۳۴/۶۱±۸/۴۷a | ۷/۲۱±۱/۷۴a | ۱۵۷۹۱/۴۴±۸۴۷۳/۶۷a | ۳۵۶/۸۱±۱۱۳/۶۹a |
| ۱۰ | ۶۵/۸۴±۱۵/۳۹a | ۶/۲±۲/۸a | ۱۴/۹۹±۴/۰۶a | ۳۶/۳±۱۱/۲۹a | ۷/۰۱±۲/۳۹a | ۱۱۸۳۸/۲۸±۵۱۶۵/۲۶a | ۳۶۷/۱۸±۷۳/۲۸a |
| اسید سالیسیلیک (**SA**) (میلی‌مولار) | | | | | | | |
| ۰ | ۶۰/۴۴±۱۱/۳۵b | ۵/۲۶±۱/۸۵b | ۱۳/۶±۳/۴۹b | ۳۰/۳۷±۷/۹۷b | ۶/۶۶±۲/۲۷a | ۸۲۶۰/۳۹±۱۳۹۱/۵۸b | ۲۸۴/۶۸±۷۸/۱۳c |
| ۰/۱ | ۵۸/۰۲±۱۱/۰۵b | ۵/۷±۱/۸۱b | ۱۳/۴۹±۳/۱۵b | ۳۱/۴±۸/۴۷b | ۶/۵۶±۱/۷۷a | ۱۳۱۶۹/۴۵±۵۹۷۲ab | ۳۴۹/۴۱±۸۰/۲۹b |
| ۱ | ۷۴/۱۹±۱۵/۹۵a | ۷/۴۲±۳/۲۲a | ۱۶/۱۱±۴/۱۶a | ۴۱/۱±۱۱/۲۴a | ۷/۵۴±۱/۸۱a | ۱۵۱۹۹/۳۷±۶۳۷۰/۹۱a | ۴۱۶/۴۱±۱۰۱/۲۶a |
| ۱۰ | ۶۹/۷۵±۸/۵۹a | ۶/۳۶±۳/۰۵ab | ۱۶/۴۷±۳/۰۸a | ۳۸/۹۶±۷/۷۶a | ۷/۶۹±۲/۳۲a | ۱۸۶۳۰/۲۳±۹۰۲۳/۶۶a | ۳۹۷/۴۶±۶۳/۳۴a |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

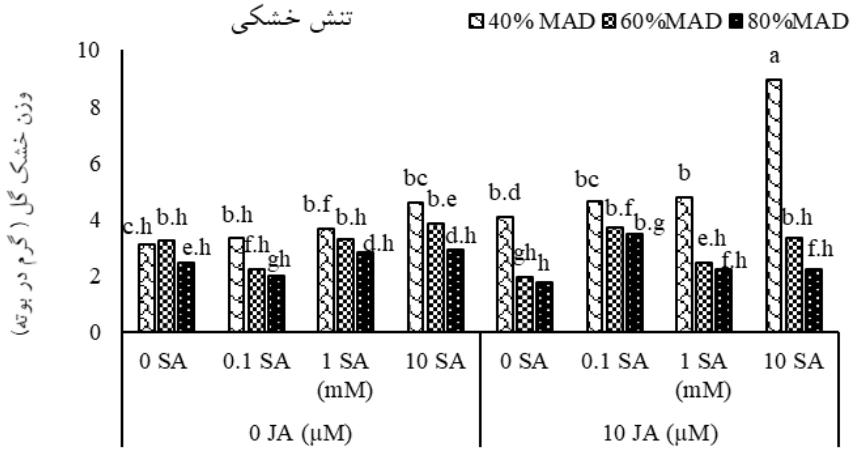
www.SID.ir

Archive of SID


**ادامه جدول ۳-**

| صفات آزمایشی / تیمارها | ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) | وزن تر گل (گرم در بوته) | وزن خشک گل (گرم در بوته) | وزن تر کل گیاه (گرم) | وزن خشک کل گیاه (گرم) |
|---|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی (حداکثر تخلیه مجاز رطوبت) | | | | | |
| ٪۴۰ | ۸۵/۴۵±۵/۶۸a | ۲۰/۱۶±۷/۵a | ۴/۶۴±۱/۸۵a | ۱۷۷/۳۸±۴۱/۲۴a | ۲۹/۵۷±۵/۴۷a |
| ٪۶۰ | ۸۱/۵±۵/۴۶ab | ۱۴/۹۹±۴/۰۷ab | ۳/۰۱±۱/۰۳b | ۱۳۷/۵۸±۲۳/۹۲b | ۲۳/۵۲±۴/۶۵b |
| ٪۸۰ | ۷۸/۱۶±۷/۸۵b | ۱۲/۰۲±۳/۶۸b | ۲/۴۷±۰/۹۹c | ۱۱۲/۳۸±۱۸/۵۹c | ۲۲/۰۳±۵/۳۴b |
| اسید جاسمونیک (JA) (میکرومولار) | | | | | |
| ۰ | ۸۱/۸۴±۶/۸۷a | ۱۶/۲۴±۴/۸۷a | ۳/۱۲±۰/۹۱b | ۱۳۶/۵۹±۲۹/۳۳b | ۲۴/۴۴±۵/۶۳a |
| ۱۰ | ۸۱/۵۷±۷/۲۳a | ۱۵/۲۱±۷/۴۷a | ۳/۶۳±۲/۰۹a | ۱۴۸/۳±۴۷/۵۸a | ۲۵/۶۴±۶/۴۸a |
| اسید سالیسیلیک (**SA**) (میلی‌مولار) | | | | | |
| ۰ | ۷۵/۹۱±۷/۳۱c | ۱۲/۱۶±۵/۰۴b | ۲/۷۷±۱/۰۲b | ۱۲۰/۲±۲۸/۴۵c | ۲۱/۴۷±۵/۲۱b |
| ۰/۱ | ۷۹/۹۴±۴/۵۴b | ۱۶/۷۶±۴/۷۷a | ۳/۲۲±۱/۳b | ۱۲۸/۰۶±۲۲/۲۱c | ۲۳/۲۵±۵/۵۶b |
| ۱ | ۸۴/۸۷±۵/۵a | ۱۶/۸±۶/۴۵a | ۳/۲±۱/۱b | ۱۵۲/۵۶±۳۴/۹۵b | ۲۷/۱۴±۴/۶۸a |
| ۱۰ | ۸۶/۰۹±۵/۵۵a | ۱۷/۱۷±۷/۵۵a | ۴/۳۱±۲/۳۸a | ۱۶۸/۹۷±۴۹/۵۵a | ۲۸/۳۲±۶/۳۶a |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.




**شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (SA) و اسید جاسمونیک (JA) بر وزن خشک گل پروانش (*Catharanthus roseus*)**

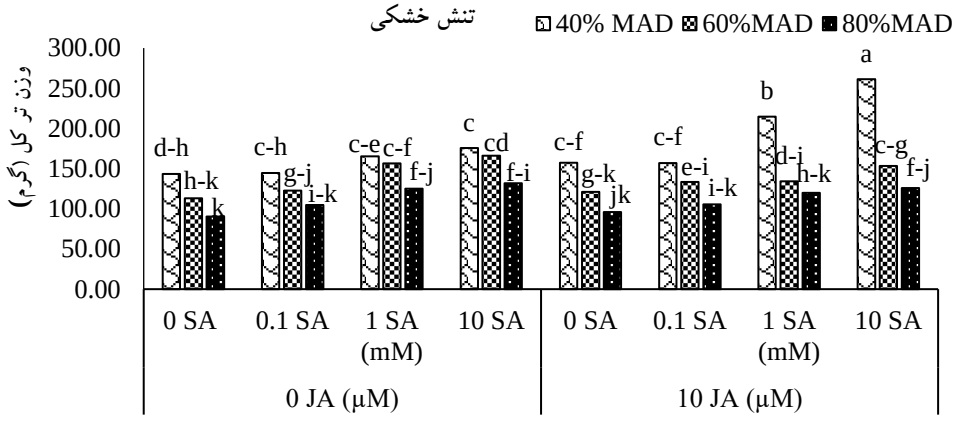
www.SID.ir

Archive of SID


**وزن تر و خشک گیاه**

در بین اثرهای اصلی، اثر تنش خشکی و SA بر وزن تر و خشک کل گیاه و محلول‌پاشی JA فقط بر وزن تر گیاه پروانش معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی×JA بر وزن تر گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار ۳۶/۶ و ۲۵/۴ درصدی در وزن تر و خشک کل گیاه شد، اگرچه بین تیمارهای تنش خشکی (۶۰٪ و ۸۰٪) اختلاف معنی‌داری در مورد صفت وزن خشک کل گیاه مشاهده نشد (جدول ۳).

اما با کاربرد SA، وزن تر و خشک کل گیاه افزایش یافت و بیشترین وزن تر و خشک با میانگین‌های ۱۶۸/۹ و ۲۸/۳ گرم در تیمار ۱۰ میلی‌مولار SA مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها نشان داد که بیشترین وزن تر کل در تیمار بدون تنش خشکی +JA+ ۱۰mM SA بود. همچنین در شرایط عدم تنش، کاربرد SA در تمام غلظت‌ها همراه با JA در مقایسه با کاربرد SA به‌تنهایی نتیجه بهتری را نشان داد. ولی در شرایط تنش فقط در غلظت پایین ۰/۱ میلی‌مولار SA، کاربرد JA تأثیر مثبتی بر وزن تر کل داشت (شکل ۲).




**شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (SA) و اسید جاسمونیک (JA) بر وزن تر کل پروانش (*Catharanthus roseus*)**

**عملکرد آلکالوئیدها**

در این پژوهش اثرهای اصلی و متقابل فاکتورهای تنش خشکی، SA و JA بر مقدار آلکالوئیدها در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). خشکی موجب افزایش آلکالوئیدها شد. کاربرد JA بر مقدار وین‌بلاستین و وین‌کریستین به‌ترتیب موجب کاهش و افزایش شد. محلول‌پاشی SA نیز موجب افزایش آلکالوئیدها شد. بهترین تیمار برای محتوای وین‌بلاستین و وین‌کریستین، به‌ترتیب mM SA ۱ و ۱۰ بود (شکل ۳ و ۴). اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها بر محتوای وین‌بلاستین نشان داد در شرایط بدون تنش و تنش، در اغلب موارد عدم استفاده از JA بهتر بود. تنها در تنش شدید خشکی، کاربرد JA+ ۱mM SA بیشترین وین‌بلاستین را نشان داد (شکل ۳). محتوای وین‌کریستین نتیجه متفاوتی نشان داد، به‌طوری که در شرایط تنش، کاربرد هر دو تنظیم‌کننده رشد نتیجه بهتری داشت. بهترین تیمار، اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی +JA+ ۱۰mM SA بود ولی در شرایط عدم تنش، فقط در تیمار ۱۰ میلی‌مولار SA، کاربرد هر دو تنظیم‌کننده رشد مطلوب بود. در دیگر غلظت‌های SA، محلول‌پاشی آن به‌تنهایی (بدون JA) نتیجه بهتری را نشان داد (شکل ۴).

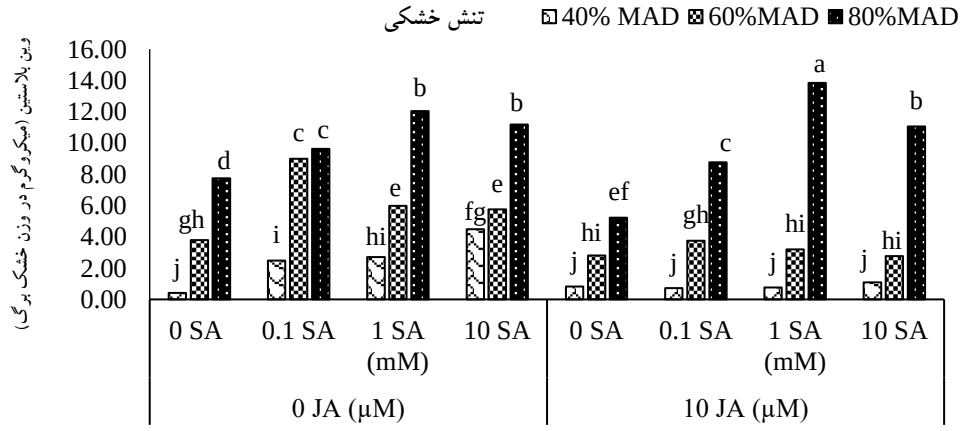
www.SID.ir

Archive of SID


**جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر محتوای آلکالوئیدها در گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus*)**

