Archive of SID



# اثر جاسمونیک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی گیاه دارویی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش خشکی

**راحله خادمیان[1*]، مجید قربانی‌نهوجی[2]، بهور اصغری[3]**

۱- استادیار گروه ژنتیک و بهنژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
۲- مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
*آدرس مکاتبه: قزوین، بلوار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، روبروی صدا و سیما، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه ژنتیک و بهنژادی گیاهی، کدپستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸
تلفن: ۳۳۹۰۱۲۴۶ (۰۲۸)، نمابر: ۳۳۷۸۰۰۷۳ (۰۲۸)
پست الکترونیک: r.khademian@eng.ikiu.ac.ir

**تاریخ دریافت:** ۹۷/۱۰/۲۷ **تاریخ تصویب:** ۹۸/۲/۸

## چکیده

**مقدمه:** گیاه گلرنگ (***Carthamus tinctorius* L.**)، از مهم‌ترین گونه‌های گیاهان دارویی تیره آفتابگردان (**Asteraceae**) است که به عنوان منبع غنی ترکیبات فعال دارویی نظیر فنول‌ها، فلاونوئیدها و اسیدهای چرب محسوب شده و در طب سنتی نیز برای درمان بیماری‌های مختلفی استفاده می‌شود.

**هدف:** هدف از این مطالعه بررسی نقش جاسمونیک اسید در حفاظت از گلرنگ در برابر زیان‌های ایجاد شده توسط خشکی است.

**روش بررسی:** این آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول رژیم آبیاری بود که در چهار سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (**FC**)، ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (**FC** ۰/۸) ، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (**FC** ۰/۶) و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (**FC** ۰/۴) اعمال شد. فاکتور دوم کاربرد جاسمونیک اسید در سه غلظت (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بود.

**نتایج:** بر اساس داده‌های به دست آمده فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز و مقدار ترکیباتی نظیر آبسیزیک اسید، پرولین، مالون دی‌آلدهید، پروتئین و محتوای فنولی و فلاونوئیدی در گیاه گلرنگ با افزایش شدت تنش آبی افزایش معنی‌داری داشتند. در روندی معکوس، محتوای نسبی آب برگ (**RWC**) به واسطه محدودیت آبی کاهش معنی‌داری از خود نشان داد. نتایج به دست آمده حاکی از نقش تعدیل کنندگی جاسمونیک اسید بر اثرات زیانبار تنش خشکی روی صفات مذکور است. همچنین مقادیر اسیدهای چرب اصلی موجود در روغن به طور معنی‌داری تحت محدودیت آبی تغییر نشان دادند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که جاسمونیک اسید نقش مهمی در افزایش قابلیت گلرنگ برای مقابله با استرس خشکی دارد که این امر از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و افزایش مقدار متابولیت‌های ثانویه انجام می‌گیرد.

**گل‌واژگان:** گلرنگ، آنتی‌اکسیدانت‌ها، اسیدهای چرب، تنش غیرزنده، متابولیت ثانویه



www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، یک گیاه دارویی مهم از خانواده آفتابگردان (Asteraceae = *Compositae*) است که مصارف متعددی در صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی دارد. بذر این گیاه به دلیل داشتن موادی مانند روغن (۴۰-۳۰ درصد)، پروتئین (۲۰-۱۵ درصد) و کربوهیدرات (۹-۳ درصد) ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد [۱]. بر اساس گزارشات موجود این گیاه حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع مانند اسید لینولئیک (۷۵-۷۱ درصد)، اسید اولئیک (۲۰-۱۶ درصد) و اسید لینولنیک (۶-۱ درصد) است. به این دلیل، گلرنگ به عنوان یکی از گیاهان مهم روغنی شناخته شده است [۲]. در کشورهای آسیایی از بذر و روغن این گیاه در طب سنتی برای درمان بیماری‌های تنفسی، روماتیسم و پوکی استخوان استفاده می‌شود [۳].

به طورکلی تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند انتقال آب و مواد غذایی، حرکت روزنه‌ای، فتوسنتز، تنفس و انتقال اسمولیت‌ها در گیاهان می‌شود [۴]. علاوه بر این، در اثر تنش کم آبی مقدار زیادی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در کلروپلاست و میتوکندری تجمع می‌یابند که موجب ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شوند و این مولکول‌ها عموماً شامل رادیکال‌های آنیونی سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن هستند [۵]. پاسخ دفاعی گیاه در این شرایط افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و انواع متابولیت‌های ثانویه نظیر ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی است. در صورتی که شدت تنش بیش از حد تحمل گیاه باشد بین رادیکال‌های آزاد تولیدی و عوامل آنتی‌اکسیدانی عدم توازنی ایجاد می‌شود که منتج به افزایش اکسیداسیون پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و بالا رفتن تولید مالون دی‌آلدهید شده و درنهایت، پتانسیل فتوسنتزی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۶]. بنابراین درک مکانیسم‌های مقاومت گیاهان نسبت به این تنش در سطوح مختلف فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی می‌تواند راهی در جهت افزایش عملکرد گیاهان در شرایط نامطلوب محیطی باشد.

جاسمونیک اسید از جمله مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که از طریق افزایش ذخیره کلروفیل و در نتیجه افزایش مقدار فتوسنتز خالص، موجب تحمل به تنش خشکی در گیاه می‌شود [۷]. تحت شرایط تنش خشکی جاسمونیک اسید باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و نیز افزایش میزان اسید آبسیزیک و اسمولیت‌های داخلی گیاه گیاه می‌شود. این ترکیب همچنین در افزایش فعالیت آنزیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و اسکوربات پراکسیداز نقش دارد [۸].

گیاه گلرنگ در کلیه مراحل رشدی از جمله جوانه‌زنی، رویشی، گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها نسبت به تنش خشکی حساس بوده و بر اساس گزارشات موجود در مرحله جوانه زنی دارای بیشترین حساسیت است. به طور کلی تنش خشکی، شرایط نموی گیاه را تحت تأثیر یک سلسله واکنش‌های فیزیولوژیک قرار می‌دهد که نهایتاً منجر به کاهش رشد و عملکرد می‌شود [۶]. یکی از مراحل مهم فیزیولوژیکی در طول دانه‌بندی گلرنگ، انتقال مواد جذب شده قبل از گلدهی به دانه است که به شدت متأثر از شرایط خشکی است. میزان دانه‌بندی بستگی به فتوسنتز، توزیع مجدد ماده خشک از بافت‌های رویشی به دانه‌ها در طول مدت دانه‌بندی و ظرفیت مواد ذخیره شده دارد [۹]. با توجه به تحقیقات انجام شده، کشت گیاهانی مانند گلرنگ تحت تنش‌های محیطی در صورتی مقرون به صرفه خواهد بود که مواد شیمیایی و یا تنظیم کننده‌های رشدی به صورت استعمال خارجی برای جبران خسارات حاصل از تنش، مورد استفاده قرار گیرند [۱۰]. لذا این تحقیق با هدف بررسی اثرات تنش خشکی روی برخی صفات فیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی، میزان روغن و محتوای اسید چرب گیاه گلرنگ و نقش اسید جاسمونیک به عنوان عامل تعدیل‌کننده اثرات زیان‌بار این تنش اجرا شد.



www.SID.ir

Archive of SID



## مواد و روش‌ها

**شرایط کاشت گیاه و اعمال تیمار تنش خشکی و اسید جاسمونیک**

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۵ گیاه در هر تکرار در شرایط گلخانه ای انجام شد. فاکتور اول شامل ۴ سطح آبیاری به ترتیب ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (FC)، ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (FC ۰/۸)، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (FC ۰/۶)، ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (FC ۰/۴) و فاکتور دوم نیز شامل سه سطح جاسمونیک اسید به ترتیب با غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار بود.

