تأثیر متیل جاسمونات بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس در شرایط تنش خشکی

سید مرتضی زاهدی[1*]، مرجان السادات حسینی[2]، فائزه محرمی[1]

[1] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه

[2] پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی منطقه مرکزی کشور، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰٤/۱٦، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵)

چکیده

متیل جاسمونات از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جدید به‌شمار می‌رود که در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی نقش مهمی دارد. به‌منظور بررسی اثر متیل جاسمونات بر توت‌فرنگی رقم پاروس تحت تنش خشکی آزمایشی در گلخانه دانشکده کشاورزی مراغه در سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. این آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل درصد تشکیل میوه، تعداد گل و میوه، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، b و کاروتنوئید، کربوهیدرات محلول، پرولین، آنتوسیانین و آنزیم کاتالاز بود. براساس نتایج به‌دست آمده، برهمکنش آبیاری و متیل جاسمونات بر کلیه شاخص‌های مورد بررسی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین درصد تشکیل میوه (۹۵/۲٪)، تعداد گل (۳۱/۲۵٪) و میوه (۲۰/۱۳٪)، عملکرد (۱۲۵/۲ گرم)، محتوای نسبی آب (۹۰/٦٤٪)، کلروفیل a (۱/۳۲ میلی‌گرم بر گرم)، b (۰/۷۷ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۲/۰۲ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین مقدار کربوهیدرات محلول (۱۸/۷ میلی‌گرم بر گرم)، پرولین (۱/٤ میکروگرم بر گرم)، آنتوسیانین (۰/٦۵ جذب در ۵۲۰ نانومتر)، آنزیم کاتالاز (۰/۱ میلی‌مول بر گرم) و سوپراکسید دیسموتاز (۰/۲۸ میلی‌مول بر گرم) در شرایط بدون تنش خشکی مشاهده شد و تنش خشکی منجر به تغییر صفات مورد سنجش گردید. کاربرد متیل جاسمونات موجب تعدیل شرایط تنش خشکی شد که در غلظت ۱۰۰ میکرومولار تأثیر بیشتری داشت. با توجه به نتایج استفاده از متیل جاسمونات برای بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم کاتالاز، پرولین، تنش خشکی، توت‌فرنگی، متیل جاسمونات

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.) از خانواده Rosaceae بوده و یکی از رایج‌ترین میوه‌های ریز به‌شمار می‌رود که به‌صورت تازه‌خوری و فرآوری‌شده استفاده می‌شود (جمالیان نصرآبادی، ۱۳۹۲). طبق آخرین آمار، سطح زیر کشت توت‌فرنگی در ایران ۳۹۷٦ هکتار و تولید آن ۵۵۹٤٦ تن گزارش شده است (FAO, 2017). میوه توت‌فرنگی منبع عالی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی از جمله کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها، آنتوسیانین‌ها، فنل‌ها و فلاونوئیدها با ظرفیت حذف رادیکال‌های آزاد است (Rahman *et al.*, 2018). همه این ترکیبات اثر هم‌افزایی و تجمعی بر ارتقاء سلامت انسان و پیشگیری از بیماری‌ها دارند (Liu *et al.*, 2018). توت‌فرنگی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: S.M.Zahedi@maragheh.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

به‌دلیل داشتن سیستم ریشه سطحی، سطح برگ زیاد و آبدار بودن میوه جهت تولید محصول کافی به آبیاری مناسب نیاز دارد. در مناطقی که دارای تابستان گرم و خشک بوده و محدودیت منابع آب وجود دارد توت‌فرنگی می‌تواند تحت تنش خشکی قرار گیرد (Klamkowski and Treder, 2006).

کمبود آب مهمترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد محصولات در اکثر نقاط جهان و ایران است (Jabbari *et al*., 2016; Todaka *et al*., 2015). در سالیان اخیر به‌دلیل کمی ریزش‌های جوی و نامناسب‌بودن پراکنش زمانی و مکانی آن در ایران کشور ما در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید. قسمت‌های مختلف گیاه مانند رشد و نمو برگ، تولید ساقه رونده، گسترش ریشه، وزن و تعداد میوه‌ها می‌تواند تحت تأثیر کمبود آب قرار بگیرد. کاهش رشد ناشی از تنش می‌تواند به علت کاهش توسعه سلول ناشی از کاهش فشار تورژسانس و تقسیم سلولی و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها باشد (کافی، ۱۳۸۸). گیاهان با افزایش پتانسیل آب بافتی از اثرات مضر خشکی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دوری می‌کنند (Khan and Iqbal, 2011). بررسی‌ها نشان می‌دهد خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام مختلف توت‌فرنگی از جمله کوئین الیزا و کردستان اثر گذاشته و منجر به کاهش در سطح برگ، وزن خشک برگ و ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل، محتوای نسبی آب و عملکرد می‌شود (Ghaderi *et al*., 2015). براساس گزارش قادری و سی‌وسه مرده (۱۳۹۲)، با کاهش در میزان آب موجود در خاک و افزایش شدت تنش خشکی در ارقام مختلف توت‌فرنگی، محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشا و میزان کلروفیل کاهش و میزان پرولین افزایش نشان می‌دهد. در شرایط تنش خشکی ممکن است کربوهیدرات‌های پیچیده به انواع ساده تجزیه شده و مقدار کربوهیدرات‌های محلول تحت تأثیر تنش‌ها، از جمله تنش کم‌آبی افزایش یابد. افزایش تنش خشکی در توت‌فرنگی باعث افزایش غلظت ترکیباتی چون آنتوسیانین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش در اندازه میوه و عملکرد میوه شده و فروکتوز و گلوکز تحت تأثیر تنش خشکی در توت‌فرنگی افزایش می‌یابند (Gine-Bordonaba and Terry, 2016). تنش خشکی و شوری در توت‌فرنگی می‌تواند باعث تأخیر در توسعه اندام‌های زایشی آن و بنابراین منجر به کاهش تولید گل‌ها و میوه‌ها شود (Li *et al*., 2002). تنش محیطی از جمله خشکی موجب تولید رادیکال‌های اکسیژن واکنشگر می‌شود. افزایش فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و غلظت‌هایی از آسکوربیک اسید، توکوفرول‌ها، کارتنوئیدها و گلوتاتیون‌ها در گیاهان می‌تواند در بالابردن تحمل در برابر تنش‌های محیطی مؤثر است (Horvath *et al*., 2007; Xu *et al*., 2008).

