

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید بر برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه پرتقال تامسون ناول تحت شرایط تنش خشکی

کتابیون دلفانی^۱، محمود اسدی^{۲*}، بهروز گل‌عین^۳، بابک باباخانی^۴ و رقیه رازقی‌جدید^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸)

چکیده

در پژوهش حاضر اثر غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید بر برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه پرتقال تامسون ناول تحت تنش خشکی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری در سال ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (به عنوان شاهد)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی ملایم) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی شدید) و نیز سه سطح محلول پاشی صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار جاسمونیک اسید بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی تأثیر منفی بر طول، قطر و وزن میوه داشته ولی با افزایش میزان مواد جامد محلول کل، فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کیفیت تغذیه‌ای میوه را تحت تأثیر قرار داد. همچنین مشخص شد که در شرایط تنش خشکی، گیاهان محلول پاشی شده با جاسمونیک اسید در مقایسه با گیاهان محلول پاشی نشده از اندازه میوه و کیفیت میوه (مواد جامد محلول کل، ویتامین ث، فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) بالاتری برخوردار بودند. در نهایت، کاربرد محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید به ویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی در درختان پرتقال تامسون ناول پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اندازه میوه، ترکیبات زیست‌فعال، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، ویتامین ث

۱- دانشجوی دکتری گروه تخصصی علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۲- استادیار گروه تخصصی علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۳- استاد تمام پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.

۴- استادیار گروه تخصصی علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۵- استادیار گروه تخصصی علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

* پست الکترونیک: mahmoudasadi2000@gmail.com

مقدمه

مرکبات جزء درختان مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری هستند که امروزه تولید آن‌ها در دنیا از جنبه‌های اقتصادی، اشتغال‌زایی، دارویی و تأمین ویتامین اهمیت زیادی دارد. به‌طوری که کشت و پرورش مرکبات به‌ویژه پرتقال به دلیل دارا بودن ترکیبات با ارزش طبیعی و ارتباط آن با رژیم غذایی سالم، یک صنعت عمده سودآور محسوب می‌شود. میوه پرتقال دارای سطوح بالایی از ویتامین ث، مواد فنلی، فلاونوئیدها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که در کاهش خطر ابتلا به سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی نقش دارند (لادانیا^۱، ۲۰۰۸؛ تالون^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

نیاز آبی درختان مرکبات بستگی به اقلیم، رقم و پایه داشته و این موضوع می‌تواند در تولید میوه بسیار مؤثر باشد. به طور کلی، نیاز آبی درختان مرکبات بسته به گونه و رقم بین ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال است (فیفا^۳ و همکاران، ۱۳۹۵). در شمال ایران به‌دلیل توزیع و پراکندگی نامناسب بارش در طول فصل با خشکی و اثرگذاری زیان‌بار آن روبه‌رو بوده ضمن اینکه کشت مرکبات در مناطق کوهپایه‌ای و دامنه‌های اراضی شمالی، ناگزیر با کمبود آب روبه‌رو خواهد شد. جنوب کشور که نزدیک به نصف سطح زیر کشت مرکبات را به خود اختصاص می‌دهد نیز با دوره‌های خشکی و کم‌آبی در طول فصل رشد روبه‌رو است که بر کمیت و کیفیت محصول، تأثیر زیادی می‌گذارد (فیفا^۳ و همکاران، ۱۳۹۵).

به طور کلی، تنش خشکی مهم‌ترین تنش محیطی و یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در سرتاسر جهان است. اثر منفی تنش خشکی بر اندازه میوه در گلابی (لوپز^۴ و همکاران، ۲۰۱۱)، توت‌فرنگی (باردونابا و تری^۴، ۲۰۱۰) و سیب (مپلاسوکا^۵ و همکاران، ۲۰۰۰) گزارش شده است. در این راستا راد و همکاران (۱۳۹۴) گزارش نمودند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد، کاهش اندازه میوه و کاهش میزان اجزای میوه از جمله آریل، هسته، پوست و آب انار میوه شد. از طرف دیگر تنش خشکی موجب بهبود بسیاری از خواص کیفی از جمله مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، سفتی، رنگ و

همچنین بهبود خاصیت انبارداری میوه آلو، پرتقال و زردآلو شده است (مپلاسوکا و همکاران، ۲۰۰۰؛ پرز-پاستور^۶ و همکاران، ۲۰۰۷؛ گارسیا-تجرو^۷ و همکاران، ۲۰۱۰).

افزایش مقاومت گیاهان به انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی از راه‌های مختلف، شامل به‌نژادی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد، عملی است. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند جاسمونیک اسید آسان‌تر و ارزان‌تر می‌باشد (وهبی و همکاران، ۱۳۹۶). جاسمونیک اسید به عنوان انتقال‌دهنده پیام در شرایط تنش معرفی شده‌اند که از طریق فعال کردن فرآیندهایی شامل بسته شدن روزنه‌ها، تنظیم هدایت آبی و تنظیم فرآیندهای توسعه‌ای مؤثر بر مقاومت به تنش درگیر هستند. همچنین این ماده از طریق افزایش ذخیره کلروفیل و در نتیجه افزایش مقدار فتوسنتز خالص، موجب تحمل به تنش خشکی در گیاه شده و بر کمیت، کیفیت و عملکرد محصول اثر مثبتی داشته باشد (وانگ^۸ و همکاران، ۲۰۲۰؛ گومی^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین گزارش شده است که تیمار متیل جاسمونات باعث افزایش میزان ترکیبات زیست فعال در میوه هلو گردید (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به مطالب عنوان شده و با در نظر گرفتن این موضوع که امروزه استفاده از مواد طبیعی که مخاطرات محیطی کمتری نیز دارند در جهت افزایش مقاومت به انواع مختلف تنش‌های محیطی رو به افزایش است، در بررسی حاضر سعی شد تا اثرات محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید بر اندازه، عملکرد و همچنین کیفیت میوه پرتقال تامسون‌ناول تحت شرایط تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش و مواد گیاهی