برای اعمال تنش خشکی از روش وزنی با میانگین ۴ گلدان (به ابعداد ۳۰ × ۳۳ سانتی‌متر) استفاده شد. ابتدا برای زهکشی مناسب خاک، در کف هر گلدان مقادیر مساوی از سنگ‌ریزه ریخته شد به گونه‌ای که تمام گلدان‌ها هم وزن باشند. پس از آن هر گلدان با ده کیلو خاک پر شد و با افزودن آب به حالت اشباع رسید. برای ممانعت از تبخیر آب سطح هر گلدان با فویل آلومینیومی پوشانده شد و پس از ۲۴ ساعت که آب ثقلی خارج شد هر روز رطوبت آن با نمونه‌برداری و خشک کردن در داخل آون تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد، تا زمانیکه رطوبت آن به یک حد ثابت برسد. جهت محاسبه درصد رطوبت خاک از فرمول زیر استفاده شد:

۱۰۰ × (وزن ثانویه)/ (وزن ثانویه – وزن اولیه) = درصد رطوبت خاک

بذر گیاه گلرنگ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. به منظور ضدعفونی، ابتدا بذرها با آب معمولی شسته شدند، سپس به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد قرار گرفتند و بلافاصله به محلول هیپوکلرید سدیم ۱/۵ درصد حاوی چند قطره توین ۸۰ به مدت ۳۰ دقیقه انتقال یافتند و درنهایت ۳ بار با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. کاشت بذور استریل در گلدان‌های حاوی خاک استریل انجام شد. همه گلدان‌ها تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها به طور منظم آبیاری شدند و چهار هفته پس از کشت، تیمارهای تنش خشکی و اسید جاسمونیک (ساخت شرکت Sigma-Aldrich با بیش از ۹۷ درصد خلوص) به طور هم زمان اعمال شد. برای تهیه غلظت‌های مشخص از ترکیب جاسمونیک اسید، ابتدا مقدار مورد نیاز از این ماده در ۱۰ میلی لیتر اتانول حل شده و سپس محلول با آب مقطر استریل به حجم موردنظر رسانده شد. محلول‌پاشی جاسمونیک اسید به صورت دو نوبت در مرحله رویشی (چهار و شش هفته پس از کشت) به فاصله دو هفته از یکدیگر و یک نوبت در مرحله زایشی انجام گرفت. همچنین گیاهان شاهد با آب مقطر استریل حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اتانول، محلول‌پاشی شدند.

**اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)**

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، برگ‌های گیاه بلافاصله پس از برداشت وزن شدند (FW) و به مدت ۱۶ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند تا وزن اشباع (TW) آن به دست آید. سپس برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون تحت دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از توزین، وزن خشک (DW) آنها تعیین شد. درنهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$RWC\ (\%) = ((FW - DW) / (TW/ FW) \times 100$$

**اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی**

تعیین میزان پروتئین کل با استفاده از روش Bradford و همکاران (۱۹۷۶) انجام گرفت [۱۱]. اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز (Lu et al., 2009) و گلوتاتیون پراکسیداز (Haluskova et al., 2009) با استفاده از روش‌های گزارش شده پیشین انجام گرفت [۱۳، ۱۲]. نتایج به دست آمده بر حسب واحد بر میلی‌گرم پروتئین ارائه شد. در این آزمایش، به منظور بررسی اثرات مخرب پراکسیداسیون چربی روی سلول گیاهی مقادیر مالون دی‌آلدهید (MDA) نیز اندازه‌گیری شد. این ارزیابی با روش Lu و همکاران (۲۰۰۹) و با استفاده از اسپکتروفتومتر انجام شد [۱۲]. غلظت MDA از طریق ضریب جذب نور با شدت $10^6 \times$ ۱۵۵ سانتی‌متر مربع در مول محاسبه شد. مقدار پرولین آزاد در برگ‌های تازه مطابق روش Bates و همکاران



www.SID.ir

Archive of SID



تعیین شد [۱۴] و اسید آبسزیک با استفاده از روش Vernieri و همکاران (۱۹۸۹)اندازه‌گیری شد [۱۵].

**تعیین محتوای تام فنولی و فلاونوئیدی**

استخراج ترکیبات تام فنولی و فلاونوئیدی گیاه گلرنگ با استفاده از روش خیساندن و حلال متانول انجام گرفت. اندازه گیری میزان محتوای فنولی و فلاونوئیدی عصاره‌های به دست آمده به ترتیب با استفاده از روش‌های رنگ سنجی فولین- سیکالتیو و کلرید آلومنیوم انجام گرفت و نتایج به دست آمده به ترتیب بر حسب میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم عصاره (mg GAEs/g) و میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم عصاره (mg QEs/g) بیان شد [۱۶].

**استخراج روغن و اندازه‌گیری اسید چرب**

استخراج روغن از بذور رسیده گلرنگ با دستگاه سوکسله و با استفاده از حلال هگزان انجام گرفت. پس از حذف حلال توسط دستگاه روتاری میزان روغن برای هر نمونه به صورت درصد گزارش شد. فرآیند تولید متیل استر از اسیدهای چرب و آنالیز آنها توسط کروماتوگرافی گازی ( GC, Younglin 6500) با استفاده از روش گزارش شده توسط Hama (۲۰۱۷)انجام گرفت [۱۷].

**تجزیه و تحلیل آماری**

برای محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶/۰ استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد.