جاسمونات‌ها یکی از جدیدترین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند (Bandeo *et al*., 2004). جاسمونیک اسید و متیل استر آن (متیل جاسمونات)، ترکیبات مشتق از اسید سیکلو پنتان لینولنیک هستند (Creelman and Mullet, 1997). اطلاعات اندکی در مورد بیوسنتز جاسمونات‌ها وجود دارد اما بافت‌های نوک ساقه، برگ‌های جوان، میوه‌های نابالغ، نوک ریشه (Bandeo *et al*., 2004)، گل‌ها، بافت پریکارپ (Creelman and Mullet, 1997) مقدار زیادی جاسمونیک اسید دارند. جاسمونات‌ها یکی از انواع مولکول‌های علامت‌دهی هستند و نیز در جایگاه گروهی از انتقال‌دهندگان پیام در دفاع از گیاه در مقابل آسیب‌های مکانیکی، حشرات، حمله پاتوژن‌ها، خشکی و شوری عمل می‌کنند (Memelink, 2009). این ترکیبات همچنین، خسارات ناشی از کم‌آبی را کاهش می‌دهند و سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه و کاهش رادیکال‌های آزاد و ایجاد مقاومت در برابر تنش کم‌آبی یا خشکی می‌شوند (Gupta *et al*., 1993).

پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد محلول‌پاشی جاسمونات‌ها در توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط تنش شوری و خشکی (جمالیان، ۱۳۹۲) و موز در شرایط تنش خشکی (Mahmood *et al*., 2012) منجر به کاهش آسیب‌های اکسایشی و افزایش تحمل این گیاهان می‌شود. همچنین تیمار با جاسمونات‌ها متابولیسم گیاهان را تغییر داده و سبب افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

مقاومت بافت‌ها در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود (Wang, 1999). پژوهش‌ها نشان می‌دهد تنش خشکی سبب افزایش غلظت پرولین و کاهش محتوای نسبی آب می‌شود که تیمار متیل جاسمونات باعث افزایش بیشتر آنها در برگ می‌شود (حسنلو و همکاران، ۱۳۹۲). از طرفی متیل جاسمونات سبب افزایش ماده خشک، میزان کلروفیل در گیاه کلم گل تحت تنش خشکی می‌شود (Mahmood *et al*., 2012; Wu *et al*., 2012). مطالعات نشان می‌دهد محلول‌پاشی برگی گیاهان سویا تحت تنش خشکی با متیل جاسمونات، سبب افزایش محتوای پرولین، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، عملکرد کل و کلروفیل کل می‌گردد (Anjum *et al*., 2011).

با توجه به کمبود منابع آبی و افزایش کشت و کار توت‌فرنگی به دلیل ارزش تغذیه‌ای و تازه‌خوری بالای آن برای بهبود عملکرد و افزایش کیفیت این محصول، در این پژوهش برهمکنش محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر متیل‌جاسمونات بر توت‌فرنگی رقم پاروس تحت شرایط تنش خشکی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی مراغه (عرض شمالی ۳۷ درجه و ۱ دقیقه الی ۳۷ درجه و ٤٥ دقیقه و در طول شرقی ٤٦ درجه و ۹ دقیقه الی ٤٦ درجه و ٤٤ دقیقه) در سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. توت‌فرنگی رقم پاروس از خزانه تجاری در استان کردستان تهیه و در اسفند ماه به گلخانه پژوهشی منتقل شدند. گلدان‌های پلاستکی ۵ کیلوگرمی با مخلوط خاک، ماسه و کود دامی (۱:۱:۱) پر شد. بعد از استقرار مناسب، اعمال تنش با چهار سطح، بدون تنش آبیاری (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، شاهد)، تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) صورت گرفت. به‌منظور اعمال تنش از روش وزن کردن گلدان‌ها استفاده گردید و برای جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان با پلاستیک پوشانده شد. وزن خاک اشباعی که با بیرون رفتن آب از انتهای گلدان به وزن ثابت رسیده بود از وزن خاک خشک کم شد و میزان ظرفیت زراعی به این روش به‌دست آمد. تیمارهای ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نسبت به ظرفیت زراعی سنجیده شد و سپس گلدان‌ها روزانه وزن (با توجه به افزایش روزانه وزن خود گیاه) و برای رسیدن به سطح هر تنش، مقدار آب محاسبه‌شده اضافه می‌شد. کاربرد متیل جاسمونات به صورت محلول‌پاشی در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار و یک تیمار بدون محلول‌پاشی به عنوان شاهد، در مجموع سه تیمار، بر بوته‌های توت‌فرنگی انجام شد. محلول‌پاشی بوته‌ها در مرحله سه الی چهار برگی با سه بار تکرار و به‌صورت دو روز در میان صورت گرفت. مدت زمان آزمایش تقریباً سه ماه بود.

اندازه‌گیری مؤلفه‌های کمی و عملکردی: میوه‌های هر بوته در هنگام برداشت در جعبه‌های جداگانه قرار داده شد و عملکرد کل توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. با شمارش تعداد میوه در بوته در هر مشاهده و گرفتن میانگین از تعداد میوه‌ها در بوته‌های مورد اندازه‌گیری تعداد میوه در بوته به‌دست آمد (Eraslan *et al*., 2007).

محتوای نسبی آب و رنگیزه‌های فتوسنتزی: محتوای نسبی آب برگ به روش Yamasaki و Dillenburg (۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد. بدین منظور از برگ‌های جوان توسعه‌یافته از هر گلدان ٤ دیسک به اندازه یک سانتی‌متر مربع تهیه گردید و پس از اندازه‌گیری وزن تر به‌مدت ٤ ساعت در ویال‌های آب‌مقطر غوطه‌ور گردید. بلافاصله پس از خشک‌کردن رطوبت سطح برگ‌ها وزن تورژسانس آنها اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت نگهداری شدند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. مقدار نسبی آب برگ بر حسب درصد و با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد.