پژوهش حاضر در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری کشور در شهر رامسر در سال ۱۳۹۸ انجام شد. به این منظور ابتدا نهال‌های پنج ساله پرتقال تامسون‌ناول (*Citrus sinensis* cv. Thomson Navel) روی پایه سیتروملو انتخاب و در داخل گلدان‌های پلی‌اتیلنی پر شده

6. Perez-Pastor
7. Garcia-Tejero
8. Wang
9. Gomi

1. Ladanyia
2. Talon
3. Lopez
4. Bordonaba and Terry
5. Mpelasoka

آبیاری مقدار مشخص آب توسط استوانه مدرج ثابت نگه داشته شد.

به منظور اعمال تیمار محلولپاشی جاسمونیک اسید، ابتدا جاسمونیک اسید (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) در اتانول ۹۵ درصد حل شده و سپس بر اساس غلظت‌های مورد نظر در پژوهش با آب مقطر مخلوط شده و توسط سم‌پاش پستی ۲۰ لیتری در چهار نوبت هر سه هفته یکبار روی برگ‌ها اسپری گردید. به‌منظور اینکه ترکیبات محلول‌پاشی شده به سطح برگ کاملاً بچسبند در تمامی تیمارها از چند قطره توین ۲۰ (Tween 20) با غلظت ۰/۰۵ درصد به عنوان یک چسباننده آلی استفاده شد. در پایان آزمایش نمونه‌های برگ‌گی جمع‌آوری شده و برای اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری صفات

برای اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی میوه از هر واحد آزمایشی ۵ عدد میوه در مجموع ۱۵ عدد میوه برای هر تکرار در اواخر آذر ماه برداشت شدند. جهت تعیین طول و قطر میوه‌ها از کولیس دیجیتال مدل Insize استفاده شد. وزن میوه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius اندازه‌گیری شد.

میزان مواد جامد محلول (TSS) میوه‌ها به‌وسیله دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی (Euromex RD635, Holland) در دمای ۲۲ درجه سلسیوس اندازه‌گیری گردید. به منظور اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، پنج میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ قطره فنل فتالین به‌عنوان شناساگر مخلوط گردید، سپس با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی تیتراسیون شد. حجم سود مصرفی برای محاسبه اسیدیته قابل تیتراسیون بر حسب اسید غالب (سیتریک اسید) بیان شد (شیری^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). پس از اندازه‌گیری مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون، TSS/TA نیز محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان ویتامین ث میوه‌ها از روش تیتراسیون با ۶ و ۲-دی‌کلروفنل ایندوفنل (DCIP) استفاده شد و در نهایت میزان ویتامین ث بر حسب میلی گرم در صد گرم بافت تر محاسبه شد (شیری و همکاران، ۲۰۱۶).

برای استخراج عصاره به‌منظور اندازه‌گیری فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به ۵ گرم از بافت

با خاک منطقه قرار داده شد. نهال‌های انتخاب شده به صورت یکنواخت و یکدست بوده و دارای ارتفاع متوسط 180 ± 10 و قطر متوسط 2 ± 0.2 سانتی‌متر بودند. در تمام طول دوره آزمایش که مدت آن هشت ماه (از اوایل اردیبهشت تا آخر آذر) بود، گلدان‌ها در فضای آزاد و در شرایط طبیعی محیط (با میانگین دمای هوای بین ۲۰ تا ۳۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد) قرار داده شدند.

اعمال تیمارها

در بررسی حاضر تیمارهای مورد مطالعه شامل جاسمونیک اسید در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و تیمار تنش خشکی در سه سطح آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (Field capacity, FC) (شاهد یا بدون تنش خشکی)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی ملایم) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی شدید) پس از رشد کافی گیاهان از اواخر خرداد ماه تا اواخر شهریور اعمال گردید. تعیین میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (رطوبت ظرفیت زراعی مقدار رطوبتی است که یک خاک اشباع شده پس از خارج شدن آب ثقی در خود نگه می‌دارد که تابعی از بافت و ساختمان خاک است) به روش زیر صورت گرفت:

تعدادی از گلدان‌های حاوی بستر مورد آزمایش، اشباع از آب گردید به نحوی که آب از ته گلدان‌ها خارج شد. جهت جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد و در فواصل زمانی ۲۴ ساعت از خاک گلدان‌ها نمونه‌هایی تهیه شد. ابتدا وزن تر (FW) نمونه‌ها یادداشت گردید و سپس برای تعیین وزن خشک (DW)، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه سلسیوس در آن قرار داده شدند. در نهایت ظرفیت زراعی (FC) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (خادمیان و همکاران، ۱۳۹۸):

$$FC = \frac{FW - DW}{DW} \times 100$$

برای محاسبه میزان آب مورد نیاز هر گلدان از روش توزین گلدان‌ها و تعیین میانگین آن به عنوان آب مصرفی تیمارها، استفاده گردید. در طول دوره رشد، هر روزه کلیه گلدان‌ها با توجه به تغییرات دمای هوا با ترازوی دیجیتالی حساس توزین گردید و هر گلدان در وزن تیمار مربوط به وسیله