| منابع تغییر (S.O.V) | درجه آزادی | میانگین مربعات (MS) | |
|---|---|---|---|
| | | وین‌بلاستین | وین‌کریستین |
| تکرار (R) | ۲ | ۱/۷* | ۰/۱۱* |
| خشکی (D) | ۲ | ۴۱۹/۶** | ۲۷/۲۲** |
| R×D | ۴ | ۰/۷۵ | ۰/۰۳ |
| اسید جاسمونیک (JA) | ۱ | ۵۱/۹۹** | ۵/۵۳** |
| اسید سالیسیلیک (SA) | ۳ | ۳۱/۹۴** | ۷/۳۲** |
| D×JA | ۲ | ۹/۹۴** | ۱/۵۶** |
| D×SA | ۶ | ۱۴/۲۳** | ۳/۹۹** |
| JA×SA | ۳ | ۳/۰۳** | ۰/۶۳** |
| D×JA×SA | ۶ | ۵/۰۲** | ۰/۶۹** |
| خطا (Error) | ۴۲ | ۰/۳۷ | ۰/۰۳ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱۱/۲۸ | ۱۴/۸۳ |

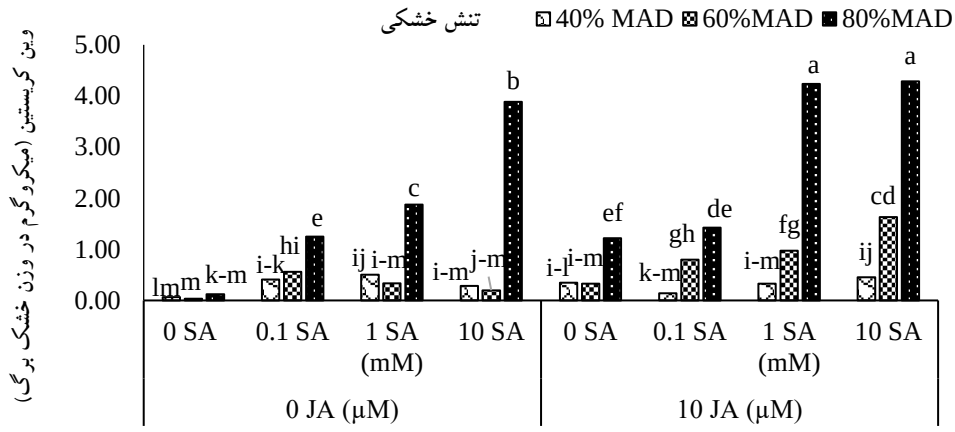
ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪




**شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (SA) و اسید جاسمونیک (JA) بر محتوای وین‌بلاستین پروانش (*Catharanthus roseus*)**

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (SA) و اسید جاسمونیک (JA) بر محتوای وین‌کریستین پروانش (*Catharanthus roseus*)**

## بحث

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش سطوح خشکی صفات رشدی مانند ارتفاع گیاه، ساقه، خصوصیات برگ و گل و وزن تر و خشک گیاه کاهش یافت. مطالعات متعدد نشان داده است که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش وزن تر و خشک ساقه‌ها و ریشه‌ها می‌شود (Ji *et al.*, 2012). کاهش عملکرد در واحد سطح اندام‌های رویشی (برگ و ساقه) به دلیل تنش خشکی، ناشی از کاهش تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه در طی مراحل رویشی است (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009). سرعت رشد برگ و ساقه به تنش آب بسیار حساس است، زیرا رشد آنها به رشد سلولی وابسته است. یکی از نخستین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و درنتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها در شرایط تنش است (Anjorin *et al.*, 2017). Minaei و همکاران (۲۰۱۹)، کاهش تعداد و طول شاخه‌های جانبی را با تشدید تنش خشکی گزارش کردند. کاهش میزان شاخه‌دهی آویشن باغی تحت شرایط تنش خشکی، توسط Babaee و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است که با نتایج ما مطابقت دارد. شاخه‌دهی زیاد در شرایط خشکی یک صفت نامطلوب به‌حساب می‌آید، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می‌گردد. بنابراین محدود شدن شاخه‌دهی در شرایط خشکی توسط پروانش را می‌توان به‌عنوان یک سازوکار سازگاری گیاه تحت تنش خشکی در نظر گرفت. اسید سالیسیلیک در تمام شرایط تنش و غیر تنش باعث بهبود رشد ساقه شد (Farhangi-Abriz *et al.*, 2019). همچنین گزارش‌شده که کاربرد خارجی SA می‌تواند تأثیر منفی کمبود آب بر رشد و نمو گیاه را کاهش دهد (Yuan & Lin, 2008). احتمالاً SA از طریق بهبود فتوسنتز و محتوای رطوبت‌نسبی، موجب افزایش رشد ساقه می‌شود. گزارش شده که کاربرد متیل جاسمونات در غلظت‌های ۰/۰۱ تا ۱۰ میکرومولار تأثیری بر محتوای نسبی آب برگ، وزن تر و خشک ساقه نداشت (Fugate *et al.*, 2018) که با نتایج این مطالعه نیز مطابقت دارد.

تنش آب در طی مراحل رویشی بیشترین تأثیر را بر ارتفاع گیاه و زیست‌توده دارد (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008). گزارش شده که کاهش آبیاری (نسبت به FC) و قرار گرفتن گیاه در معرض تنش خشکی منجر به تأثیر منفی آن بر پارامترهای ظاهری گیاه، کاهش ارتفاع و همچنین زیست‌توده تر و خشک می‌شود (Khalil *et al.*, 2018). Amirjani (۲۰۱۳) گزارش کرد که تنش شدید آب (دور

www.SID.ir

Archive of SID


آبیاری ۱۵ و ۳۰ روز) صفات رشدی پروانش مانند ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، وزن تر ساقه و ریشه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد که با نتایج ما در این پژوهش همخوانی دارد. کاهش صفات رویشی احتمالاً ناشی از کاهش رشد سلول و افزایش سن برگ است که از کاهش فشار تورگر در شرایط کمبود آب ناشی می‌شود.