رابطه ۱)

محتوای نسبی آب = (وزن خشک – وزن تورژسانس)/(وزن خشک – وزن تر) × ۱۰۰

برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید، ۰/۵ گرم بافت از هر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

نمونه در پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد هموژن گردید و بعد از انجام سانتریفیوژ با سرعت ۹۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد، مایع رویی برداشته و حجم آن با استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت با اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800، شیمادزو، ژاپن) در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٨٠ نانومتر برای تعیین مقدار کلروفیل و کاروتنوئید خوانده شد (Arnon, 1949). غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید از روابط زیر به‌دست آمد:

رابطه ۲)

/ حجم عصاره (v) × ($D_{٦٤٥}$) ۲/٦۹ – ($D_{٦٦٣}$) ۱۲/۷ = کلروفیل a (وزن تر بافت نمونه ×۱۰۰۰ (w))

رابطه ۳)

/ حجم عصاره (v) × ($D_{٦٦٣}$) ٤/٦۹ – ($D_{٦٤٥}$) ۲۲/۹ = کلروفیل b (وزن تر بافت نمونه ×۱۰۰۰ (w))

رابطه ٤)

× ($D_{٤٨٠}$) – (($D_{٦٦٣}$)×۰/۱۱٤) - (($D_{٦٤٥}$)×۰/٦۳۸) = کاروتنوئید ((v) / (w×۱۰۰۰))

(D: میزان جذب نوری، V: حجم عصاره، W: وزن تر بافت نمونه).

سنجش کربوهیدرات کل: اندازه‌گیری کربوهیدرات کل به روش McCready و همکاران (۱۹۵۰) انجام گردید. برای اندازه‌گیری قند کل، ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره تغلیظ‌شده با ۳ میلی‌لیتر آنترون مخلوط و به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان جذب نور هر یک از نمونه‌ها پس از سردشدن در طول‌موج ٦۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. قبل از اندازه‌گیری کربوهیدرات کل نمونه ابتدا باید منحنی استاندارد قند کل رسم گردد که برای رسم آن از محلول گلوگز ۱ میلی‌گرم در ۱ میلی‌لیتر آب استفاده شد. پس از تهیه محلول گلوگز در لوله‌های آزمایش شیشه‌ای مقادیر صفر، ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ میکرولیتر از محلول فوق که به ترتیب حاوی صفر، ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰ و۱۰۰ میکروگرم گلوگز بود اضافه گردید. در نهایت حجم محلول‌ها با آب‌مقطر به ۲۰۰ میکرولیتر رسانده شد. لوله آزمایشی که فاقد گلوگز بود به‌عنوان شاهد (بلانک) استفاده شد. پس از آن ۳ میلی‌لیتر آنترون به هر کدام از لوله‌های آزمایش اضافه شد و پس از اضافه‌کردن لوله‌های آزمایش به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سردشدن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800، شیمادزو، ژاپن) در طول‌موج ٦۲۰ نانومتر خوانده شد.

سنجش پرولین: به‌منظور اندازه‌گیری پرولین آزاد برگ از روش اندازه‌گیری Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید. مقدار ۰/۵ گرم برگ تازه همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفو سالیسیلیک ۳ درصد در یک هاون چینی به‌مدت ۳ دقیقه ساییده شد. محلول هموژنیزه‌شده با کاغذ صافی واتمن صاف شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده با ۲ میلی‌لیتر از معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید در یک لوله آزمایش ریخته و برای مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار داده شد سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش پس از سردشدن ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و برای مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه به شدت هم زده شد. سپس جذب نوری محلول رویی واکنش با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800، شیمادزو، ژاپن) در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از محلول بلانک تولوئن خوانده و غلظت اسید آمینه پرولین آزاد نمونه با یک منحنی استاندارد پرولین خالص تعیین گردید و میزان آن براساس رابطه زیر در گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید. مطابق با این روش میزان اسید آمینه آزاد پرولین اندازه‌گیری گردید.

رابطه ۵)

پرولین = (۵× میلی‌لیتر تولوئن × میکروگرم بر میلی‌لیتر)/ (گرم نمونه × ۱۱۵/۱۳)

سنجش محتوای آنتوسیانین: جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین یک گرم از بافت میوه را با استفاده از ازت مایع به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی در هاون چینی به‌خوبی هضم شد. عصاره حاصل را با استفاده از دستگاه سانترفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانترفیوژ گردید. سپس میزان جذب محلول رویی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

طول‌موج ۵٤۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800، شیمادزو، ژاپن) خوانده شد (Aghamohammadi *et al.*, 2014).

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD): سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌ها براساس روش جیانوپولیس و رایس (۱۹۷۷) با کمی تغییر انجام شد. به این منظور از بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی‌مولار با pH =٦/۸، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH =۱۰/۲، L– متیونین ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیوم ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین یک میکرومولار و عصاره آنزیمی استفاده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در معرض نور شدید قرار داده شدند و سپس میزان جذب آنها در طول‌موج ٥٦۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800، شیمادزو، ژاپن) خوانده شد. از لوله آزمایش بدون عصاره آنزیمی به‌عنوان شاهد و یا به عنوان مرجع مقایسه با لوله آزمایش مقابل (دارای عصاره آنزیمی با شدت نور مشابه) استفاده شد. از مخلوط واکنش بدون تیمار نوری برای صفرکردن دستگاه استفاده گردید. یک واحد فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که منجر به مهار ۵۰ درصدی در اجیای نوری نیتروبلو تترازولیوم می‌گردد (Giannopolitis, and Ries, 1977).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): فعالیت آنزیم کاتالاز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800، شیمادزو، ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کاتالاز طول‌موج دستگاه روی ۲٤۰ نانومتر تنظیم شد. محلول‌ها و مواد استفاده‌شده شامل ۳۰۰۰ میکرولیتر بافر فسفات (pH=۷) ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۵ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد به آن اضافه شد و فعالیت آنزیم به‌مدت ۲ دقیقه در فواصل ۲۰ ثانیه‌ای ثبت گردید (Aebi, 1984). حداکثر جذب هیدروژن پراکسید در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر صورت می‌گیرد. از این‌رو با آغاز واکنش به‌وسیله آنزیم کاتالاز به تدریج از میزان هیدروژن پراکسید در مخلوط واکنش کم و درنتیجه میزان جذب در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر نیز کاهش می‌یابد. فعالیت ویژه آنزیم کاتالاز برحسب میلی‌مول بر گرم وزن تر ارزیابی شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل (فاکتور اول سطوح تنش در چهار سطح و فاکتور دوم محلول‌پاشی با متیل جاسمونات در سه سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. سپس تجزیه واریانس صفات با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ انجام شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج به‌دست آمده تیمارهای آبیاری و متیل جاسمونات هر کدام به تنهایی و برهمکنش آبیاری و متیل جاسمونات بر شاخص‌های تشکیل میوه، تعداد گل، تعداد میوه، محتوای نسبی رطوبت، کلروفیل a و b برگ، کاروتنوئید برگ، کربوهیدرات محلول، پرولین، آنتوسیانین و آنزیم کاتالاز در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت.