نتایج و بحث

ابعاد و وزن میوه

بر اساس نتایج مشخص شد که طول میوه پرتقال تامسون ناول به طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید قرار گرفت، در حالی که اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). طول میوه به طور معنی‌داری از ۷۶/۴۱ میلی‌متر در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد FC) به ۷۳/۳۰ میلی‌متر در شرایط تنش ملایم (۷۵ درصد FC) و همچنین ۶۶/۶۵ میلی‌متر در تنش خشکی شدید (۵۰ درصد FC) کاهش یافت (جدول ۲). میوه‌های محلول پاشی شده با غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید در مقایسه با میوه‌های تیمار نشده از طول میوه بیشتری برخوردار بودند (جدول ۲). در بین تیمارهای محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید غلظت ۱۰۰ میکرومولار دارای میوه‌هایی با بیشترین طول (۷۴/۵۲ میلی‌متر) بود.

مطابق جدول ۱، فقط اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر قطر میوه پرتقال تامسون ناول معنی‌دار بود. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان قطر میوه از ۷۱/۲۸ میلی‌متر در تیمار شاهد به ۶۳/۰۱ میلی‌متر در تیمار تنش خشکی شدید، شد (جدول ۲). همچنین مشخص شد که میوه‌های تیمار شده با جاسمونیک اسید از قطر میوه بزرگتری برخوردار بودند (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن میوه پرتقال تامسون ناول نیز در سطح احتمال یک درصد فقط تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید قرار گرفت (جدول ۱). وزن میوه از ۲۲۹/۲۲ گرم در شرایط بدون تنش به ۲۲۰/۸۹ گرم در شرایط تنش خشکی ملایم و ۲۰۶/۰۰ گرم در شرایط تنش خشکی شدید کاهش یافت (جدول ۲). همچنین بر اساس جدول ۲، محلول پاشی برگ‌گی با جاسمونیک اسید به ویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار باعث تولید میوه‌هایی با وزن بالاتر گردید.

گوشت میوه آسیاب شده با کمک هاون چینی در حضور نیتروژن مایع ۲۰ میلی‌لیتر محلول اتانول:استون (۷/۷ v/v) اضافه شد. پس از هم‌وزنیزه کردن، به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شد و سپس با کمک کاغذ صافی واتمن شماره ۴ صاف شد. میزان فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از محلول استخراج شده حاصل، تعیین شد (دو^۱ و همکاران، ۲۰۰۹).

میزان فنل کل مطابق روش فولین-سیکالچو با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل NanoDrop® ND-1000 UV-Vis, USA) اندازه‌گیری شد (دو و همکاران، ۲۰۰۹). میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل NanoDrop® ND-1000 UV-Vis, USA) قرائت گردید. در نهایت میزان فنل کل از روی میزان جذب نمونه و نمونه‌های استاندارد بر حسب میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت تازه محاسبه گردید. اندازه‌گیری فلاونوئید کل بر اساس روش دو و همکاران (۲۰۰۹) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۰۶ نانومتر انجام شد. غلظت فلاونوئید کل بر حسب استاندارد کاتچین (۳۰۰-۶/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) محاسبه گردید. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲ و ۲ دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) مطابق روش دو و همکاران (۲۰۰۹) در طول موج ۵۱۵ نانومتر صورت گرفت. در نهایت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها بصورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید.

آنالیز آماری

آزمایش حاضر به صورت طرح فاکتوریل شامل دو فاکتور تنش خشکی و تیمار محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. آنالیز آماری آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (Version 9.1 SAS Institute, Cary, NC 2002-2003) و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها در سطوح متناظر معنی‌داری با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. لازم به ذکر است که قبل از آنالیز آماری، داده‌ها از لحاظ نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفتند.

کیفیت میوه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اعمال تنش کم آبی قرار داشت. کاهش در وزن و اندازه میوه در پاسخ به تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش در سطح برگ، کاهش در هدایت روزنه‌ای، کاهش میزان فتوسنتز برگ و در نتیجه کاهش ورود مواد کربوهیدراتی تولید شده در طی فتوسنتز به میوه باشد که باعث کاهش رشد میوه می‌گردد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷).

نتایج بررسی حاضر مشخص نمود که تنش خشکی بر اندازه میوه تأثیر معنی‌داری داشت. همراستا با نتایج حاضر، راد و همکاران (۱۳۹۴) با اعمال تنش خشکی در درختان انار گزارش نمودند که اندازه میوه در پاسخ به تنش خشکی کاهش یافت. همچنین قاسمی و همکاران (۱۳۹۷) با ارزیابی واکنش برخی ارقام توت‌فرنگی به کم آبیاری از نظر سطح برگ گزارش نمودند که اندازه و وزن میوه و نیز

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول پاشی جاسمونیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد میوه پرتقال تامسون ناول.

میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییرات	
TA	TSS	وزن میوه	قطر میوه	طول میوه	درجه آزادی
۰/۶۹ ^{ns}	۲۴/۶۴**	۱۲۴۵/۵۹**	۱۵۶/۲۷**	۲۲۴/۱۹**	۲
۰/۷۴ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۸۹۹/۷۰**	۵۹/۴۳**	۴۳/۴۰**	۲
۰/۰۵ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۳۸/۲۶ ^{ns}	۶/۰ ^{ns}	۷/۰۱ ^{ns}	۴
۰/۵۲	۰/۲۷	۳۰/۴۲	۳/۲۲	۲/۸۵	۱۸
۸/۵۶	۳/۷۱	۲/۵۱	۲/۶۶	۲/۳۴	-

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

جدول ۱ (ادامه) - نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول پاشی جاسمونیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد میوه پرتقال تامسون ناول.

میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییرات	
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	فلاونوئید کل	فنل کل	ویتامین ث	TSS/TA	درجه آزادی
۶۲۷/۳**	۰/۰۲۷۱**	۶۹۱/۴**	۷۰۷/۵**	۰/۴۵**	۲
۹۰/۷**	۰/۰۱۲۱**	۴۰۹/۹**	۳۱۹/۵**	۰/۰۴ ^{ns}	۲
۳۳/۹**	۰/۰۰۵۱**	۳۳/۷*	۱۰/۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۴
۳/۴	۰/۰۰۰۳	۸/۴	۷/۶	۰/۰۲	۱۸
۲/۴۹	۵/۱۸	۷/۸۳	۶/۵۶	۸/۱۱	-

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

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید بر برخی صفات برگ پرتقال تامسون ناول.

تیماز	طول میوه (میلی‌متر)	قطر میوه (میلی‌متر)	وزن میوه (گرم)	TSS (درصد)	TA (درصد)	TSS/TA	ویتامین ث (میلی‌گرم بر گرم)
خشکی (درصد ظرفیت زراعی)							
۱۰۰ (شاهد)	۷۶/۴۱a*	۷۱/۲۸a	۲۲۹/۲۲a	۱۲/۷۳c*	۸/۷۳a	۱/۴۶c	۵۱/۴۹a
۷۵	۷۳/۳۰b	۶۷/۹۹b	۲۲۰/۸۹b	۱۳/۸۳b	۸/۴۳a	۱/۷۰b	۴۰/۸۱b
۵۰	۶۶/۶۵c	۶۳/۰۱c	۲۰۶/۰۰c	۱۵/۹۸a	۸/۱۷a	۱/۹۱a	۳۳/۸۹c
جاسمونیک اسید (میکرومولار)							
۰	۷۰/۲۲b	۶۵/۴۳b	۲۰۹/۶۷c	۱۴/۰۸a	۸/۷۳a	۱/۶۳a	۳۶/۶۲c
۱۰۰	۷۴/۵۲a	۷۰/۳۳a	۲۲۹/۴۴a	۱۴/۱۵a	۸/۴۴a	۱/۶۸a	۴۳/۴۸a
۲۰۰	۷۱/۶۳b	۶۶/۵۲b	۲۱۷/۰۰b	۱۴/۳۰a	۸/۱۶a	۱/۷۲a	۴۱/۱۴ab

* در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون LSD می‌باشد.

احیاء کننده، سایر هیدرات‌های کربن و اسیدهای آلی در میوه و گیاه تیمار شده گردند (جانودی و فلور^۳، ۲۰۰۳)، به طوری که میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با متیل جاسمونات باعث افزایش میزان مواد جامد محلول شده است (آیالا-زاوالا^۴ و همکاران، ۲۰۰۵) که این یافته‌ها، نتایج حاصل از پژوهش حاضر را مبنی بر اثر جاسمونیک اسید روی افزایش ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال تامسون ناول، تأیید می‌نمایند.

TA

میزان TA میوه پرتقال تامسون ناول تحت تأثیر هیچ یک از اثرات ساده و اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید قرار نگرفت (جدول ۱). میزان TA میوه بین ۸/۱۶ درصد تا ۸/۷۳ درصد متغیر بود که البته بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

TSS/TA

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر ساده تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر نسبت TSS/TA میوه معنی‌دار بود در حالی که اثر ساده محلول پاشی و همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید معنی‌دار نبودند (جدول ۱). مقایسات میانگین داده‌ها حاکی از آن بود که به طور کلی با اعمال تنش خشکی نسبت TSS/TA به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که از ۱/۴۶ در گیاهانی که به طور کامل آبیاری شده بودند به ۱/۷۰ در شرایط تنش خشکی ملایم و همچنین ۱/۹۱ در تنش خشکی شدید افزایش یافت (جدول ۲). همچنین نسبت TSS/TA میوه در شرایط محلول پاشی بین ۱/۶۳ تا ۱/۷۲ متغیر بود که البته از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. در نتایج بررسی حاضر مشخص شد که نسبت TSS/TA میوه در پاسخ به تنش خشکی متأثر از تغییرات میزان TSS می‌باشد.

ویتامین ث

بر اساس جدول ۱، فقط اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی برگ‌گی جاسمونیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان ویتامین ث میوه پرتقال تامسون ناول معنی‌دار بود. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان ویتامین ث میوه از ۵۱/۴۹

در طی فتوسنتز فعال و در حضور نور، مقدار کربوهیدراتی که به صورت تریوزفسفات در یک برگ گیاه تولید می‌شود بیش از میزان مورد نیاز آن برای تولید انرژی یا سنتز به صورت پیش‌سازها می‌باشد. کربوهیدرات مازاد به سوکروز تبدیل شده و به سایر قسمت‌های گیاه انتقال داده می‌شود تا در آن محل‌ها به‌عنوان سوخت مصرف شود. در اکثر گیاهان، نشاسته شکل اصلی ذخیره‌ای است. اما اسید آمینه هم در گیاهان سنتز شده و پلی‌پپتیدها را می‌سازند (هلدت و پیچولا^۱، ۲۰۲۱).