گزارش شده استفاده از SA به‌صورت محلول‌پاشی برگی تأثیر منفی تنش خشکی را بر وزن تر و خشک و ارتفاع گیاه تا غلظت ۲ میلی‌مولار بهبود داده است. اگرچه در غلظت ۳ میلی‌مولار، SA قادر به برگرداندن اثرهای منفی تنش نبود (Khalil *et al*., 2018). در این مطالعه نیز مشاهده شد که کاربرد SA با غلظت ۱ میلی‌مولار موجب افزایش در ارتفاع گیاه شد، ولی با افزایش غلظت، در تیمار ۱۰ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری نسبت به ۱ میلی‌مولار مشاهده نشد (جدول ۳). گزارش‌های پیشین بیان کردند که طول ساقه تحت تنش خشکی به‌علت کاهش تقسیم و انقباض سلول کاهش می‌یابد. بااین‌حال، استفاده از JA و SA طول ساقه را افزایش داد (Ilyas *et al*., 2017). افزایش ارتفاع گیاهان تحت تنش خشکی همراه با کاربرد SA، ممکن است به دلیل افزایش فشار تورگر سلول به‌دلیل تجمع قندهای محلول و سایر مواد فعال اسموتیکی مانند پرولین و پروتئین‌های محلول باشد (Hossain *et al*., 2014). زیرا در دسترس نبودن آب کافی باعث کاهش میزان آب برگ می‌شود و رشد برگ را کند می‌کند. کاهش رشد برگ در مدت زمان طولانی قبل از پژمردگی رخ می‌دهد و ابتدا به‌وسیله کاهش میزان گسترش سلول به‌علت کاهش فشار تورگر (Choluj *et al*., 2004) اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی تعداد برگ‌های هر گیاه، سایز برگ‌های منفرد، طول برگ و گسترش سطح برگ با کاهش قابلیت آب خاک ارتباط دارند. همچنین خصوصیات برگ به تورگر برگ، درجه حرارت و فراهمی آسمیلات برای رشد بستگی دارد. تمام این صفات تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند (Reddy *et al*., 2003). انعطاف سطح برگ به‌منظور حفظ کنترل مصرف آب در محصولات مهم است. سطح برگ به‌طور قابل توجهی تحت تنش آب کاهش می‌یابد، به‌طوری که این کاهش قبل از کاهش هدایت روزنه‌ای در سطح برگ زنده رخ می‌دهد (Yadav *et al*., 2005). کاهش سطح برگ در اثر تنش آب، عامل مهمی برای کاهش عملکرد محصول از طریق کاهش فتوسنتز است (Srivastava & Srivastava, 2007). همچنین می‌تواند به رقابت گیاهان برای آب و موادغذایی نسبت داده شود. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که تمام صفات اندازه‌گیری شده در مورد برگ مانند وزن تر و خشک، تعداد و سطح برگ نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۲). افزایش کانوپی زنیان (Ajowan) با کاربرد هورمون‌ها، ممکن است با تنظیم اثرهای این هورمون‌ها بر رشد و نمو گیاه مرتبط باشد. به‌طوری که گزارش شده استفاده از SA تعادل اکسین، سیتوکینین و ABA را در گیاهان تغییر می‌دهد و رشد و عملکرد را در هر دو شرایط عادی و تنش افزایش می‌دهد (Shakirova, 2007). همچنین بیان شده که SA باعث افزایش سطح برگ و تولید ماده خشک در علف‌لیمو (lemon grass) (Idrees *et al*., 2010)، توت‌فرنگی (Ghaderi *et al*., 2015) و سویا (Kuchlan *et al*., 2017) می‌شود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. بنابراین به نظر می‌رسد بهبود سطح برگ با اسپری SA، به افزایش جذب مواد غذایی ضروری (Ghassemi-Golezani & Farhangi-Abriz, 2018) و مهار سنتز اتیلن (Leslie & Romani, 1986) مربوط باشد.

گزارش شده با افزایش تنش آب، عملکرد گل‌زنیان کاهش یافت که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. کاهش تولید گل تحت تنش خشکی، بازتابی از کاهش اندازه گیاه و به‌عنوان نتیجه تنش خشکی است (Ghassemi *et al*., 2017). استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه، به‌عنوان یک راه حل بالقوه برای کاهش اثرهای مضر تنش خشکی پیشنهاد شده است (Ghassemi-Golezani *et al*., 2015). محلول‌پاشی برگی SA عملکرد گل زنیان را در تمام تیمارهای آبیاری افزایش داد. بهبود عملکرد اندام‌های گیاه که با کاربرد ABA و به‌ویژه SA دیده شد، ممکن است با اثرهای تنظیم‌کنندگی این هورمون‌ها بر رشد و نمو گیاه ارتباط داشته باشد (Ghassemi *et al*., 2017).

www.SID.ir

Archive of SID


نتایج آزمایش‌های قبلی نشان داد تنش خشکی (۶۰٪ FC) نسبت به شاهد (۱۰۰٪ FC)، دوام سطح برگ، آب تعرق یافته، سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR)، شاخص برداشت و عملکرد زیست‌توده را در گیاه پروانش (در هر دو رقم Rosea و Alba) کاهش داد. تنش خشکی باعث کاهش میزان تجمع وزن تر و خشک در هر دو رقم *C. roseus* می‌شود. اگرچه وزن تر کل گیاه به میزان بیشتری کاهش می‌یابد. اما اثرهای شدید خشکی بر زیست‌توده تر و خشک به‌علت اختلال در فتوسنتز تحت تنش خشکی است (Jaleel *et al*., 2007). علاوه‌براین بیان شده است که اثر منفی کاهش آبیاری بر پوشش سبز گیاه زنیان، ممکن است به کمتر بودن رطوبت مناسب قابل دسترس در اطراف ریشه مربوط باشد که در نتیجه، موجب جذب پایین مواد غذایی، آب و تولید زیست‌توده کمتر می‌شود (Singh *et al*., 1997). همچنین کاهش زیست‌توده کل ممکن است به‌دلیل کاهش قابل‌ملاحظه در رشد گیاه، فتوسنتز و ساختار کانوپی (Bhatt & Rao, 2005) و یا ناشی از تخصیص بیشتر زیست‌توده تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها در این شرایط باشد. البته کاهش وزن تر تحت شرایط خشکی نیز می‌تواند به‌دلیل کاهش گسترش و رشد سلولی در نتیجه فشار تورگر کم باشد (Singh *et al*., 1997). تأثیر بهبودی SA بر روی رشد گیاه در شرایط تنش غیرزنده با نقش آن در جذب مواد مغذی، پایداری غشاء، روابط آبی، تنظیم روزنه‌ای، فتوسنتز، رشد و مهار بیوسنتز اتیلن ارتباط دارد (Said-Al Ahl *et al*., 2014). گزارش شده که اسپری برگی JA+SA مواد مغذی بیشتری مانند $K^{+}$ و $Ca^{+2}$ را برای گیاه فراهم می‌کند (Fahad *et al*., 2015). کاربرد بیرونی JA می‌تواند رشد گیاه را در شرایط استرس با توجه به غلظت اعمال‌شده و گونه گیاهی، فعال یا مهار کند (Farooq *et al*., 2016).