## نتایج

همان‌گونه که انتظار می‌رفت محتوای نسبی آب برگ در رژیم‌های مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری داشت (جدول شماره ۱) و بیشترین و کمترین مقدار آن معادل ۸۸/۷۸ درصد و ۷۰/۶۷ درصد به ترتیب در تیمارهای FC و FC ۰/۴ مشاهده شد (جدول شماره ۲). اعمال غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید در حفظ محتوای نسبی آب برگ‌های گیاه گلرنگ نقش مؤثری ایفا نمود به گونه‌ای که محتوای نسبی آب گیاهان رشد یافته تحت تیمار ۱ میلی‌مولار جاسمونیک اسید (۸۴/۴۲ درصد) به شکل معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) بالاتر از نمونه‌های کنترل (۷۸/۸۳ درصد) بود. بررسی میزان فعالیت سه آنزیم آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز در گیاهان گلرنگ کشت شده تحت رژیم های مختلف آبیاری و غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید نشان داد که میزان فعالیت این آنزیم‌ها به شکل معنی‌داری تحت تأثیر این تیمارها قرار گرفت (جدول شماره ۱). بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز (به ترتیب معادل ۱۰۷/۸۰، ۱۴۵۴ و ۲۱۶/۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در گیاهان رشد یافته در شرایط FC ۰/۴ مشاهده شد. اعمال تیمار جاسمونیک اسید نیز نشان داد که با افزایش غلظت این ماده میزان فعالیت هر سه آنزیم افزایش یافت به شکلی که در تیمار ۱ میلی‌مولار جاسمونیک اسید میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز به ترتیب ۸۴/۹، ۱۱۱۳ و ۱۸۰/۵ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بود که در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده با غلظت صفر میلی‌مولار جاسمونیک اسید به شکل معنی‌داری فعالیت بالاتری را نشان دادند (جدول شماره ۲). بر اساس تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده، هم تنش رژیم آبیاری و هم تیمار جاسمونیک اسید به شکل معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میزان ترکیب مالون دی‌آلدهید اثرگذار است (جدول شماره ۱). برطبق داده‌های حاصل، مقدار مالون دی‌آلدهید با بالاتر رفتن شدت خشکی به شکل معنی‌داری افزایش یافته و بالاترین مقدار این ترکیب در شرایط FC ۰/۴ به دست آمد (۹۸/۴۷ میکرومول بر گرم وزن تر). اعمال تیمار جاسمونیک اسید باعث کاهش ترکیب مالون دی‌آلدهید در گیاه گلرنگ شد. نمونه‌های گیاهی تیمار شده با محلول جاسمونیک اسید ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به ترتیب با داشتن ۸۶/۸ و ۸۴/۷۵ میکرومول بر گرم وزن تر در مقایسه با گیاهان شاهد (حاوی ۹۱/۶۵ میکرومول بر گرم وزن تر) به شکل قابل توجهی دارای مالون دی‌آلدهید پائین‌تری بودند (جدول شماره ۲).



www.SID.ir

Archive of SID



جدول شماره ۱- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و غلظت‌های متفاوت جاسمونیک اسید بر صفات مورد مطالعه در گیاه گل‌رنگ

| منبع تنوع | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | محتوی نسبی آب برگ | کاتالاز | سوپر اکسید دیسموتاز | گلوتاتیون پراکسیداز | مالون دی‌آلدهید | پرولین | اسید آبسیزیک | محتوای فنولی | محتوای فلاونوئیدی |
| رژیم آبیاری | ۳ | ۵۵۰/۱۵** | ۴۵۵۹/۲۰۰** | ۷۹۹۱۹۸/۲** | ۱۲۰۳۰/۱** | ۹۲۱/۸۰** | ۲۶۰۰/۸۷** | ۹۹۱۶/۶** | ۳۲۰۰/۶** | ۲۳۲/۵۷** |
| جاسمونیک اسید | ۲ | ۹۹/۳۶* | ۴۵۳/۷* | ۱۲۷۲۳/۴** | ۸۱۹/۸* | ۱۵۰/۶۲** | ۴۵/۱۶ ns | ۴۰/۶ ns | ۱/۵۶۱/۰** | ۶۲۶/۵** | ۱۳۲/۶/۲** |
| اثر متقابل رژیم آبیاری× جاسمونیک اسید | ۶ | ۲۶/۴۰ ns | ۱۱۴/۵ ns | ۱۳۸۵/۳ ns | ۵۷/۷ ns | ۱۷/۹۱ ns | ۱/۵۲ ns | ۸/۹ ns | ۰/۰۶۳۳ ns | ۸۴/۷** | ۶۲/۶۵** |
| خطای آزمایش | ۲۶ | ۲۶/۶۹ | ۱۰۹ | ۹۲۲/۵ | ۱۵۶/۱ | ۱۰/۸۴ | ۲۲/۴۷ | ۱۱۸/۷ | ۰/۰۸۷ | ۶/۹۷ | ۵/۰۹۵ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۶/۴ | ۱۳/۳ | ۲/۸ | ۷/۲ | ۳/۸ | ۷/۲ | ۹/۹ | ۱۴/۳ | ۳/۴ | ۵/۲ |

ns، * و **، به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

جدول شماره ۲- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه در گل‌رنگ تحت سطوح مختلف جاسمونیک اسید و رژیم‌های آبیاری

| تیمار | | محتوی آب برگ (درصد) | کاتالاز (واحد بر میلی گرم پروتئین) | سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی گرم پروتئین) | گلوتاتیون پراکسیداز (واحد بر میلی گرم پروتئین) | مالون دی‌آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تر) | پروتئین (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رژیم‌های آبیاری | FC | ۸۸/۷۸ a | ۵۸/۲۱ c | ۷۹۶d | ۱۳۱/۷d | ۷۵/۱۱d | ۱/۴۹ c |
| | ۰/۸FC | ۸۵ ab | ۶۴/۱۰ c | ۸۸۹c | ۱۵۷/۵c | ۸۲/۳۵ c | ۲/۰۱ b |
| | ۰/۶ FC | ۸۰/۴۴ b | ۸۵/۰۵ b | ۱۱۷۵b | ۱۸۴/۵b | ۹۳/۰۱ b | ۲/۲۹ ab |
| | ۰/۴ FC | ۷۰/۶۷ c | ۱۰۷/۸۰ a | ۱۴۵۴ a | ۲۱۶/۹a | ۹۸/۴۷ a | ۲/۴۵ a |
| جاسمونیک اسید | صفر (شاهد) | ۷۸/۸۳ b | ۷۲/۶۱ b | ۱۰۴۸ c | ۱۶۴ b | ۹۱/۶۵ a | ۱/۲۳ c |
| | ۰/۵ میلی مولار | ۸۰/۴۲ ab | ۷۸/۸۶ ab | ۱۰۷۵ b | ۱۷۳/۴ ab | ۸۶/۸۰ b | ۲/۰۱ b |
| (میلی مولار) | ۱ میلی مولار | ۸۴/۹۲ a | ۸۲/۹۰ a | ۱۱۱۳ a | ۱۸۰/۵ a | ۸۲/۷۵ b | ۲/۴۴ a |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (دانکن ۵ درصد).



www.SID.ir

Archive of SID



بر اساس تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان پرولین و آبسیزیک اسید گیاه گلرنگ، می‌توان مشاهده کرد که رژیم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد روی هر دوی این صفات تأثیرگذار بوده در حالی که تیمار جاسمونیک اسید اثر معنی‌داری در مقدار ترکیبات مذکور نداشته است (جدول شماره ۱). شکل شماره ۱ مقدار پرولین و آبسیزیک اسید موجود در گیاهان گلرنگ کشت شده تحت رژیم های مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. به خوبی قابل مشاهده است که با افزایش شدت خشکی اعمال شده بر گیاهان، مقدار هر دو ترکیب به شکل معنی‌داری افزایش یافته است. بالاترین مقدار پرولین و آبسیزیک اسید به ترتیب معادل ۹۱/۲ میکرومول بر گرم وزن تر و ۱۴۶/۵ پی‌پی‌ام در گیاهان تحت تیمار FC ۰/۴ مشاهده شد که در مقایسه با کنترل به ترتیب ۱۰۴ و ۹۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد.