تحقیقات نشان داد، کاربرد متیل جاسمونات در غلظت‌های بالا با فعال کردن ژن‌های لازم برای فتوسنتز، باعث احیاء کربن شده و کربن در سلول تثبیت و یا به‌فرم ذخیره‌ای در آمده و یا به قسمت‌های دیگر منتقل می‌شود. با مهار ژن‌های فتوسنتزی در این شرایط، تعادلی بین جذب و استفاده انرژی ایجاد می‌شود (کرلمن و مولت^۲، ۱۹۹۷؛ گومی و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین متیل جاسمونات با افزایش ظرفیت فتوسنتزی، میزان مواد کربوهیدراتی را افزایش داده و از این طریق می‌تواند باعث افزایش رشد و نمو و همچنین اندازه محصول گردد.

TSS

مشخص شد که TSS میوه پرتقال تامسون ناول به‌طور معنی‌داری فقط تحت تأثیر اثر ساده تنش خشکی قرار گرفت در حالی که اثر ساده محلول پاشی جاسمونیک اسید و نیز اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). TSS میوه به طور معنی‌داری از ۱۲/۷۳ درصد در تیمار شاهد به ۱۳/۸۳ درصد در شرایط تنش خشکی ملایم و همچنین ۱۵/۹۸ درصد در تنش خشکی شدید افزایش یافت (جدول ۲). همچنین مشخص شد که بین میوه‌های محلول پاشی شده با غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید و میوه‌های تیمار نشده از نظر TSS اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

به‌طور کلی، افزایش در میزان مواد جامد تحت تأثیر تنش خشکی ترفندی است که گیاه جهت تنظیم اسمزی و استفاده از آن در جهت تحمل تنش استفاده می‌نماید (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷). همانطوری که در بالا توضیح داده شد، جاسمونات‌ها می‌توانند ظرفیت فتوسنتزی را افزایش دهند که در کنار آن باعث افزایش میزان قندهای

3. Janoudi and Flore
4. Ayala-Zavala

1. Heldt and Piechulla
2. Creelman and Mullet

پاسخ به تنش خشکی به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱ الف). مشخص شد که میوه درختانی که با جاسمونیک اسید محلول‌پاشی شده بودند در مقایسه با میوه درختان محلول‌پاشی نشده از فنل کل بیشتری برخوردار بودند که در این میان غلظت ۱۰۰ میکرومولار جاسمونیک اسید موثرتر بود (شکل ۱ الف).

افزایش میزان ترکیبات فنلی در پاسخ به تنش خشکی قبلاً نیز توسط نیک‌روش و همکاران (۱۳۹۵) در گیاه کلزا گزارش شده است. عدم تحرک در گیاهان سبب توسعه ساز و کارهایی در آنها شده است تا بتوانند در مقابل شرایط نامطلوب محیطی مقاومت نمایند. از جمله این ساز و کارها سنتز متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنلی است. ترکیبات فنلی در میان مواد دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، یکی از مهم‌ترین گروه‌ها هستند. ترکیبات فنلی در سلسله گیاهی با داشتن حداقل یک حلقه آروماتیک و وجود یک یا بیشتر از یک گروه هیدروکسیل متصل به آن مشخص می‌شوند و بر پایه تعداد و ترتیب اتم‌های کربن آنها به فلاونوئیدها (فلاونولها، فلاوونها، آنتوسیانینها) و غیرفلاونوئیدها (اسیدهای فنولیک، هیدروکسی‌سیناماتها، استیلبنها) تقسیم می‌شوند که معمولاً به قندها و اسیدهای آلی متصل می‌گردند. ترکیبات فنلی به‌عنوان یکی از ترکیبات آنتی‌اکسیدان شناخته شده‌اند که با مکانیسم‌های متعددی مثل ربایش رادیکال‌های آزاد، خاموش کردن اکسیژن منفرد و یا مصرف شدن به‌عنوان سوبسترای آنزیم‌های پراکسیداز نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا می‌کنند. این ترکیبات همچنین با اهداء سریع هیدروژن به رادیکال‌های لیپید از ادامه زنجیره پراکسیداسیون ممانعت می‌کنند. افزایش مقدار فنل احتمالاً ناشی از فعالیت مسیر هگروزمونو فسفات و مسیر استات و رها شدن فنل‌ها توسط آنزیم‌های هیدرولیزکننده می‌باشد. نشان داده است که ترکیبات فنلی با دادن الکترون به آنزیم‌های نوع پراکسیداز و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده می‌توانند در سلول به عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کنند. ترکیبات فنلی (فنل کل و فلاونوئید) از طریق مسیر فنیل پروپانویید ساخته می‌شود و آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز آنزیم کلیدی این مسیر متابولیکی مهم است که تحت تأثیر تنش‌های غیرزیستی

میلی‌گرم بر گرم در تیمار شاهد به ۳۳/۸۹ میلی‌گرم بر گرم در تیمار تنش خشکی شدید شد (جدول ۲). همچنین مشخص شد که میوه‌های تیمار شده با جاسمونیک اسید از ویتامین ث بیشتری برخوردار بودند به طوری که میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار جاسمونیک اسید با ۴۳/۴۸ میلی‌گرم بر گرم بیشترین ویتامین ث را دارا بودند (جدول ۲).

میزان ترکیبات زیست‌فعال میوه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر میزان آب دریافتی قرار دارد. اعمال تنش خشکی جذب بیش از حد کربن و سنتز متابولیت‌های اولیه را به دنبال داشته، ضمن افزایش رشد رویشی، گرایش گیاه را به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه کاهش دهد که این خود می‌تواند عاملی برای کاهش برخی از ترکیبات زیست‌فعال (مانند کاهش میزان ویتامین ث مشاهده شده در این آزمایش) باشد (ملیشو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). در این بررسی با افزایش شدت تنش مقدار ویتامین ث به شدت کاهش یافت که این کاهش را اینگونه می‌توان توضیح داد که ویتامین ث از اسیدهای آلی می‌باشد که به دلیل دمای زیاد ایجاد شده ناشی از تنش کم‌آبی، تنفس افزایش یافته و بنابراین اسیدها به‌عنوان پیش‌ماده در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند، این امر باعث کاهش اسید و در نتیجه کاهش ویتامین ث در تنش کم‌آبی می‌شود (حسین^۲ و همکاران، ۲۰۱۶؛ باسو^۳ و همکاران، ۲۰۱۶).