بررسی مقالات نشان می‌دهد که اثر تنش آب بر متابولیت‌های ثانویه گیاهی یک پدیده خاص گونه‌ای است و بستگی به شدت تنش دارد (Azhar *et al*., 2011). اثرهای مثبت محدودیت آب، به سنتز متابولیت‌های ثانویه، فعالیت‌های آنزیمی و تجمع مواد محلول مربوط می‌شود (Singh-Sangwan *et al*., 2001). برای گیاهان معطر و دارویی، خشکی باعث تغییرات قابل توجهی در عملکرد و ترکیب‌های متابولیت‌های آنها می‌شود (Bettaieb *et al*., 2009). به‌طوری که عملکرد متابولیت‌های ثانویه بخشی از سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی محسوب می‌شود. شرایط تنش، باعث تسریع بیوسنتز این ترکیب‌ها می‌شود (Ezz *et al*., 2009). تنش خشکی، تجمع وین‌کریستین و وین‌بلاستین را در اندام‌های هوایی پروانش افزایش می‌دهد. افزایش آلکالوئیدها ممکن است یک پاسخ دفاعی پروانش در برابر تنش خشکی باشد (Amirjani., 2013). گزارش شده تنش اکسیداتیو که از تنش خشکی ناشی می‌شود تجمع آلکالوئیدها را در ریشه و اندام هوایی پروانش به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (Karadge & Gaikwad, 2003). تولید متابولیت‌های بیشتر توسط گیاهان تحت تنش خشکی که در نتایج نشان داده شده است احتمالاً به‌علت تخصیص کم کربن به رشد بوده و نشان‌دهنده وجود تبادل بین رشد و دفاع است (Bettaieb *et al*., 2009).

اسید سالیسیلیک ارزش دارویی و اقتصادی پروانش را تحت تنش‌های مختلف آبیاری، با افزایش زیست‌توده اندام‌های گیاه و عملکرد آلکالوئیدها بهبود بخشید. اسید سالیسیلیک همچنین می‌تواند بیان بسیاری از ژن‌های دفاعی را القاء کند که آنها آنزیم‌های خاصی از مسیر متابولیسم ثانویه را برای ایجاد ترکیب‌های بیواکتیو رمزگشایی می‌کنند (Ali *et al*., 2006). گزارش شده است، محلول‌پاشی SA باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه آویشن در تنش خشکی می‌شود (Mohammadi *et al*., 2019). در گیاه زنیان افزایش درصد اسانس با اسپری SA نیز گزارش شده است که ممکن است ناشی از افزایش رشد سلولی و جذب مواد غذایی باشد (Idrees *et al*., 2010). این موارد احتمالاً به نقش علامت‌دهی (سیگنالی) این مولکول (شامل فعال شدن ژن‌ها و آنزیم‌های مربوط به دفاع و متابولیسم متابولیت‌های ثانویه) در سیستم دفاعی گیاهان مرتبط است (Basra *et al*., 2003). افزایش مقاومت به تنش با کاربرد SA یک سازوکار وابسته به غلظت است، به‌طوری که غلظت متوسط SA می‌تواند

www.SID.ir

Archive of SID


مقاومت به تنش را افزایش دهد؛ اما در غلظت بالا ممکن است باعث مرگ سلول و حتی افزایش حساسیت به تنش شود (Senaratna *et al*., 2000). در این مطالعه، بیشترین غلظت اعمال‌شده SA (۱۰ میلی‌مولار) هنوز اثر مثبتی را به‌همراه داشته است و موجب افزایش تولید وین‌کریستین شده است. افزایش وین‌کریستین و کاهش وین‌بلاستین با کاربرد JA در پروانش می‌تواند با تنظیم بالا یا پایین رفتن برخی از پروتئین و آنزیم‌ها در متابولیسم کربوهیدرات‌های گیاه مرتبط باشد که ممکن است تعادل متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار دهد. یافته‌های Talebi و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که اسپری برگی جاسمونات بر ریحان، محتوای برخی متابولیت‌ها (لینالول و ۸،۱–سینئول) را افزایش و محتوای برخی (آلفا–برگاموتن، بتا–مالین و اوژنول) را کاهش می‌دهد. فیتوهورمون‌ها هم به‌طور مستقل عمل می‌کنند و هم مسیرهای علامت‌دهی آنها با یکدیگر از طریق تداخل‌های سینرژیکی یا آنتاگونیستی در ارتباط هستند. همچنین تداخل هورمونی با بازخوردهای مثبت (افزایشی یا سینرژیستی) و منفی (کاهشی یا آنتاگونیستی) می‌تواند سنتز، انتقال و علامت‌دهی دیگر هورمون‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Zheng *et al*., 2012). گزارش شده اسپری SA و JA بر گندم در شرایط تنش، در بیان ژن‌های دخیل در دفاع به‌صورت سینرژیستی و آنتاگونیستی عمل می‌کند (Kazan, 2015). نتایج اثر متقابل SA و JA به غلظت نسبی آنها وابسته است، به‌طوری که در این آزمایش بهترین تیمار برای وین‌بلاستین ۱ mM SA+JA و وین‌کریستین ۱۰mM SA +JA بود. همچنین غلظت این تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در تعیین سطح بیان ژن مهم هستند. جاسمونات‌ها به‌عنوان تعدیل‌کننده تنش می‌توانند پاسخ‌های تنش گیاهی را کاهش یا افزایش دهند. به‌طوری که گزارش‌ها اثر متقابل جاسمونات‌ها را با سایر هورمون‌های گیاهی در تحمل به تنش گیاهی نیز تأیید کرده است (Wasternack & Song, 2016). تداخل بین فیتوهورمون‌ها می‌تواند دستگاه‌های ژنتیکی را دوباره برنامه‌ریزی کند و بر واکنش‌های دفاع تأثیر بگذارد، تأثیرات تنش را به حداقل برساند و به این ترتیب تحمل گیاه را در برابر تنش بهبود ببخشد (Zheng *et al*., 2012).