درصد تشکیل میوه، تعداد گل و میوه و عملکرد: با توجه به جدول ۱، با کاهش سطح آبیاری درصد تشکیل میوه، تعداد گل و میوه و عملکرد کاهش معنی‌داری پیدا کرد که تیمار با متیل جاسمونات خسارات ناشی از تنش خشکی بر عملکرد را کاهش داد.

نتایج نشان داد محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت ۱۰۰ میکرومولار در مرحله گلدهی بیشترین اثر را در حفظ گل و میوه و درنتیجه افزایش درصد تشکیل میوه و عملکرد داشت (جدول ۱). این نتایج بیانگر نقش مثبت متیل جاسمونات در جلوگیری از کاهش تعداد میوه در توت‌فرنگی رقم پاروس در شرایط تنش خشکی است. احتمالاً کمبود آب طی گلدهی و گرده‌افشانی باعث خشک‌شدن دانه‌های گرده و کلاله شده و باعث اختلال در گرده‌افشانی توسط حشرات می‌شود که در نهایت با توجه به تداوم کم آبیاری در طی دوره رشد و طولانی بودن دوره گلدهی این گیاه، کاهش قابل ملاحظه تعداد گل در متر مربع و گل‌های بارور را باعث می‌گردد. همچنین تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

جدول ۱- اثر سطوح مختلف تیمارهای خشکی و غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بر درصد تشکیل میوه، تعداد میوه و گل و عملکرد در توت‌فرنگی رقم پاروس

تیمارهای آبیاری	**متیل** جاسمونات	تعداد گل	تشکیل میوه (٪)	تعداد میوه	عملکرد (گرم)
	عدم محلول‌پاشی	۱۹/٦۰ c	۹۱/۵ c	۱۷/۱۷ c	۱۱۲/۳ c
شاهد	50 µM	۲۱/۳۳ b	۹۳/۲ b	۱۸/۲۳ b	۱۱۹/۷ b
	100 µM	۳۱/۲۵ a	۹۵/۲ a	۲۰/۱۳ a	۱۲۵/۲ a
	عدم محلول‌پاشی	۱۲/٤۳ f	۸٤/٦ f	۱۰/٦۲ f	۹۲/٦ de
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	50 µM	۱۵/٤۷ e	۸۸/٦ e	۱۳/۱۳ e	۹۵/۵ d
	100 µM	۱۸/۳ d	۹۰/۱۲ d	۱٦/۲۸ d	۱۱۱/۲ c
	عدم محلول‌پاشی	۹/۲۱ i	۷۵/۱۳ i	٦/۳۹ i	۷۲/۳ g
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	50 µM	۱۰/۱۳ h	۷۷/۳۵ h	۷/٦۳ h	۸۲/٤ f
	100 µM	۱۲/۵٦ g	۷۹/۱۹ g	۹/۳۳ g	۹۰/۳ e
	عدم محلول‌پاشی	۷/٦۸ k	۵۵/۱۱ l	۳/۲۹ l	۵۷/۸ k
۲۵ درصد ظرفیت زراعی	50 µM	۸/٤٤ j	٦٦/۱۸ k	۵/۵۲ k	٦٤/۳ j
	100 µM	۸/۵۰ j	۷۱/۲۵ j	٦/۱۳ j	۷۰/۵ h

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیماری نشان‌دهنده عدم‌اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

خشکی سبب کاهش کلروفیل و درنتیجه فتوسنتز می‌شود و از این طریق از ماده خشک تولیدی گیاه کاسته‌شده و مواد غذایی کمتری به گل و میوه می‌رسد که همین امر عاملی جهت ریزش گل‌ها و کاهش نرخ تبدیل گل به میوه و کاهش تعداد میوه‌ها است (Ghaderi and Siosemardeh, 2011). اکبری نودهی (۱۳۹۳) نیز نشان داد با اعمال تنش خشکی در رقم سلوا تا میزان ۷۰ درصد تخلیه رطوبت خاک از طریق کاهش تعداد (۹/۳۲) و سطح برگ (۲۱/۸۲ میلی‌متر مربع) منجر به کاهش عملکرد به میزان ۳۹/۰۷ گرم در بوته گردید. علاوه بر آن، کاهش سطح و تعداد برگ‌ها سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر فتوسنتز شده و درنتیجه با کاهش فتوسنتز قابلیت تولید گل و در نهایت تعداد میوه، کم می‌شود (Krzysztof and Treder, 2006; Ghaderi and Siosemardeh, 2011; Nezhadahmadi *et al*., 2015). در پژوهشی نشان داد شد تنش شوری منجر به کاهش بسیاری از صفات رشدی از جمله وزن تر و خشک بوته و عملکرد میوه در دو رقم توت‌فرنگی کردستان و کوئین الیزا گردید اما اعمال جاسمونیک اسید به میزان ٤۰ میکرومول بر لیتر مقدار اسیدهای آمینه آزاد در برگ‌ها را افزایش داد و منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکردی شد (جمالیان نصرآبادی، ۱۳۹۲). جاسمونات‌ها با افزایش سطح کلروفیل و فتوسنتز سبب تولید مواد غذایی بیشتر در بافت گیاهان شده و از این طریق منجر به تأخیر پیری برگ‌ها شده و با رساندن مواد غذایی بیشتر به میوه‌ها از ریزش آنها جلوگیری می‌نماید (Huang *et al*., 2017).

محتوای نسبی آب و رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج نشان داد محتوای نسبی آب برگ در بوته‌ها با افزایش سطح تنش خشکی کاهش معنی‌داری پیدا کرد و در نهایت در بالاترین سطح تنش (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) به پایین‌ترین میزان خود (٪۵٦/۲۵) رسید اما در تمامی سطوح تحت تأثیر متیل جاسمونات افزایش نشان داد (جدول ۲). به بیان دیگر، متیل جاسمونات با حفظ رطوبت درون بافت گیاه موجب افزایش محتوای نسبی آب شد و از آسیب در شرایط تنش جلوگیری کرد (Miranshahi and Sayyari, 2016).

کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها تحت تأثیر تنش خشکی تخریب شدند و کاهش معنی‌داری پیدا کردند اما تیمار با متیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

جدول ۲- اثر سطوح مختلف تیمارهای خشکی و غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بر محتوای آب نسبی، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در توت‌فرنگی رقم پاروس

تیمارهای آبیاری	متیل جاسمونات	محتوای نسبی آب (٪)	کلروفیل a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئید ($mg.g^{-1}$ FW)
	عدم محلول‌پاشی	۸۵/۱۷ c	۱/۲ c	۰/۷۲ c	۱/۹۱ c
شاهد	50 µM	۸۷/۲۵ b	۱/۲٤ b	۰/۷٤ b	۱/۹۷ b
	100 µM	۹۰/٦٤ a	۱/۳۲ a	۰/۷۷ a	۲/۰۲ a
	عدم محلول‌پاشی	۷٦/۱٦ f	۱/۰۲ f	۰/۵۸ f	۱/۷۵ f
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	50 µM	۸۰/۱۲ e	۱/۰٦ e	۰/٦۱ e	۱/۸۰ e
	100 µM	۸۲/۵۳ d	۱/۱٦ d	۰/٦۸ d	۱/۸٦ d
	عدم محلول‌پاشی	٦۷/٦۵ i	۰/۸۸ i	۰/٤۱ i	۱/٦۳ h
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	50 µM	۷۱/۰۵ h	۰/۹۱ h	۰/٤۵ h	۱/٦۷ g
	100 µM	۷۳/۹٤ g	۰/۹٦ g	۰/٤۸ g	۱/۷٦ f
	عدم محلول‌پاشی	۵٦/۲۵ l	۰/۷۹ l	۰/۳۲ l	۱/٤۵ j
۲۵ درصد ظرفیت زراعی	50 µM	۵۹/۳۷ k	۰/۸۲ k	۰/۳٦ k	۱/۵۸ i
	100 µM	٦۱/٤۲ j	۰/۸۵ j	۰/۳۸ j	۱/٦۸ g

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیماری نشان‌دهنده عدم‌اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

جاسمونات سبب ثابت نگه‌داشتن رنگیزه‌های فتوسنتزی شد و به این ترتیب سطوح آنها را در مقادیر بالاتری نگه داشت. بیشترین میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در شرایط بدون تنش خشکی و تحت اثر محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت ۱۰۰ میکرومولار به‌ترتیب با مقادیر ۱/۳۲، ۰/۷۷ و ۲/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (جدول ۲).

به نظر می‌رسد کاهش میزان کلروفیل a و b در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و درنتیجه تخریب این رنگیزه می‌گردد (Schutz and Fangmeir, 2001; Wise and Naylor, 1989). گزارش‌ها نشان می‌دهد متیل جاسمونات در کوتاه مدت نمی‌تواند از کاهش فتوسنتز جلوگیری کند اما با گذشت زمان و در غلظت‌های بالاتر قادر است تا حدودی با افزایش مقدار کلروفیل به بهبود فتوسنتز کمک کند (Ahmadi and Ceiocemardeh, 2004).

کاروتنوئیدها تتراترپن‌هایی هستند که در کلروپلاست‌ها به عنوان رنگیزه کمکی عمل می‌کنند اما نقش مهم‌تر آن‌ها نقش آنتی‌اکسیدانی آنها است (Egert and Tevini, 2002). جاسمونیک اسید نقش محافظت از RNA و DNA، کنترل سنتز پروتئین و عمل آنزیم‌ها و خواص بافری را داراست و از نابودشدن کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های گیاه جلوگیری می‌کند (Saiprasad *et al*., 2004; Rudell and Fellman, 2005). شاید متیل جاسمونات با افزایش سنتز هورمون‌های گیاهی، آنزیم‌ها و افزایش فرآیند فتوسنتز، تجمع رنگیزه‌هایی نظیر کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها را در گیاه و محصول آن را افزایش دهد (Capitani *et al*., 2005). همچنین متیل جاسمونات با تشکیل اسید آمینولوولینیک در بیان ژن‌های مربوط به آنزیم‌های فتوسنتزی نقش دارد (Ahmadi and Ceiocemardeh, 2004).

کربوهیدرات محلول: نتایج نشان داد میزان کربوهیدرات محلول با افزایش تنش خشکی افزایش معنی‌داری پیدا کرد و محلول‌پاشی با متیل جاسمونات سبب قابل توجه این صفت شد، به طوریکه بیشترین میزان کربوهیدرات محلول در تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه و تیمار متیل جاسمونات با غلظت ۱۰۰ میکرومولار به‌دست آمد (شکل ۱).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

افزایش کربوهیدرات‌های محلول ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و همچنین تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول باشد (Ehdaie *et al*., 2006). در شرایط تنش افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب باعث حفظ تورژسانس سلول‌های برگ، حفاظت غشای سلولی و بازداشتن تخریب پروتئین‌ها می‌شود. همچنین از راه تأمین انرژی مورد نیاز گیاه از مرگ حتمی آن جلوگیری می‌کند (Xue *et al*., 2008). متیل جاسمونات با فعال‌کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کلروپلاست از تخریب کلروفیل و کاهش فتوسنتز جلوگیری کرده و بدین ترتیب موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Ehdaie *et al*., 2006).

پرولین: نتایج نشان داد مشابه با میزان کربوهیدرات محلول، میزان پرولین برگ توت‌فرنگی نیز با افزایش تنش خشکی افزایش پیدا کرد و در تنش ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه به بالاترین میزان خود رسید. تیمار با متیل جاسمونات نیز با فعال‌سازی و افزایش سیستم دفاعی گیاه سبب افزایش پرولین برگ گردید و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار میزان این شاخص به حداکثر (۳/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر) رسید (شکل ۲).

در شرایط تنش خشکی پرولین در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد، حفاظت درشت مولکول‌ها از تغییر ساختار و تنظیم pH سلولی نقش دارد. همچنین پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد. توزیع پرولین در درون و بیرون سلول نقش مهمی در مقاومت اسمزی بافت‌های مختلف نسبت به تنش‌ها ایفا می‌کند. در شرایط کمبود آب اغلب بیوسنتز پرولین از گلوتامیک اسید در سیتوزول و کلروپلاست سلول‌های گیاهی اتفاق می‌افتد، بنابراین پرولین در سیتوزول تجمع‌یافته تا توزیع آب به درون سلول انجام شود (Amini *et al*., 2015). ممکن است متیل جاسمونات در تنش‌ها نظیر تنش خشکی با القای آنزیم‌های سنتزکننده پرولین موجب افزایش پرولین در بافت گیاه گردد (Fedina and Benderliev, 2000).