اعمال رژیم‌های آبیاری و استفاده از جاسمونیک اسید اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد روی مقدار پروتئین گیاه گلرنگ داشت (جدول شماره ۱)، به نحوی که مقدار پروتئین در تیمار شاهد آبیاری (۱/۴۹ درصد) با سایر تیمارها تفاوت قابل توجهی نشان داد. اعمال تنش خشکی منجر به افزایش تولید پروتئین در گیاه گلرنگ شده و بالاترین مقدار پروتئین معادل ۲/۴۵ درصد در گیاهان رشد یافته تحت شرایط FC ۰/۴ به دست آمد. افزایش غلظت جاسمونیک اسید نیز باعث بالا رفتن مقدار پروتئین در گیاهان شد به گونه‌ای که نمونه‌های تیمار شده با غلظت ۱ میلی‌مولار جاسمونیک اسید با دارا بودن ۲/۴۴ درصد پروتئین در مقایسه با نمونه شاهد ۴۱/۴ درصد رشد را نشان می‌دهد.

محتوای فنولی و فلاونوئیدی گیاه گلرنگ تحت تأثیر رژیم های آبیاری و تیمارهای جاسمونیک اسید به شکل معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) تغییر پیدا کرد (جدول شماره ۱). بر اساس نتایج حاصل بیشترین مقدار هر دوی این ترکیبات به ترتیب با مقادیر ۱۱۹/۴۳ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم عصاره و ۸۰ میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم عصاره، در گیاهان کشت شده در شرایط FC ۰/۴ تحت تیمار ۱ میلی‌مولار جاسمونیک اسید مشاهده شد (شکل شماره ۲). با مقایسه نتایج به دست آمده به وضوح نقش افزایش‌دهنده تیمارهای اعمالی بر مقدار این متابولیت‌های ثانویه اثبات می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه روغن گلرنگ نشان داد که هر دو تیمار رژیم‌های آبیاری و جاسمونیک اسید درصد کل روغن را در سطح معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) تحت تأثیر قرار داده‌اند (جدول شماره ۳). با افزایش شدت تنش آبی مقادیر روغن کاهش یافته اما با افزودن جاسمونیک اسید میزان آن، روند افزایشی داشته است (جدول شماره ۴). درصد روغن تحت تیمار ۱ میلی‌مولار جاسمونیک اسید افزایش معنی‌داری نسبت به دو تیمار شاهد و ۰/۵ میلی‌مولار نشان داد (شکل شماره ۳).

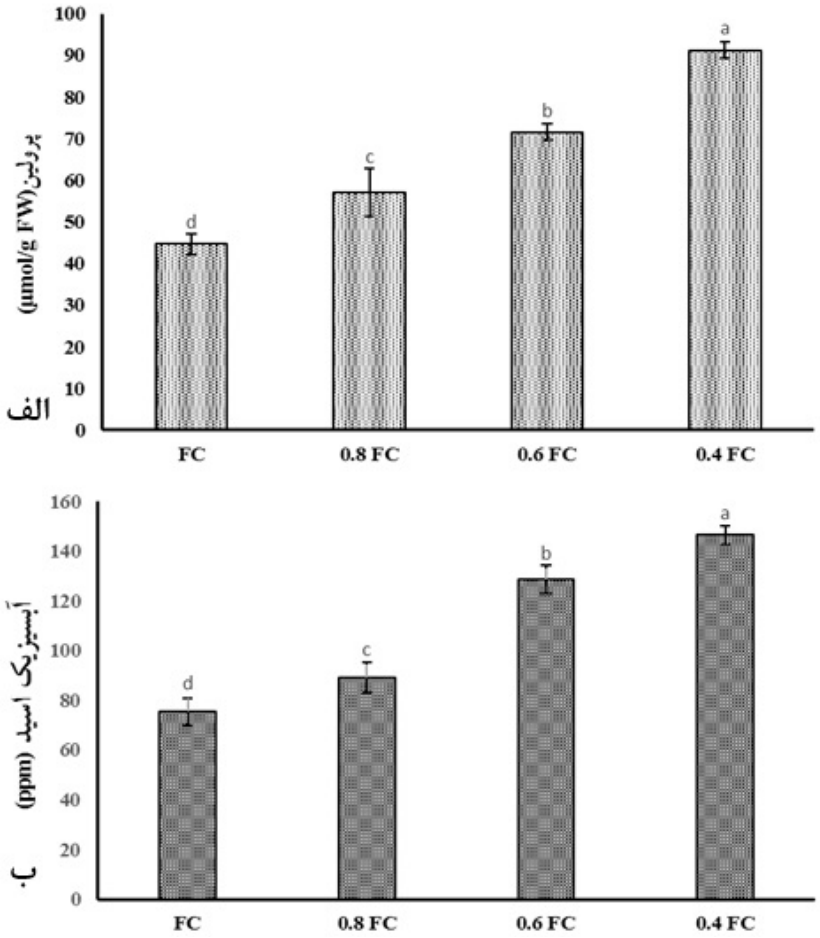
پالمتیک اسید، استئاریک اسید، اولئیک اسید و لینولئیک اسید چهار اسید چرب اصلی موجود در روغن گلرنگ است (شکل شماره ۴). بر اساس نتایج به دست آمده درصد این ترکیبات تحت رژیم‌های مختلف آبی اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول شماره ۳). بیشترین مقدار استئاریک و لینولئیک اسید (به ترتیب با مقادیر ۲/۹۹ و ۷۴/۰۰ درصد) در گیاهان کشت شده تحت شرایط نرمال آبیاری (FC) مشاهده شد، در حالی که مقدار پالمتیک اسید تحت تنش خشکی افزایش یافت، اما شدت این تنش تأثیر معنی‌داری در افزایش مقدار آن نداشت (جدول شماره ۴). روند حاکم بر تغییرات میزان اولئیک اسید با دیگر اسیدهای چرب متفاوت بود. اعمال تنش خشکی در حد ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش مقدار اولئیک اسید شد اما در روندی معکوس، تنش خشکی شدید (FC ۰/۴) منجر به کاهش محسوس مقدار این ترکیب شد. نتایج به دست آمده نشان داد که اعمال تیمار جاسمونیک اسید تأثیر معنی‌داری در تغییر مقدار اسیدهای چرب مورد مطالعه نداشت (جدول شماره ۳).