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ویژگی‌های رشدی و عملکردی و محتوای آلکالوئیدها در گیاه پروانش به‌شدت با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف از SA و JA، تحت تنش خشکی تغییرات معنی‌داری داشتند. بهترین تیمار SA برای صفات مورفوفیزیولوژیک، ۱ میلی‌مولار و برای آلکالوئیدها، ۱ و ۱۰ میلی‌مولار بود. تنش خشکی اگرچه موجب کاهش صفات رشدی پروانش شد ولی مقدار آلکالوئیدها را به‌عنوان ترکیب‌های دفاعی افزایش داد و بیشترین تأثیر در تیمار تنش شدید خشکی مشاهده شد؛ بنابراین استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و تنش‌های محیطی برای دستیابی به مواد مؤثره بیشتر در گیاه پروانش پیشنهاد می‌شود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از رئیس محترم دانشکده کشاورزی و مدیر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شهید چمران اهواز به‌دلیل حمایت از این پژوهش در قالب طرح رساله دکتری قدردانی می‌گردد.

## منابع مورد استفاده

- Ali, B., Gill, R.A., Yang, S., Gill, M.B., Farooq, M.A., Liu, D., Daud, M.K., Ali, S. and Zhou, W., 2015. Regulation of cadmium-induced proteomic and metabolic changes by 5-aminolevulinic acid in leaves of *Brassica napus* L. PLoS One, 10(4): 1-23.
- Ali, M.B., Yu, K.W., Hahn, E.J. and Paek, K.Y., 2006. Methyl jasmonate and salicylic acid elicitation induces ginsenosides accumulation, enzymatic and non-enzymatic antioxidant in suspension culture Panax ginseng roots in bioreactors. Plant cell reports, 25(6): 613-620.
- Alizadeh, A., 2010. Soil-Water-Plant Relationship. Astan Quds Razavi, The University of Imam Reza, 484p.
- Amirjani, M.R., 2013. Effects of drought stress on the alkaloid contents and growth parameters of *Catharanthus roseus*. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 8(11): 745-750.
- Anjorin, F.B., Adejumo, S.A., Are, K.S. and Ogunniyan, D.J., 2017. Seedling establishment, biomass yield and water use efficiencies of four

www.SID.ir

Archive of SID


and alar (B9) in newly reclaimed soil. Journal of Applied Sciences Research, 5(12): 2165-2170.
- Fahad, S., Hussain, S., Matloob, A., Khan, F.A., Khaliq, A., Saud, S. and Ullah, N., 2015. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. Plant Growth Regulation, 75(2): 391-404.
- Farhangi-Abriz, S., Alaee, T. and Tavasolee, A., 2019. Salicylic acid but not jasmonic acid improved canola root response to salinity stress. Rhizosphere, 9: 69-71.
- Farooq, M.A., Gill, R.A., Islam, F., Ali, B., Liu, H., Xu, J. and Zhou, W., 2016. Methyl jasmonate regulates antioxidant defense and suppresses arsenic uptake in *Brassica napus* L. Frontiers in Plant Science, 7(468): 1-16.
- Fugate, K.K., Lafta, A.M., Eide, J.D., Li, G., Lulai, E.C., Olson, L.L., Deckard, E., Khan, M. and Finger, F.L., 2018. Methyl jasmonate alleviates drought stress in young sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. Journal of Agronomy and Crop Science, 204(6): 566-576.
- Ghaderi, N., Normohammadi, S. and Javadi, T., 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria×ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. Journal of Agricultural Science and Technology, 17(1): 167-178.
- Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S. and Alizadeh-Salteh, S., 2017. Improving essential oil content and yield of ajowan organs under water stress by application of salicylic acid and abscisic acid. International Journal of Plant Production, 11(3): 425-436.
- Ghassemi-Golezani, K. and Farhangi-Abriz, S., 2018. Foliar sprays of salicylic acid and jasmonic acid stimulate $H^+$-ATPase activity of tonoplast, nutrient uptake and salt tolerance of soybean. Ecotoxicology and Environmental Safety, 166: 18-25.
- Ghassemi-Golezani, K., Andalibi, B., Zehtab-Salmasi, S. and Saba, J., 2008. Effects of water stress during vegetative and reproductive stages on seed yield and essential oil content of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Food, Agriculture & Environment, 6(3-4): 282-284.
- Ghassemi-Golezani, K., Bakhshi, J. and Dalil, B., 2015. Rate and duration of seed filling and yield of soybean affected by water and radiation deficits. Acta agriculturae Slovenica, 105(2): 225-232.
- Ghassemi-Golezani, K., Ghanehpoor, S. and Dabbagh Mohammadi-Nasab, A., 2009. Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7(3): 442-447.
- Gheysari, M., Loescher, H.W., Sadeghi, S.H., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J. and Hoogenboom, G., 2015. Water-yield relations and water use efficiency of maize varieties as influenced by water deficit stress. Cercetari Agronomice in Moldova, 50(2): 21-34.
- Aslam, J., Khan, S.H., Siddiqui, Z.H., Fatima, Z., Maqsood, M., Bhat, M.A. and Khan, S.A., 2010. *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. An important drug: it is applications and production. Pharmacie Globale (IJCP), 4(12): 1-16.
- Avanci, N., Luche, D., Goldman, G. and Goldman, M., 2010. Jasmonates are phytohormones with multiple functions, including plant defense and reproduction. Genetics and Molecular Research, 9(1): 484-505.
- Azhar, N., Hussain, B., Ashraf, M.Y. and Abbasi, K.Y., 2011. Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desi ajwain (*Trachyspermum amm*i L.). Pakistan Journal of Botany, 43(9): 15-19.
- Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M. and Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 26(2): 239-251.
- Basra, S.M., Ullah, E., Warraich, E., Cheema, M. and Afzal, I., 2003. Effect of storage on growth and yield of primed canola (*Brassica napus*) seeds. International Journal of Agriculture and Biology, 5(2): 117-120.
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W.A., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientica Horticulturae, 120(2): 271-275.
- Bhatt, R. and Rao, N.S., 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. Indian Journal of Plant Physiology, 10(1): 54-59.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H. L., Waskom, R.M., Niu, Y. and Siddique, K.H., 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. Agronomy for Sustainable Development, 36(1): 1-3.
- Choluj, D., Karwowska, R., Jasinska, M. and Haber, G., 2004. Growth and dry matter partitioning in *sugar beet* plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought. Plant Soil and Environment, 50(6): 265-272.
- Drazic, G. and Mihailovic, N., 2005. Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid. Plant Science, 168(2): 511-517.
- El-Sayed, M. and Verpoorte, R., 2004. Growth, metabolic profiling and enzymes activities of *Catharanthus roseus* seedlings treated with plant growth regulators. Plant Growth Regulation, 44(1): 53-58.
- Ezz, E., Aziz, E.E., Hendawy, S.F. and Omer, E.A., 2009. Response of *Thymus vulgaris* L. to salt stress