محتوای آنتوسیانین: میزان آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی در شرایط تنش خشکی افزایش‌یافته و در بالاترین سطح تنش به بیشترین مقدار رسید. تیمار با متیل جاسمونات نیز با افزایش غلظت موجب افزایش محتوای آنتوسیانین میوه شد و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار تحت تنش شدید خشکی به بالاترین سطح خود رسید در حالیکه در تیمار شاهد در پایین‌ترین سطح خود قرار داشت (شکل ۳).

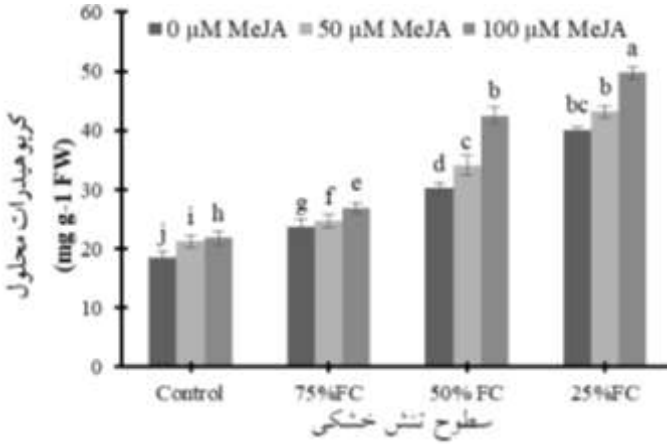
افزایش آنتوسیانین‌ها به‌صورت مستقیم سبب کاهش تنش و حفاظت از گیاه می‌گردد (Zhang *et al*., 2010). بررسی‌ها نشان داده است که تیمار متیل جاسمونات با غلظت ۱۰ و ۲۵ میکرومولار باعث افزایش محتوای آنتوسیانین در گیاه آرابیدوپسیس می‌شود (Jung, 2004) که دلیل آن تحریک بیان برخی ژن‌های مؤثر در بیوسنتز آنتوسیانین‌ها ذکر شده است (Shan *et al*., 2009).

فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز: میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز تحت تنش خشکی و تیمار متیل جاسمونات افزایش معنی‌داری پیدا کرد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بالاترین سطح تنش (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) و بالاترین سطح متیل جاسمونات (۱۰۰ میکرومولار) به بالاترین میزان خود یعنی ۰/۳۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر رسید که نسبت به تیمار شاهد با مقدار ۰/۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر بیش از سه برابر افزایش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به بالاترین سطح تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) و سطوح بالای متیل جاسمونات (۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به‌ترتیب به میزان ۰/۵۳۷ و ۰/۵٤۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر برمی‌گردد اما بین سطوح بالای متیل جاسمونات تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری وجود نداشت (شکل ٤).

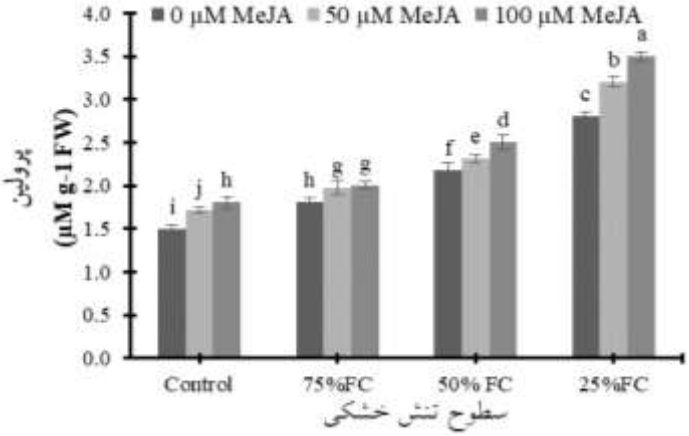
افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یکی از راهکارهای گیاهان در مقابله با تنش‌های مختلف محیطی است. از جمله این آنزیم‌ها می‌توان به کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز اشاره نمود که هیدروژن پراکسید را به آب تبدیل می‌کند و از این طریق از آسیب این رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند. بنابراین سطوح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

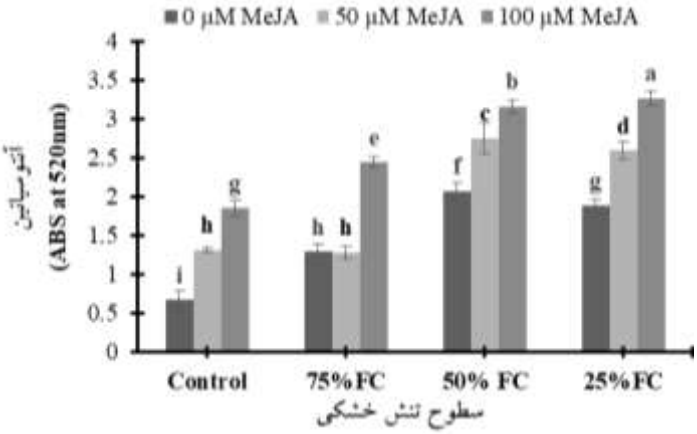
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]



شکل ۱- برهمکنش تیمارهای خشکی در سطوح متیل جاسمونات بر میزان کربوهیدرات محلول توت‌فرنگی رقم پاروس. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