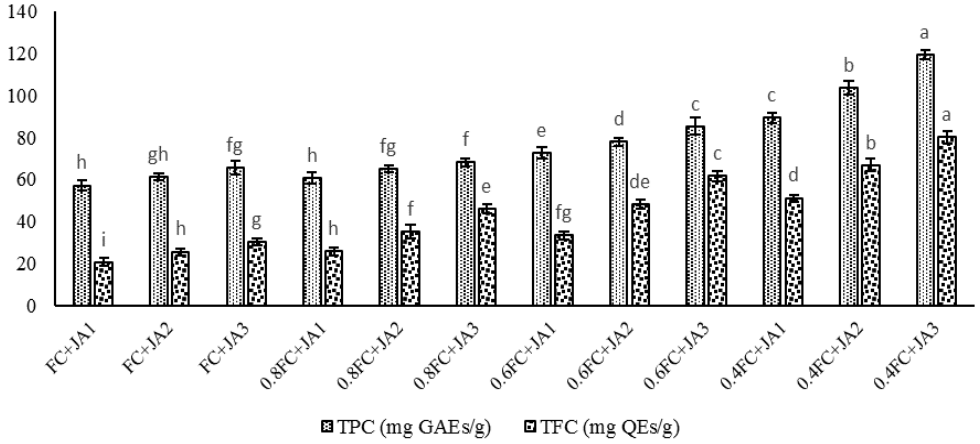
www.SID.ir

Archive of SID






**شکل شماره ۱- مقایسه مقدار پرولین (الف) و اسید آبسیزیک (ب) گیاه گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، بارهای روی هر ستون بیانگر انحراف معیار می‌باشد.**




**شکل شماره ۲- مقایسه محتوای فنولی و فلاونوئیدی گیاه گلرنگ تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی و جاسمونیک اسید. مقادیر دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد. بارهای روی هر ستون بیانگر انحراف معیار می‌باشد.**



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول شماره ۳- تجزیه واریانس اثر جاسمونیک اسید و رژیم‌های مختلف آبیاری بر درصد روغن و محتوای اسید چرب گیاه گلرنگ**

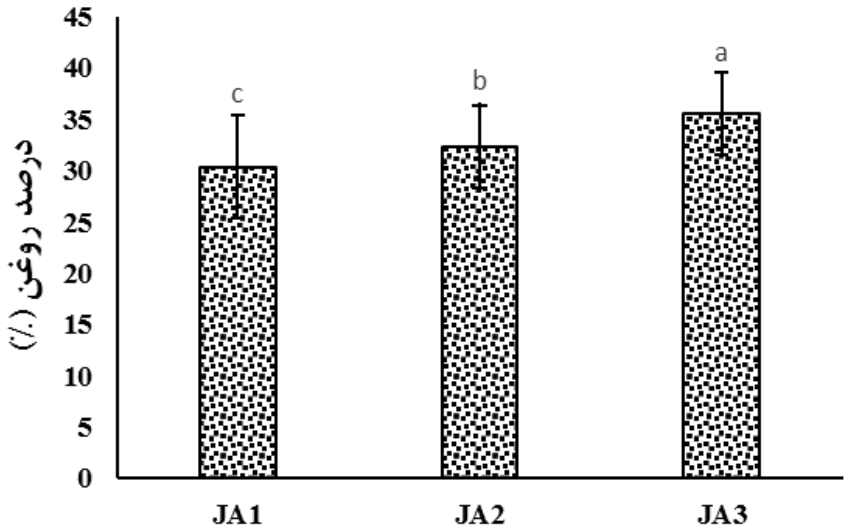
| | | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| منبع تنوع | درجه آزادی | درصد روغن | پالمیتیک اسید | استئاریک اسید | اولئیک اسید | لینولئیک اسید |
| رژیم آبیاری | ۳ | ۱۶۸/۲۹۰** | ۰/۲۷۳۷۷* | ۱/۰۷۵۸۱** | ۹/۶۷۸۲** | ۶۶/۲۶۱** |
| جاسمونیک اسید | ۲ | ۸۳/۹۲۸** | ۰/۲۱۸۲۰ ns | ۰/۰۰۱۳۱ ns | ۰/۱۱۵۹ns | ۰/۲۲۶ ns |
| اثر متقابل رژیم آبیاری × جاسمونیک اسید | ۶ | ۴/۲۶۲ ns | ۰/۰۱۲۱۴ ns | ۰/۰۰۰۴۰ ns | ۰/۰۲۸۵ ns | ۰/۵۴۵ ns |
| خطای آزمایش | ۲۴ | ۳/۸۴۰ | ۰/۰۶۶۸۷ | ۰/۰۷۵۹۰ | ۰/۲۵۰۰ | ۱/۰۷۰ |
| ضریب تغییرات (درصد) | – | ۶/۰ | ۶/۳ | ۱۰/۳ | ۳/۷ | ۱/۵ |

* و **، به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

**جدول شماره ۴- مقایسه میانگین درصد روغن و محتوای اسید چرب در گیاه گلرنگ تحت سطوح مختلف جاسمونیک اسید و رژیم‌های آبیاری**

| رژیم آبیاری | روغن کل (درصد) | پالمیتیک اسید (درصد) | استئاریک اسید (درصد) | اولئیک اسید (درصد) | لینولئیک اسید (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| FC | ۳۶/۰۸ a | ۳/۸۸ b | ۲/۹۹a | ۱۳/۸۴b | ۷۴/۰۰a |
| ۰/۸ FC | ۳۵/۴۶ a | ۴/۱۵ a | ۲/۸۶ ab | ۱۳/۹۲ab | ۷۱/۷۲b |
| ۰/۶ FC | ۳۲/۸۵ b | ۴/۱۹ a | ۲/۶۱ b | ۱۴/۳۵a | ۷۰/۴۱ c |
| ۰/۴ FC | ۲۶/۶۲ c | ۴/۲۹ a | ۲/۲۰ c | ۱۲/۰۱c | ۶۷/۵۰d |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند (دانکن ۵ درصد).