www.SID.ir

Archive of SID


- Karadge, B. and Gaikwad, P., 2003. Influence of sodium chloride salinity on growth and organic constituents of *Catharanthus roseus* G. Don. Indian Journal of Plant Physiology, 8(4): 392-397.
- Kazan, K., 2015. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. Trends in Plant Science, 20(4): 219-229.
- Khalil, N., Fekry, M., Bishr, M., El-Zalabani, S. and Salama, O., 2018. Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed *Thymus vulgaris* L. Plant Physiology and Biochemistry, 123: 65-74.
- Khan, M.I.R., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A. and Khan, N.A., 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in Plant Science, 6(462): 1-17.
- Kuchlan, M., Kuchlan, P. and Husain, S., 2017. Effect of foliar application of growth activator, promoter and antioxidant on seed quality of soybean. Agricultural Research Communication Centre, 40(2): 313-318.
- Kumar, S., Jaggi, M. and Sinha, A.K., 2012. Ectopic overexpression of vacuolar and apoplastic *Catharanthus roseus* peroxidases confers differential tolerance to salt and dehydration stress in transgenic tobacco. Protoplasma, 249(2): 423-432.
- Leslie, C.A. and Romani, R.J., 1986. Salicylic acid: a new inhibitor of ethylene biosynthesis. Plant Cell Reports, 5(2): 144-146.
- Minaei, A., Hassani, A., Nazemiyeh, H. and Besharat, S., 2019. Effect of drought stress on some morphophysiological and phytochemical characteristics of oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *gracile*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35(2): 252-265.
- Miura, K. and Tada, Y., 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 5(4): 1-12.
- Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F. and Hashempour, H., 2019. Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. Industrial Crops and Products, 129: 561-574.
- Mokhaberi, A., Ahmadi, J. and Mafakheri, S., 2013. The expression profile of D4H and DAT genes in *Catharanthus roseus* in response to drought, salinity and salicylic acid. Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding, 2(2): 38-46.
- Montiel, G., Zarei, A., Körbes, A.P. and Memelink, J., 2011. The jasmonate-responsive element from the ORCA3 promoter from *Catharanthus roseus* is active in Arabidopsis and is controlled by the transcription maize under nitrogen fertigation for semiarid environments: experiment and synthesis: 175-229. In: Sparks, D.L., (Ed.). Advances in Agronomy (Vol. 130). Academic Press, 429p.
- Hossain, M.M., Liu, X., Qi, X., Lam, H.M. and Zhang, J., 2014. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. The Crop Journal, 2(6): 366-380.
- Idrees, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., Naeem, M. and Hashmi, N., 2010. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in *lemongrass* varieties under water stress. Journal of Plant Interactions, 5(4): 293-303.
- Idrees, M., Khan, M.M.A., Naeem, M., Aftab, T., Hashmi, N. and Alam, M., 2011. Modulation of defence responses by improving photosynthetic activity, antioxidative metabolism, and vincristine and vinblastine accumulation in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don through salicylic acid under water stress. Russian Agricultural Sciences, 37(6): 474-482.
- Idrees, M., Naeem, M., Aftab, T. and Khan, M.M.A., 2013. Salicylic acid restrains nickel toxicity, improves antioxidant defence system and enhances the production of anticancer alkaloids in *Catharanthus roseus* (L.). Journal of Hazardous Materials, 252: 367-374.
- Ilyas, N., Gull, R., Mazhar, R., Saeed, M., Kanwal, S., Shabir, S. and Bibi, F., 2017. Influence of salicylic acid and jasmonic acid on wheat under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48(22): 2715-2723.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G., Gomathinayagam, M. and Panneerselvam, R., 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 61(2): 298-303.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., 2007. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 60(1): 110-116.
- Ji, K., Wang, Y., Sun, W., Lou, Q., Mei, H., Shen, S. and Chen, H., 2012. Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. Journal of Plant Physiology, 169(4): 336-344.
- Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., Su, X., Lu, H. and Ding, R., 2017. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. Agricultural Water Management, 179: 5-17.

www.SID.ir

Archive of SID


G. Don]: 365-381. In: Naeem, M., Aftab, T. and Khan, M., (Eds.). *Catharanthus roseus*. Springer, Cham, 470p.
- Shakirova, F. 2007. Role of hormonal system in the manifestation of growth promoting and antistress action of salicylic acid: 69-89. In: Hayat, S. and Ahmad, A., Salicylic Acid: A Plant Hormone, Springer, 401p.
- Singh, M., Ganesha Rao, R. and Ramesh, S., 1997. Irrigation and nitrogen requirement of lemongrass [*Cymbopogon flexuosus* (Steud) Wats] on a red sandy loam soil under semiarid tropical conditions. Journal of Essential Oil Research, 9(5): 569-574.
- Singh-Sangwan, N., Farooqi, A.H.A., Shabih, F. and Sangwan, R.S., 2001. Regulation of essential oil production in plants. Plant Growth Regulation, 34: 3-21.
- Srivastava, N. and Srivastava, A., 2007. Influence of gibberellic acid on 14 $CO_2$ metabolism, growth, and production of alkaloids in *Catharanthus roseus*. Photosynthetica, 45(1): 156-160.
- Talebi, M., Moghaddam, M. and Pirbalouti, A.G., 2018. Methyl jasmonate effects on volatile oil compounds and antioxidant activity of leaf extract of two basil cultivars under salinity stress. Acta Physiologiae Plantarum, 40(2): 34-45.
- Uniyal, G., Bala, S., Mathur, A. and Kulkarni, R., 2001. Symmetry C18 column: a better choice for the analysis of indole alkaloids of *Catharanthus roseus*. Phytochemical Analysis, 12(3): 206-210.
- Wasternack, C. and Song, S., 2016. Jasmonates: biosynthesis, metabolism, and signaling by proteins activating and repressing transcription. Journal of Experimental Botany, 68(6): 1303-1321.
- Wilson, S.A. and Roberts, S.C., 2014. Metabolic engineering approaches for production of biochemicals in food and medicinal plants. Current Opinion in Biotechnology, 26: 174-182.
- Yadav, S., Lakshmi, N.J., Maheswari, M., Vanaja, M. and Venkateswarlu, B., 2005. Influence of water deficit at vegetative, anthesis and grain filling stages on water relation and grain yield in sorghum. Indian Journal of Plant Physiology, 10(1): 20-24.
- Yu, Z.Z., Fu, C.X., Han, Y.S., Li, Y.X. and Zhao, D.X., 2006. Salicylic acid enhances jaceosidin and syringin production in cell cultures of Saussurea medusa. Biotechnology Letters, 28(13): 1027-1031.
- Yuan, S. and Lin, H.H., 2008. Minireview: role of salicylic acid in plant abiotic stress. Zeitschrift für Naturforschung C, 63(5-6): 313-320.
- Zhang, Y., Xu, S., Yang, S. and Chen, Y., 2015. Salicylic acid alleviates cadmium-induced inhibition of growth and photosynthesis through up-regulating antioxidant defense system in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.). Protoplasma, 252(3): 911-924.