مشخص شد که گیاهان محلول‌پاشی شده با جاسمونیک اسید دارای ترکیبات زیست‌فعال بیشتری بودند. مطابق با یافته‌های بررسی حاضر در تحقیق محمدی و همکاران (۱۳۹۵) مشخص شد که میزان ویتامین ث میوه هلو تیمار شده با متیل‌جاسمونات نسبت به تیمار شاهد، افزایش یافت. دلیل این افزایش می‌تواند به اثر جاسمونیک اسید بر تحریک آنزیم‌های سنتزکننده ویتامین ث باشد (واسترناک و سانگ^۴، ۲۰۱۷؛ کوو^۵، ۲۰۱۸؛ گومی، ۲۰۲۱).

فنل کل

بر اساس تجزیه واریانس (جدول ۱) مشخص شد که میزان فنل کل میوه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده و اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی برگی جاسمونیک اسید قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان فنل کل میوه در

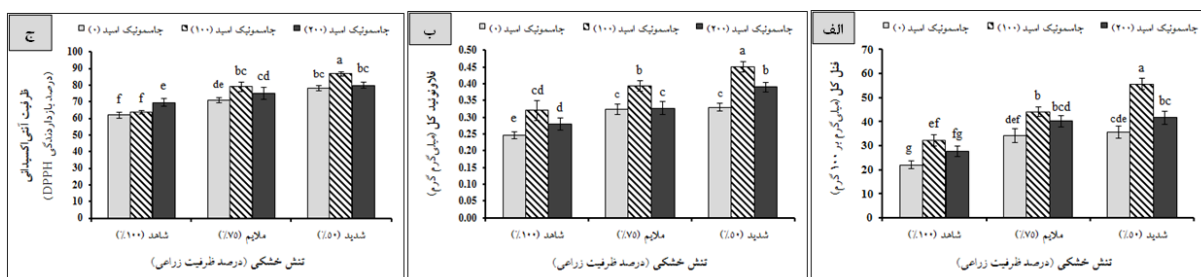
4. Wasternack and Song

5. Koo

1. Mellisho

2. Hossain

3. Basu



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل اعمال تنش خشکی و محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید بر میزان فنل کل (الف) فلاونوئید کل (ب) و ظرفیت آنتی اکسیدانی (ج) میوه پرتقال تامسون ناول. حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی داری در سطوح متناظر با آزمون LSD می باشد. میله های هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Standard Error) می باشد.

شرایط تنش خشکی میزان فلاونوئیدها را به عنوان متابولیت های ثانویه افزایش می دهد. با ایجاد تنش اکسیداتیو بیان ژن های آنتی اکسیدان و مسیر فنیل پروپانویید به ویژه بیوسنتز فلاونوئیدها افزایش می یابد. فلاونوئیدها آنتی اکسیدان هایی هستند که می توانند به طور مستقیم از طریق انتقال یک پروتون موجود در حلقه خود سبب پاک سازی رادیکال های آزاد شوند. همچنین فلاونوئیدها با کلاته کردن کاتیون های Fe^{+2} و Fe^{+3} می توانند پراکسیداسیون لیپیدهای وابسته به این دو شکل عنصر آهن را متوقف کنند. بررسی ها نشان داده است که فلاونوئیدها با کاهش سیالیت غشاءها، آن ها را نسبت به عوامل اکسیداتیو مقاوم کرده و مانع انتشار رادیکال های آزاد از خلال آن ها می شوند. همچنین فلاونوئیدها با بازدارندگی آنزیم های سیکلو اکسیژناز، لیپو اکسیژناز، مونو اکسیژناز میکروزومی و گزانتین اکسیداز از تشکیل رادیکال آزاد اکسیژن ممانعت می کنند (کومار و پاندهی^۵، ۲۰۱۳؛ پانچه^۶ و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین با توجه به مسیرهای مشترک سنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها به نظر می رسد که اسید جاسمونیک به دلایل گفته شده در مورد اثراتشان در افزایش میزان فنل کل، قادر خواهند بود میزان فلاونوئیدها را نیز افزایش دهند.

ظرفیت آنتی اکسیدانی

ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه به طور معنی دار و در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر اثرات ساده و همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید قرار داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش معنی دار ظرفیت آنتی اکسیدانی

فعالیت این آنزیم برانگیخته شده و تولید فنلی افزایش می یابد (لاتانزیو^۱، ۲۰۱۳؛ چینییر^۲ و همکاران، ۲۰۱۳؛ شارما^۳ و همکاران، ۲۰۱۹؛ نیکو^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). مشخص شد که گیاهان محلول پاشی شده با جاسمونیک اسید دارای ترکیبات زیست فعالی بیشتری بودند. مطابق با یافته های بررسی حاضر در تحقیق محمدی و همکاران (۱۳۹۵) مشخص شد که خصوصیات کیفی و آنتی اکسیدانی میوه ها نظیر کل مواد جامد محلول، اسکوربیک اسید، اسیدهای آلی، کارتنوئید، میزان آنتوسیانین و میزان فنل میوه هلو تیمار شده با متیل جاسمونات نسبت به تیمار شاهد، افزایش یافت. در این میان تیمار متیل- جاسمونات ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بیشترین تأثیر را در بهبود ویژگی های کیفی و آنتی اکسیدانی میوه های هلوئی آلبرتا داشت.