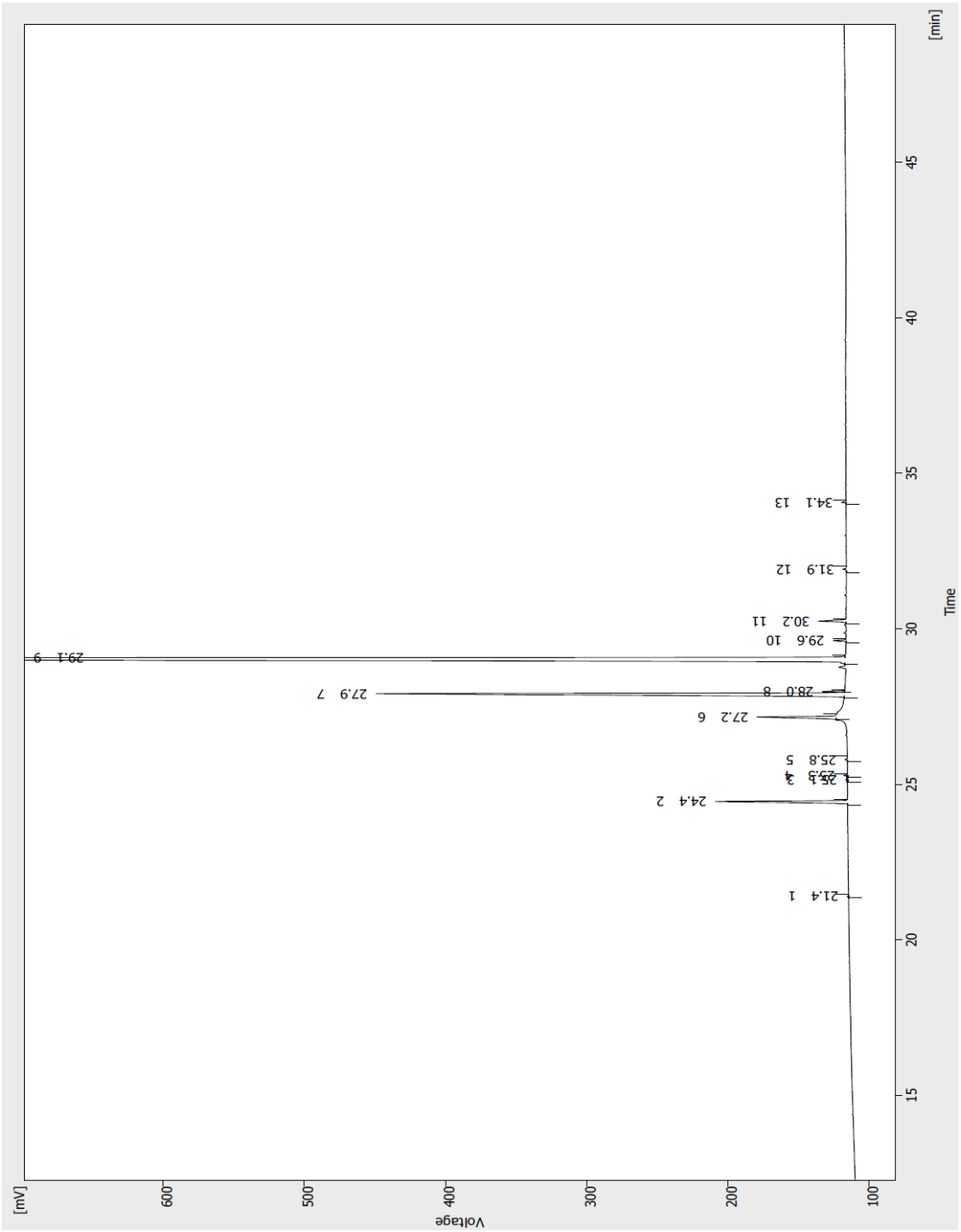

**شکل شماره ۳- مقایسه درصد روغن تحت تیمارهای مختلف جاسمونیک اسید (JA1، JA2 و JA3 به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار جاسمونیک اسید می‌باشد)، بارهای روی هر ستون بیانگر انحراف معیار می‌باشد.**



www.SID.ir

Archive of SID






**شکل شماره ۴- کروماتوگرام GC مربوط به آنالیز اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده روغن گیاه گلرنگ**



www.SID.ir

Archive of SID



## بحث

در گیاهان عالی، تحمل نسبت به تنش خشکی با سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ارتباط مستقیم دارد [۱۸]. گیاهان با افزایش فعالیت آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز با گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که تحت شرایط خشکی در بافت گیاه افزایش می‌یابند، مقابله می‌کنند. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تنش خشکی در برنج آپلند [۵]، نخود [۱۹] و گندم [۲۰] گزارش شده است. میزان خسارت ایجاد شده از طریق گونه‌های فعال اکسیژن تا حد زیادی با تعادل بین تولید آنها و میزان فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانتی مرتبط است [۲۱]. بالا رفتن بیش از اندازه مقدار این رادیکال‌های آزاد موجب ایجاد خسارت در غشای سلولی می‌شود که بارزترین این خسارات پراکسیداسیون اسیدهای چرب موجود در غشاء است. این تغییر ایجاد شده در اسیدهای چرب غشای سلول منتج به تولید ترکیبات کوچکی مانند مالون دی‌آلدهید می‌شود که محصول نهایی پراکسیداسیون چربی هاست و افزایش مقدار این ترکیب علامتی از آسیب غشای سلول می‌باشد [۲۲]. بنابر نتایج این مطالعه، علی‌رغم افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی همزمان با شدت یافتن تنش خشکی، مقادیر مالون دی‌آلدهید تولید شده نیز دارای روند صعودی معنی‌داری است. با توجه به اینکه میزان مالون دی‌آلدهید تولید شده شاخصی برای نشان دادن آسیب غشای سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌هاست، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی به عنوان مکانیسم دفاعی گیاه برای جبران خسارت این سطوح از تنش کم آبی کافی نبوده است. کاربرد خارجی جاسمونیک اسید راه حل دیگری جهت کمک به گیاه برای مقابله با تنش‌های محیطی از جمله خشکی است که می‌تواند با تقویت مکانیسم دفاعی گیاه از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و کاهش پراکسیداسیون چربی‌های غشایی خسارت ایجاد شده را جبران نماید. همانگونه که در نتایج به دست آمده قابل مشاهده است، مصرف جاسمونیک اسید توانسته است افزایش معنی دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و همچنین کاهش معنی‌دار مالون دی‌آلدهید را در پی داشته باشد. افزایش مقدار تولید مالون دی‌آلدهید به عنوان شاخص اصلی تنش اکسیداتیو و نقش بسیار مهم جاسمونیک اسید در کاهش این تنش، از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و پایین آوردن میزان مالون دی‌آلدهید در گیاهانی مانند کلزا و نعنا فلفلی به اثبات رسیده است [۲۳، ۲۴].

آبسیزیک اسید از جمله فیتوهورمونهایی است که محل اصلی تولید آن سلول‌های محافظ روزنه بوده و در شرایط محدودیت آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود [۲۵]. در این مطالعه نیز، مقدار آبسیزیک اسید همراه با افزایش شدت تنش آبی افزایش یافته است و این امر دلیلی برای تأیید نقش حفاظتی این ترکیب در پاسخ گیاه به شرایط خشکی است.