factor AtMYC2. Plant and Cell Physiology, 52(3): 578-587.
- Naaranlahti, T., Nordström, M., Huhtikangas, A. and Lounasmaa, M., 1987. Determination of *Catharanthus* alkaloids by reversed-phase high-performance liquid chromatography. Journal of Chromatography, 410: 488-493.
- Nejat, N., Valdiani, A., Cahill, D., Tan, Y.H., Maziah, M. and Abiri, R., 2015. Ornamental exterior versus therapeutic interior of Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus*): the two faces of a versatile herb. The Scientific World Journal, 2015: 1-19.
- Pan, Q.F., Chen, Y., Wang, Q., Yuan, F., Xing, S.H., Tian, Y.S., Zhao, J.Y., Sun, X.F. and Tang, K.X, 2010. Effect of plant growth regulators on the biosynthesis of vinblastine, vindoline and catharanthine in *Catharanthus roseus*. Plant Growth Regulation, 60: 133-141.
- Pandey, S., 2017. Cultivation under stress conditions: 383-397. In: Naeem, M., Aftab, T. and Khan, M., (Eds.). *Catharanthus roseus*. Springer, Cham, 470p.
- Rady, M.R., 2019. Plant Biotechnology and Medicinal Plants. Springer Nature Switzerland, 96p.
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. and Najafi, F., 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 47(1): 53-56.
- Rao, S.R. and Ravishankar, G., 2002. Plant cell cultures: chemical factories of secondary metabolites. Biotechnology Advances, 20(2): 101-153.
- Reddy, T., Reddy, V. and Anbumozhi, V., 2003. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogea* L.) to drought stress and its amelioration: a critical review. Plant Growth Regulation, 41(1): 75-88.
- Said-Al Ahl, H., El Gendy, A. and Omer, E., 2014. Effect of ascorbic acid, salicylic acid on coriander productivity and essential oil cultivated in two different locations. Advances in Environmental Biology, 8(7): 2236-2250.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K., 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation, 30(2): 157-161.
- Shabbir, A., Ali, A., Sadiq, Y., Jaleel, H., Ahmad, B., Naeem, M. and Uddin, M., 2017. Unraveling the cumulative effect of soil-applied radiation-processed sodium alginate and polyacrylamide on growth attributes, physiological activities, and alkaloids production in periwinkle [*Catharanthus roseus* (L.)

www.SID.ir

Archive of SID


- Zhao, J. and Verpoorte, R., 2007. Manipulating indole alkaloid production by *Catharanthus roseus* cell cultures in bioreactors: from biochemical processing to metabolic engineering. Phytochemistry Reviews, 6(2-3): 435-457.

- Zheng, X.Y., Spivey, N.W., Zeng, W., Liu, P.P., Fu, Z.Q., Klessig, D.F., He, S.Y. and Dong, X., 2012. Coronatine promotes *Pseudomonas* syringae virulence in plants by activating a signaling cascade that inhibits salicylic acid accumulation. Cell Host and Microbe, 11: 587-596.

www.SID.ir

Archive of SID


# Changes in morphophysiological traits and alkaloids yield of rosea periwinkle (*Catharanthus roseus* L. (G. Don)) in response to plant growth regulators under drought stress conditions

**M. Ababaf[1], H. Omidi[2*] and A.M. Bakhshandeh[3]**

1- Ph.D. student, Agricultural College and Medicinal Plant Research Center, Shahed University, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Agricultural College and Medicinal Plant Research Center, Shahed University, Tehran, Iran, E-mail: omidi@shahed.ac.ir
3- Agricultural College and Natural Resources, Rmin University, Mollasani, Khuzestan, Iran

Received: September 2019 Revised: July 2020 Accepted: July 2020

## Abstract

This research was aimed to investigate the foliar application of Plant Growth Regulators (PGRs) on growth parameters, yield, some morphophysiological traits, and alkaloids of rosea periwinkle (*Catharanthus roseus* L. (G. Don) under drought stress conditions. The field study was conducted based on split-plot factorial in the randomized complete block design (RCBD) with three replications at the research farms of Shahid Chamran University in Ahwaz city in 2016-17. The experimental treatments included drought stress as the main factor at three levels of 40% (control), 60% and 80% of maximum allowable depletion (MAD) and foliar application of jasmonic acid (JA) at two levels (0 and 10 µM) and salicylic acid (SA) at three levels (0, 0.1, 1, and 10 mM) as subplots. Based on the results of the mean comparison of main effects, drought stress (80% MAD) reduced 36.6% of fresh weight and 25.4% of the dry weight of the plant compared to the control. The treatment 10 mM SA resulted in 13.4, 125.5, and 59.6% increases in plant height, leaf area and flower dry weight, respectively, compared to the control. The foliar application of JA increased flower dry weight and plant fresh weight by 16.3 and 8.6%, respectively. The results showed that the foliar application of SA in concentrations of 1 and 10 mM caused the highest content of vincristine and vinblastine, respectively. The interaction of both PGRs and drought stress showed the highest alkaloids content. The highest vinblastine and vincristine under severe drought stress were obtained in foliar application of 1 mM SA+10µM JA and 10 mM SA+10µM JA, respectively.

**Keywords:** Alkaloids, jasmonic acid, salicylic acid, medicinal plant.

www.SID.ir