فلاونوئید کل

نتایج نشان داد که اثرات ساده و اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید به طور معنی دار و در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فلاونوئید کل میوه پرتقال تامسون ناول تأثیر داشتند (جدول ۱). در پاسخ به اعمال تنش خشکی، فلاونوئید کل میوه به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۱ ب). میوه های محلول پاشی شده با غلظت های مختلف جاسمونیک اسید در مقایسه با میوه های تیمار نشده از فلاونوئید کل بیشتری برخوردار بودند (شکل ۱ ب). در بین تیمارهای محلول پاشی برگی جاسمونیک اسید غلظت ۱۰۰ میکرومولار دارای میوه هایی با بیشترین میزان فلاونوئید کل بود.

4. Naikoo
5. Kumar and Pandey
6. Panche

1. Lattanzio
2. Cheynier
3. Sharma

میوه شد (شکل ۱ج).

همچنین مشخص شد که میوه‌های درختان تیمار شده با جاسمونیک اسید از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری برخوردار بودند. در شرایط تنش خشکی شدید (۵۰ درصد FC)، میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار جاسمونیک اسید با دارا بودن ۸۶/۷۴ درصد بازدارندگی DPPH، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص دادند (شکل ۱ج).

در شرایط عادی رشد، بسیاری از فرآیندهای متابولیکی در گیاهان باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند اما گیاهان مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی کارآمدی برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن دارند. تحت شرایط تنش این تعادل به هم خورده و مقدار گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابند. در این بین گیاه با فعال کردن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی درصدد خنثی‌سازی این رادیکال‌های آزاد برآمده که در نهایت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه افزایش می‌یابد (کاپور^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ حسن الزمان و تنویر^۲، ۲۰۲۰).

مشخص شده است که متیل جاسمونات می‌تواند از طریق تحریک ساخت اتیلن و فعال کردن آنزیم‌های مؤثر بر ساخت ترکیبات فنلی و همچنین افزایش میزان قندهای محلول، تجمع آنتوسیانین و سایر ترکیبات فنلی که در بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه نقش دارند، باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گردد (مملینک^۳، ۲۰۰۹؛ کوو، ۲۰۱۸؛ گومی، ۲۰۲۱). در مطالعه صورت گرفته توسط جمالیان (۱۳۹۸) مشخص شد که استفاده از جاسمونیک اسید با افزایش میزان اسیدهای آمینه آسپارتیک، آسپاراژین، آلانین و هیستیدین، افزایش فنل کل، پروتئین‌های محلول و

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با فعال‌سازی مکانیسم دفاعی گیاه باعث افزایش مقاومت گیاه توت‌فرنگی به تنش شوری گردید. خادمیان و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش نمودند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اثر تیمار جاسمونیک اسید در گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی افزایش یافت. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند جاسمونیک اسید به عنوان مولکول‌های هشداردهنده در شرایط نامساعد محیطی فعالیت می‌کنند و می‌تواند باعث به کار انداختن سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاه گردد (مملینک، ۲۰۰۹).

نتیجه‌گیری کلی

در بررسی حاضر مشخص شد که تنش خشکی باعث کاهش طول، قطر، وزن میوه و ویتامین ث گردید. این در حالی بود که میزان مواد جامد محلول کل، فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافتند. نتایج حاکی از آن بود که ابعاد و وزن میوه و نیز میزان مواد جامد محلول کل، ویتامین ث، فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به محلول‌پاشی برگ‌ی جاسمونیک اسید افزایش یافته و کیفیت تغذیه‌ای میوه بهبود یافت. با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن این مورد که در اکثر موارد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار جاسمونیک اسید با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند، استفاده از محلول‌پاشی برگ‌ی جاسمونیک اسید به‌ویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار به منظور کاهش اثرات سوء تنش خشکی در درختان پرتقال تامسون‌ناول می‌تواند به‌عنوان یک راه کار عملی مدنظر قرار گیرد.

منابع

- جمالیان، س. ۱۳۹۸. بررسی کاربرد اسید جاسمونیک و اسید آبسزیک بر متابولیسم گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. علوم باغبانی ایران، ۵(۳): ۵۹۵-۶۰۷.
- خادمیان، ر.، قربانی‌نهوجی، م. و اصغری، ب. ۱۳۹۸. اثر جاسمونیک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) تحت تنش خشکی. فصلنامه گیاهان دارویی، ۱۸(۷۲): ۱۱۲-۱۳۴.
- راد، م.ه.، اصغری، م.ر. و عصاره، م.ح. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه انار (*Punica granatum L.*) رقم رباب نیریز در شرایط اقلیمی خشک. مجله به‌زراعی نهال و بذر، ۳۱(۱): ۷۵-۹۰.