متابولیت‌های ثانویه ترکیبات متنوعی هستند که به طور گسترده در گیاهان وجود داشته و در فرآیندهای مختلف رشد و نمو آنها دخالت دارند. اثرات بیولوژیکی و دارویی متعددی مانند توانایی مهار رادیکال‌های آزاد، اثرات آنتی‌اکسیدانتی، ضدالتهابی، ضدسرطانی و ضدباکتریایی از این ترکیبات گزارش شده است. میزان و نوع محتوای متابولیتی گیاهان در شرایط نامطلوب محیطی تغییر می‌یابد و در پاسخ‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی نقش اساسی ایفا می‌کند [۲۷، ۲۶]. ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی از جمله مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که فعالیت آنتی‌اکسیدانتی داشته و از طریق حذف رادیکال‌های آزاد باعث مقاومت گیاهان در برابر تنش های اکسیداتیو می‌شوند [۲۸]. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان فنول و فلاونوئید در گیاه گلرنگ افزایش پیدا کرد. افزایش میزان ترکیبات ذکر شده تحت تنش خشکی در گیاهان مختلفی مانند *Catharanthus roseus* [۲۹]، *Withania somnifera* [۳۰] و *Dendrobium moniliforme* [۳۱] گزارش شده است. در این مطالعه کاربرد جاسمونیک اسید نیز باعث افزایش معنی‌داری در محتوای فنول و فلاونوئید گیاه گلرنگ شد. این افزایش که از طریق تأثیر بر مسیرهای متابولیکی گیاه اتفاق می‌افتد در گیاهان دیگری نظیر ریحان نیز گزارش شده است [۳۲].

کیفیت و ویژگی‌های تغذیه‌ای روغن گلرنگ به میزان زیادی با خصوصیات بیوشیمیایی و بویژه، ترکیبات اسید چرب موجود در آن مرتبط بوده و این صفات به شدت تحت تأثیر تنش‌های غیرزنده از جمله تنش خشکی قرار می‌گیرند.



www.SID.ir

Archive of SID



بنابراین، در این مطالعه میزان و روند تغییرات مقدار روغن و محتوای اسید چرب این گیاه تحت شرایط تنش آبی بررسی شد. نتایج تجزیه روغن و ترکیبات اسید چرب نشان داد که درصد روغن کل در سطوح مختلف دو تیمار رژیم‌های آبیاری و جاسمونیک اسید تفاوت معنی‌داری داشتند اما روند این تغییرات در دو تیمار کاملاً معکوس بود. به طوری که درصد روغن کل با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت اما با افزایش میزان جاسمونیک اسید، میزان روغن بیشتری در گیاه گلرنگ تولید شد. همانگونه که قبلاً نیز بیان شد تنش خشکی موجب اختلال در اکثر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه می‌شود که تولید روغن نیز یکی از این مجموعه فرآیندها است و جاسمونیک اسید یک عامل مقابله کننده با عوامل نامطلوب محیطی مؤثر در رشد گیاه می‌باشد. با توجه به اهمیت اسیدهای چرب و کاربرد فراوان آنها در صنایع غذایی و دارویی، مطالعات متعددی در زمینه اثر عوامل محیطی در مقدار این ترکیبات در گیاهان مختلف انجام گرفته است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای روی گیاه سویا گزارش شد که میزان اسیدهای چرب تولید شده در شرایط آبیاری مناسب بیشتر از مقادیر آنها تحت شرایط تنش خشکی بوده است [۳۳]. در بررسی اثر تنش خشکی روی میزان روغن و ترکیبات اسید چرب در ۵ گونه از جنس *Carthamus* از جمله *Carthamus tinctorius*، گزارش شد که پاسخ گونه‌ها نسبت به شرایط تنش متفاوت بود. به عنوان مثال، تغییرات مقدار روغن تحت این نوع تنش فقط در یک گونه از نظر آماری معنی‌دار بوده و در بقیه موارد تحت شرایط نرمال آبیاری و تنش معنی‌دار نبوده است. همچنین، در این مطالعه بیان شده که در شرایط تنش نسبت به آبیاری نرمال در هر ۵ گونه، میزان اسید اولئیک افزایش و اسید لینولئیک کاهش یافت [۳۴]. در مطالعه‌ای دیگر روی میزان روغن و ترکیبات اسید چرب بادام تحت تنش خشکی گزارش شد که نسبت اسید اولئیک به اسید لینولئیک در شرایط کمبود آب متوسط، افزایش یافته اما با شدت یافتن کمبود آب، این نسبت کاهش می‌یابد [۳۵]. این روند با نتایج حاصل از تحقیق حاضر در تطابق کامل می‌باشد.

درنهایت می‌توان نتیجه گرفت که اعمال تیمار جاسمونیک اسید به عنوان یک محرک در گیاه گلرنگ می‌تواند با کاهش تأثیرات منفی تنش خشکی روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، موجب بهبود رشد و افزایش متابولیت‌های ثانویه‌ی این گیاه دارویی شود.

## منابع


**1.** Rahamatalla A, Babiker E, Krishna A and Tinay AE. Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. *Plant Foods Hum. Nutr*. 2001; 56: 385 - 95.

**2.** Yeilaghi H, Arzani A, Ghaderian M, Fotovat R, Feizi M and Pourdad SS. Effect of salinity on seed oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Food Chem.* 2012; 130: 618 - 25.

**3.** Khalid N, Khan RS, Hussain MI, Farooq M, Ahmad A and Ahmed I. A comprehensive characterisation of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient-A review. *Trends Food Sci. Technol*. 2017; 66: 176 - 86.

**4.** Jaleel CA, Gopi R, Sankar B, Gomathinayagam M and Panneerselvam R. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *C. R. Biol*. 2008; 331: 42 - 7.

**5.** Lum MS, Hanafi M, Rafii Y and Akmar A. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *J. Anim. Plant Sci*. 2014; 24: 1487 - 93.

**6.** Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra S. Plant drought stress: effects, mechanisms and management, Sustainable agriculture. Springer. 2009, pp. 153 - 88.

**7.** Martin D, Tholl D, Gershenzon J and Bohlmann J. Methyl jasmonate induces traumatic resin ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid




www.SID.ir

Archive of SID



accumulation in developing xylem of Norway spruce stems. *Plant Physiol.* 2002; 129: 1003 - 18.

**8.** Wu H, Wu X, Li Z, Duan L and Zhang M. Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* L.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. *J. Plant Growth Regul*. 2012; 31: 113 - 23.

**9.** Koutroubas SD and Papakosta DK. Seed filling patterns of safflower: Genotypic and seasonal variations and association with other agronomic traits. *Ind. Crop. Prod.* 2010; 31: 71 - 6.

**10.** Ghassemi-Golezani, K and Hosseinzadeh-Mahootchi A. Improving physiological performance of safflower under salt stress by application of salicylic acid and jasmonic acid. *WALIA J*. 2015; 31: 104 - 9.

**11.** Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem*. 1976; 72: 248 - 54.

**12.** Lu S, Su W, Li H and Guo Z. Abscisic acid improves drought tolerance of triploid bermudagrass and involves $H_2O_2$- and NO-induced antioxidant enzyme activities. *Plant Physiol. Biochem*. 2009; 47: 132 - 8.