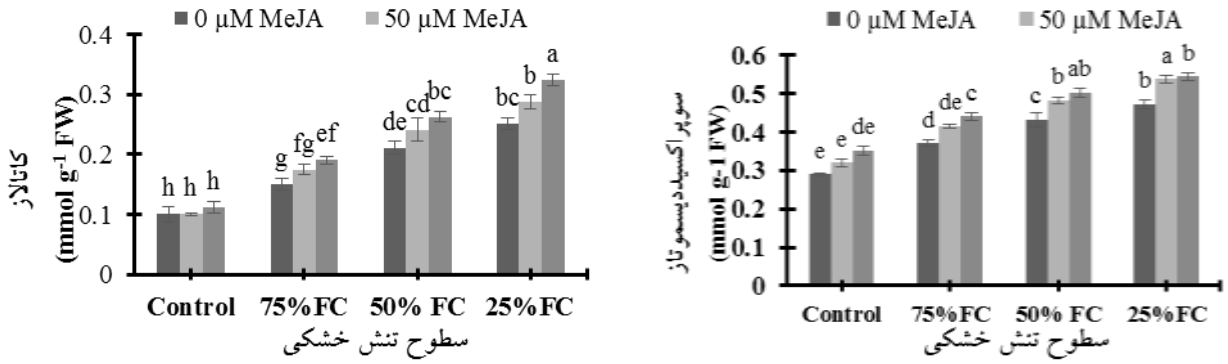
شکل ۲- برهمکنش تیمارهای خشکی در سطوح متیل جاسمونات بر میزان پرولین برگ توت‌فرنگی رقم پاروس. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۳- برهمکنش تیمارهای خشکی در سطوح متیل جاسمونات بر میزان آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی رقم پاروس. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]



شکل ٤- برهمکنش تیمارهای خشکی در سطوح متیل جاسمونات بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز توت‌فرنگی رقم پاروس. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی را در مهار رادیکال‌های آزاد و کاهش خسارت اکسیداتیو ایفا می‌کنند. گزارش شده است که تجمع و انباشته‌شدن جاسمونیک اسید در ترشحات آوند آبکش برای القاء مقاومت ساختاری ضروری است (Dar *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تنش خشکی با ایجاد تغییرات فیزیولوژیک نظیر کاهش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها و افزایش محتوای کربوهیدرات، پرولین، آنتوسیانین و فعالیت آنزیمی باعث کاهش تولید گل و میوه شد. محلول‌پاشی با میتل جاسمونات این تغییرات فیزیولوژیک ناشی از اثر سوء تنش خشکی را کاهش داده و اثر منفی خشکی بر عملکرد را نیز کاهش داد. براساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی در شرایط تنش خشک، متیل جاسمونات با غلظت ۱۰۰ میکرومولار مورد نیاز است. به طور کلی اثرات مفید متیل جاسمونات هنگامی که گیاه در معرض تنش قرار گرفته نمایان می‌باشد بنابراین استفاده از آن در شرایط انواع تنش‌ها شایان توجه بیشتری است.

منابع

اکبری نودهی، د. (۱۳۹۳) تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و نیتروژن در شرایط گلدانی بر برخی خصوصیات گیاه توت‌فرنگی رقم سلوا. نشریه مدیریت آب و آبیاری ٤: ۷۲-۵۹.

جمالیان نصرآبادی، س. (۱۳۹۲) اثر آبسزیک اسید و جاسمونیک اسید بر برخی تغییرات متابولیکی درتوت‌فرنگی تحت تنش NaCl. پایان‌نامه دکتری ، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

حسنلو، ط.، شهبازی، م.، غفاری، ا. و یوسفی، ا. (۱۳۹۲) بررسی اثرات تنش خشکی و جاسمونات بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های منتخب جو. پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج.

قادری، ن. و سی‌وسه مرده، ع. (۱۳۹۲). تأثیر تنش خشکی بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ارقام توت‌فرنگی. مجله علوم باغبانی ایران ٤٤: ۱۳٦-۱۲۹.

کافی، م. (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Aghamohammadi, S., Mohammadian Ghotbeh, M., Aghamohammadi, V. and Mohammadian, A. (2014) Influence of exogenous putrescine on total Phenolic content and antioxidant activities in strawberry cv Gaviota. Vitae 21: 315-324.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

Ahmadi, A. and Ceiocemardeh, A. (2004) Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 753-763.

Amini, S., Ghobadi, C. and Yamchi, A. (2015) Proline accumulation and osmotic stress: an overview of *P5CS* gene in plants. Journal of Plant Molecular Breeding 3: 44-55.

Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I. and Xue, L. (2011) Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defence system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 296-301.

Arnon, D. T. (1949) Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-115.

Bandeo, L. E., Eydia, F., Yucel, M. and Okatem, H. A. (2004) Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl salinity stress. Plant Growth Regulation 42: 69-77.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Capitani, F., Biondi, S., Falasca, G. and Ziosi, V. (2005) Methyl jasmonate disrupts shoot formation in tobacco thin cell layers by over-inducing miotic activity and cell expatsion. Planta 22: 507-519.

Creelman, R. A. and Mullet, J. E. (1997) Biosynthesis and action of jasmonates in plants. Annual Review of Plant Physiology 48: 355-381.

Dar, T. A., Uddin, M., Khan, M. M. A., Hakeem, K. R. and Jaleel, H. (2015) Jasmonates counter plant stress: A review. Environmental and Experimental Botany 115: 49-57.

Egert, M. and Tevini, M. (2002) Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). Environmental and Experimental Botany 48: 43-49.

Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, J. G. (2006) Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. Crop science 46: 2093-2103.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. (2007) Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia horticulturae 113: 120-128.

FAO. (2017) FAOSTAT Agricultural Statistics Database. http://www.fao.org.

Fedina, I. S. and Benderliev, K. M. (2000) Response of *Scenedesmus incrassatulus* to salt stress as affected by methyl jasmonate. Biologia Plantarum 43: 625-627.

Ghaderi, N. and Siosemardeh, A. (2011) Response to drought stress of two strawberry cultivars (cv. Kurdistan and Selva). Horticulture, Environment and Biotechnology 52: 6-12.

Ghaderi, N., Nourmohammadi, 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: 167-178.

Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology 59: 2. 309-314.

Gine-Bordonaba, J. and Terry, L. A. (2016) Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria ananassa*) fruit and leaves. Scientia Horticulturae 199: 63-70.

Gupta, A. K., Singh, J., Kaur, N. and Singh, R. (1993) Effect of polyethylene glycol induced water stress on uptake introversion and transport of sugars in chickpea seedling. Plant Physiology and Biochemistry 31: 743-747.

Horvath, E., Szalai, G. and Janda, T. (2007) Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Journal of Plant Growth Regulation 26: 290-300.

Huang, H., Liu, B., Liu, L. and Song, S. (2017) Jasmonate action in plant growth and development. Journal of Experimental Botany 68: 1349-1359.

Jabbari, H., Khosh, K. S. N., Akbari, G. A., Alahdadi, I., Shirani, R. A. and Hamed, A. (2016) Study of root system relationship with water relations in Rapeseed under drought stress conditions. Journal of Crops Improvement 18: 1-19.