- فیفا، ر.، فتوحی قزوینی، ر.، گل‌عین، ب. و حمیداوغلی، ی. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تنش آبی شدید بر برخی ویژگی‌های دانه‌های مرکبات. علوم باغبانی ایران، ۴۷(۳): ۳۹۷-۴۰۵.
- قاسمی، ح.، امیری‌فهلپانی، ر.، کاوسی، ب. و دهداری، م. ۱۳۹۷. واکنش برخی ارقام توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa* Duch.) به کم آبیاری از نظر سطح برگ و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۱۹(۱): ۲۵-۳۸.
- محمدی، ح.، پاک‌کیش، ز. و صفاری، و.ر. ۱۳۹۵. نقش سالیسیلیک‌اسید و متیل‌جاسمونات روی افزایش ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی میوه هلو (*Prunus persica* L.). مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۵(۵): ۱۳-۲۲.
- نیک‌روش، م.، خلدبرین، ب.، نژادستاری، ط. و نجفی، ف. ۱۳۹۵. اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر برخی عوامل فیزیولوژیکی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش خشکی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۹(۳): ۶۴۴-۶۵۸.
- وهبی، ن.، امام، ی. و پیرسته‌انوشه، ه. ۱۳۹۶. بهبود رشد و عملکرد گندم با استفاده از کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش رطوبتی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵(۱): ۱۲۴-۱۳۵.
- Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y., Wang, C.Y. and Gonzalez-Aguilar, G.A. 2005. Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. *European Food Research Technology*, 221: 731-738.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A., 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, 5: 1554.
- Bordonaba, J.G. and Terry, L.A. 2010. Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, 122 (4): 1020-1026.
- Cheyrier, V., Comte, G., Davies, K.M., Lattanzio, V. and Martens, S. 2013. Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72: 1-20.
- Creelman, R.A. and Mullet, J.E. 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 48(1): 355-381.
- Du, G., Li, M., Ma, F. and Liang, D. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113(2): 557-562.
- Garcia-Tejero, I., Jimenez-Bocanegra, J.A., Martinez, G., Romero, R., Duran-Zuazo, V.H. and Muriel-Fernandez, J. 2010. Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard (*Citrus sinensis* L.) Osbeck, cv. Salustiano. *Agricultural Water Management*, 97(5): 614-622.
- Gomi, K. 2021. Jasmonic Acid Pathway in Plants 2.0. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7): 3506.
- Hasanuzzaman, M. and Tanveer, M. 2020. Salt and Drought Stress Tolerance in Plants, Signaling Networks and Adaptive Mechanisms. Springer International Publishing, Springer Nature Switzerland AG. 403 p.
- Heldt, H.W. and Piechulla, B. 2021. Plant Biochemistry. Fifth Edition. Elsevier Inc. Academic Press.
- Hossain, M.A., Wani, S.H., Bhattachajee, S., Burritt, D.J. and Tran, L.S.P. 2016. Drought Stress Tolerance in Plants, Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1, Physiology and Biochemistry. Springer International Publishing. 526 p.
- Janoudi, A. and Flore, J.A. 2003. Effects of multiple applications of methyl jasmonate on fruit ripening, leaf gas exchange and vegetative growth in fruit trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(6): 793-797.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A. 2020. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16): 5692.
- Koo, A.J. 2018. Metabolism of the plant hormone jasmonate: a sentinel for tissue damage and master regulator of stress response. *Phytochemistry Reviews*, 17(1): 51-80.
- Kumar, S. and Pandey, A.K. 2013. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The Scientific World Journal*, 2013: 162750.

- Ladanyia, M. 2008. Citrus Fruit, 1st Edition, Biology, Technology and Evaluation. Academic Press. 576 p.
- Lattanzio, V. 2013. Phenolic compounds: Introduction. In: Ramawat, K., Mérillon, JM. (eds) Natural Products. Springer, Berlin, Heidelberg. pp.1543-1580.
- Lopez, G., Larrigaudiere, C., Girona, J., Behboudian, M.H. and Marsal, J. 2011. Fruit thinning in 'Conference' pear grown under deficit irrigation: Implications for fruit quality at harvest and after cold storage. *Scientia Horticulturae*, 129(1): 64-70.
- Mellisho, C.D., Egea, I., Galindo, A., Rodríguez, P., Rodríguez, J.B., Conejero, W., Romojaro, F. and Torrecillas, A., 2012. Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 114: 30-36.
- Memelink, J., 2009. Regulation of gene expression by jasmonate hormones. *Phytochemistry*, 70(13-14): 60-1570.
- Mpelasoka, B.S., Behboudian, M.H., Dixon, J., Neal, S.M. and Caspari, H.W. 2000. Improvement of fruit quality and storage potential of 'Braeburn' apple through deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(5): 615-621.
- Naikoo, M.I., Dar, M.I., Raghieb, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F.A. and Naushin, F. 2019. Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: An overview. *Plant Signaling Molecules*, 9: 157-168.
- Panche, A.N., Diwan, A.D. and Chandra, S.R. 2016. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5: e47.
- Perez-Pastor, A., Ruiz-Sanchez, M. C., Martinez, J. A., Nortés, P. A., Artes, F. and Domingo, R. 2007. Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(13): 2409-2415.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M. and Zheng, B. 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24(13): 2452.
- Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Fattahi Moghaddam, J. and Ebrahimi, R. 2016. Enhancing and maintaining nutritional quality and bioactive compounds of 'Hayward' kiwifruit: Comparison the effectiveness of different CaCl₂ spraying times. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5): 850-862.
- Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D. and Saadatian, M. 2011. Effect of ascorbic acid on phenolic compounds and antioxidant activity of packaged fresh cut table grape. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10: 2506-2515.
- Talon, M., Caruso, M. and Gmitter, J.F.G. 2020. Woodhead Publishing, Elsevier Inc. All rights reserved. 538 p.
- Wang, J., Song, L., Gong, X., Xu, J. and Li, M. 2020. Functions of jasmonic acid in plant regulation and response to abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4): 1446.
- Wasternack, C. and Song, S. 2017. Jasmonates: biosynthesis, metabolism, and signaling by proteins activating and repressing transcription. *Journal of Experimental Botany*, 68(6): 1303-1321.