**13.** Haluskova Lu, Valentovičová K, Huttová J, Mistrík I and Tamás L. Effect of abiotic stresses on glutathione peroxidase and glutathione S-transferase activity in barley root tips. *Plant Physiol. Biochem.* 2009; 47: 1069 - 74.

**14.** Bates LS, Waldern RP and Treare ID. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*. 1973; 39: 205 – 7.

**15.** Vernieri P, Perata P, Armellini D, Bugnoli M, Presentini R, Lorenzi R, Eccarelli N, Alpi A and Tognoni F. Solid phase radioimmunoassay for the quantitation of abscisic acid in plant crude extracts using a new monoclonal antibody. *J. Plant Physiol*. 1989; 134: 441 - 6.

**16.** Mafakheri S and Asghari B. Effect of Seaweed Extract, Humic Acid and Chemical Fertilizers on Morphological, Physiological and Biochemical Characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. *J. Agric. Sci. Technol*. 2018; 20: 1505 - 16.

**17.** Hama JR. Comparison of fatty acid profile changes between unroasted and roasted brown sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds oil. *Int. J. Food Prop.* 2017; 20: 957 - 67.

**18.** Khan A and Ashraf M. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environ. Exp. Bot*. 2008; 63: 224 - 31.

**19.** Kumar RR, Karajol K and Naik G. Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). *Rec. Res. Sci. Technol*. 2011; 3.

**20.** Hasheminasab H, Assad MT, Aliakbari A and Sahhafi SR. Influence of drought stress on oxidative damage and antioxidant defense systems in tolerant and susceptible wheat genotypes. *J. Agric. Sci.* 2012; 4: 1 - 20.

**21.** Guo Y, Tian S, Liu S, Wang W and Sui N. Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress. *Photosynthetica* 2018; 1 - 12.

**22.** Jia X, Sun C, Li G, Li G, Chen G. Effects of progressive drought stress on the physiology, antioxidative enzymes and secondary metabolites of Radix Astragali. *Acta Physiol. Plant.* 2015; 37: 262.

**23.** Kheiry A, Tori H and Mortazavi N. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iran. J. Med. Aromatic Plants* 2017; 33.

**24.** Alam MM, Nahar K, Hasanuzzaman M and Fujita M. Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different *Brassica* species. *Plant Biotechnol. Rep*. 2014; 8: 279 - 93.

**25.** Kuromori T, Seo M and Shinozaki K. ABA transport and plant water stress responses. *Trends Plant Sci*: 2018; 23 (6): 513-522.



www.SID.ir

Archive of SID



**26.** Akula R and Ravishankar, G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal. Behav*. 2011; 6: 1720 - 31.

**27.** Karker M, Falleh H, Msaada K, Smaoui A, Abdelly C, Legault J and Ksouri R. Antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities of the medicinal halophyte Reaumuria vermiculata. *EXCLI J*. 2016; 15: 297 - 307.

**28.** Jaleel CA, Riadh K, Gopi R, Manivannan P, Ines J, Al-Juburi HJ, Chang-Xing Z, Hong-Bo S and Panneerselvam R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiol. Plant*. 2009; 31: 427 - 36.

**29.** Jaleel CA, Manivannan P, Sankar B, Kishorekumar A, Gopi R, Somasundaram R and Panneerselvam R. Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. *Colloids Surf. B. Biointerfaces* 2007; 60: 201 - 6.

**30.** Singh R, Gupta P, Khan F, Singh SK, Sanchita Mishra T, Kumar A, Dhawan SS and Shirke PA. Modulations in primary and secondary metabolic pathways and adjustment in physiological behaviour of *Withania somnifera* under drought stress. *Plant Sci*. 2018; 272: 42 - 54.

**31.** Çoban Ö and Göktürk Baydar N. Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Ind. Crop. Prod*. 2016; 86: 251 - 8.

**32.** Złotek U, Szymanowska U, Karaś M, Świeca M. Antioxidative and anti-inflammatory potential of phenolics from purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves induced by jasmonic, arachidonic and β-aminobutyric acid elicitation. *Int. J. Food Sci. Technol*. 2016; 51: 163 - 70.

**33.** Nanos GD, Kazantzis I, Kefalas P, Petrakis C and Stavroulakis GG. Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition. *Sci. Hort*. 2002; 96: 249 - 56.

**34.** Nazari M, Mirlohi A and Majidi MM. Effects of drought stress on oil characteristics of *Carthamus* species. *J. Am. Oil Chem. Soc*. 2017; 94: 247 - 56.

**35.** Zhu Y, Taylor C, Sommer K, Wilkinson K and Wirthensohn M. Influence of deficit irrigation strategies on fatty acid and tocopherol concentration of almond (*Prunus dulcis*). *Food Chem*. 2015; 173: 821 - 6.



www.SID.ir

Archive of SID



# Effect of Jasmonic Acid on Physiological and Phytochemical Attributes and Antioxidant Enzymes Activity in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Water Deficient

**Khademian R (Ph.D.)[1]*, Ghorbani Nohooji M (Ph.D.)[2], Asghari B (Ph.D.)[3]**

1- Genetics and Plant Breeding Department, Agriculture and Natural Resources Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2- Medicinal Plants Research Center, Institute of Medicinal Plants, ACECR, Karaj, Iran
3- Department of Horticultural Sciences Engineering, Agriculture and Natural Resources Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
*Corresponding author: Genetics and Plant Breeding Department, Agriculture and Natural Resources Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
Tel: +98-28-33901246, Fax: +98-28-33780073
Email: r.khademian@eng.ikiu.ac.ir

## Abstract

**Background: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), is an important medicinal plant of Asteraceae family, which is a rich source of pharmaceutically active compounds including phenols, flavonoids and fatty acids. In traditional medicine this plant has been used as an herbal medicine to treat various diseases.**

**Objective: The aim of this study was to evaluate the role of jasmonic acid to protect safflower against drought damages.**

**Method: The greenhouse experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The first factor was irrigation regime, which was applied at four levels: field capacity (FC), 0.8 FC, 0.6 FC and 0.4 FC. The second factor was application of jasmonic acid in three concentrations (0, 0.5 and 1 mM).**

**Results: According to the obtained results activities of antioxidant enzymes including catalase, superoxide dismutase and glutathione peroxidase, and also the amount of compounds like abscisic acid, proline, malondealdehyde, protein, phenols and flavonoids contents were significantly increased in safflower by enhancement of water stress. Conversely, relative leaf water content (RWC) exhibited a significant decrease due to water deficit. According to the obtained results, application of jasmonic acid can mitigate the adverse effect of drought stress on the mentioned attributes. Also, the amount of main fatty acids in the oil were significantly changed due to water deficient.**

**Conclusion: The results illustrated that jasmonic acid has an important role in increasing safflower ability to cope against drought stress through improvement of antioxidant enzymes activities and enhancement of secondary methabolites.**

**Keywords: *Carthamus tinctorius*, Abiotic stress, Antioxidants, Fatty acids, Secondary metabolites**

www.SID.ir