Jung, S. (2004) Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. Plant Physiology and Biochemistry 42: 225-231.

Khan, M. A. and Iqbal, M. (2011) Breeding for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): constraints and future prospects. Frontiers of Agriculture in China 5: 31-34.

Klamkowski, K. and Treder, W. (2006) Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. Agriculturae Conspectus Scientificus 71: 159-165.

Krzysztof, K. and Treder, W. (2006) Morphological and physiological responses of Strawberry plants to water stress. Agriculturae Conspectus Scientificus 71: 159-165.

Li, H., Lascano, R. J., Booker, J., Wilson, L. T., Bronson, K. F. and Segarra, E. (2002) State-space description of field heterogeneity: Water and nitrogen use in cotton. Soil Science Society of America Journal 66: 585-595.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W. and Zheng, L. (2018) Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of Strawberry fruit. Postharvest Biology and Technology 139: 47-55.

Mahmood, M., Shirani Bidabadi, S., Ghobadi, C. and Gray, D. J. (2012) Effect of methyl jasmonate treatments on alleviation of polyethylene glycol - mediated water stress in banana (*Musa acuminata* cv. 'Berangan') shoot tip cultures. Plant Growth Regul 68:161-169.

McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V. and Owens, H. S. (1950) Determination of starch and amylose in vegetables. Analytical Chemistry 22: 1156-1158.

Memelink, J. (2009) Regulation of gene expression by jasmonate hormones. Phytochemistry 70: 1560-1570.

Miranshahi, B. and Sayyari, M. (2016) Methyl jasmonate mitigates drought stress injuries and affects essential oil of summer savory. Journal of Agricultural Science and Technology 18: 1635-1645.

Nezhadahmadi, A., Faruq, G. and Rashid, K. (2015) Influence of drought stress on leaf traits of different Strawberry (*Fragaria ananassa* L.) varieties. Natural Environment, Communications in Soil Science and Plant Analysis 1-14.

Rahman, M., Sabir, A. A., Mukta, J. A., Khan, M. M. A., Mohi-Ud-Din, M., Miah, M. G. and Islam, M. T. (2018) Plant probiotic bacteria Bacillus and Paraburkholderia improve growth, yield and content of antioxidants in Strawberry fruit. Scientific Reports 8: 2504.

Rudell, D. R. and Fellman, J. (2005) Pre harvest application of methyl jasmonate to "Funji" apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence. Horticultural Science 40: 1760-1762.

Saiprasad, G. V. S., Raghuveer, P., Khetarpal, S. and Chandra, R. (2004) Effect of various polyamines on production of protocorm- like bodies in orchid *Denarobium esonia*. Science Horticulturea 100: 161-168.

Schutz, M. and Fangmeir, E. (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution 114: 187-194.

Shan, X., Zhang, Y., Peng, W., Wang, Z. and Xie, D. (2009) Molecular mechanism for jasmonate-induction of anthocyanin accumulation in Arabidopsis. Journal of Experimental Botany 60: 3849-3860.

Todaka, D., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K. (2015) Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. Frontiers in Plant Science 6: 2-20.

Wang, S. Y. (1999) Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. Journal of Plant growth Regulation 18: 127-134.

Wise, R. R. and Naylor, A.W. (1989) Chilling enhanced photo-oxidation, the peoxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrasracture. Plant Physiology 83: 278-282.

Wu, H., Wu, X., Li, Z., Duan, L. and Zhang, M. (2012) Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* L.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. Journal of Plant Growth Regulation 31: 113-123.

Xu, Q., Xu, X., Zhao, Y., Jiao, K., Herbert, S. J. and Hao, L. (2008) Salicylic acid, hydrogen peroxide and calcium induced saline tolerance associated with endogenous hydrogen peroxide homeostasis in naked oat seedlings. Plant Growth Regulation 54: 249-259.

Xue, G. P., McIntyre, C. L., Glassop, D. and Shorter, R. (2008) Use of expression analysis to dissect alterations in carbohydrate metabolism in wheat leaves during drought stress. Plant Molecular Biology 67: 197-214.

Yamasaki, S. and Dillenburg, L. C. (1999) Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasileira De Fisiologia Vegetal 11: 69-75.

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. (2010) Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. Plant Science 179: 202-208.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]

The Effect of Methyl Jasmonate on Some Physiological and Biochemical Characteristics of Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* cv. Paros) under drought stress

Seyed Morteza Zahedi[1*], Marjan Sadat Hosseini[2], Faezeh Moharrami[1]

[1]Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, 551181-8311 Maragheh, Iran
[2]Institute for Agriculture Biotechnology Research - Isfahan Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
(Received: 07/07/2018, Accepted: 27/10/2018)

Abstract

Methyl jasmonate is a new plant growth regulator that plays an important role in increasing plant resistance to environmental stresses, including drought stress. To investigate the effect of methyl jasmonate on strawberry cv. Paros under drought stress in greenhouse of Maragheh agricultural college was conducted in 2016. This experiment was conducted in a factorial randomized complete block design. The parameters included fruit set percentage, number of flowers and fruits, relative water content, chlorophyll a, b, and carotenoids, soluble carbohydrates, proline, anthocyanins and catalase enzyme. The results showed that irrigation and methyl jasmonate treatments alone and had a significant effect on all parameters at 5% level. The highest percentage of fruit set (95.2%), number of flowers (31.25%) and fruits (20.13%), yield (125.2 g), relative water content (90.64%), chlorophyll a (1.32 $mg.g^{-1}$), b (0.77 $mg.g^{-1}$) and carotenoids (2.02 $mg.g^{-1}$), and the lowest amount of soluble carbohydrates (18.7 $mg.g^{-1}$), proline (1.4 $\mu M.g^{-1}$), anthocyanins (0.65 ABS at 530 nm), catalase enzyme (0.1 $mmol.g^{-1}$), and superoxide dismutase (0.28 $mmol.g^{-1}$) were observed under conditions without drought stress. Also, the use of methyl jasmonate improved all characters under drought stress conditions, which had a greater effect at 100 µM concentration. According to the results, application of methyl jasmonate can be proposed to improve plant growth under drought conditions.

Keywords: Drought stress, Methyl jasmonate, Strawberry, Catalase enzymes, Proline

Corresponding author, Email: S.M.Zahedi@maragheh.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.15.5]