

اثر اسید سالیسیلیک و کائولین بر رشد، عملکرد و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت دوره‌های مختلف آبیاری

فردین قنبری*، مهدی صیدی، سعداله اکبری و سیمین گراوند

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹)

چکیده

با توجه به اقلیم خشک و کمبود آب در کشور ایران استفاده از موادی که بتواند تحمل گیاه به کم‌آبی را افزایش دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق اثر اسید سالیسیلیک و کائولین بر تحمل تنش کم‌آبی در گیاه گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها شامل محلول‌پاشی برگ‌ها در چهار سطح (شاهد، اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، کائولین ۲/۵ درصد و کاربرد هم‌زمان اسید سالیسیلیک + کائولین) و دور آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار آبیاری) بود. نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری در گیاه گوجه‌فرنگی منجر به کاهش رشد و عملکرد در این گیاه شد، به طوری که میانگین عملکرد در دوره‌های آبیاری ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار نسبت به شاهد (دو روز یک‌بار) به ترتیب ۹، ۱۱ و ۲۱ درصد کاهش یافت. با افزایش دور آبیاری محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل کل، تعرق و فتوسنتز کاهش و مالون دی‌آلدئید، پرولین، فعالیت آنزیم پراکسیداز و پراکسید هیدروژن افزایش یافت. تیمارهای اسید سالیسیلیک و کائولین تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کاهش آثار تنش کم‌آبی در گیاه گوجه‌فرنگی داشتند. کاربرد اسید سالیسیلیک و کائولین با افزایش کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نرخ فتوسنتز و تعرق سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه شدند. بیشترین تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی در شرایط دور آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان اسید سالیسیلیک + کائولین اثر هم‌افزایی نسبت به کاربرد این مواد به صورت جداگانه نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده برای کاهش آثار آبیاری طولانی در گیاه گوجه‌فرنگی استفاده از کائولین یا اسید سالیسیلیک توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: تعرق، خشکی، فتوسنتز، مالون دی‌آلدئید، محلول‌پاشی

مقدمه

خشکی حساس بوده و برای رشد رویشی و تولید مثل، به ویژه در مرحله گلدهی و بزرگ‌شدن میوه، به مقدار زیادی آب نیاز دارد (Rao et al., 2000). در شرایط تنش خشکی، محصول گوجه‌فرنگی از طرق مختلف از جمله کاهش رشد و کاهش سطح برگ، ریزش گل، کمبود مواد معدنی به دلیل عدم جذب کافی، کاهش اندازه میوه، پوسیدگی گلگاه و بسیاری از

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* Mill. معروف‌ترین سبزی‌ها از خانواده Solanaceae است و به دلیل کالری کم، غنی بودن از آهن، ویتامین‌ها و برخی آنتی‌اکسیدان‌ها در سراسر دنیا مورد مصرف قرار می‌گیرد (Rai et al., 2013). گیاه گوجه‌فرنگی همانند بسیاری از سبزی‌های دیگر به تنش

*نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: f.ghanbari@ilam.ac.ir

محلول پاشی کائولین بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی گزارش کردند که کاربرد کائولین در غلظت ۵ درصد سبب افزایش دمای برگ شده و میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و همچنین منجر به افزایش ۲۶ درصدی عملکرد کل نسبت به شاهد شد.

استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی یکی دیگر از تکنیک‌های کاهش آثار تنش خشکی بر گیاهان است. اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید، یک ماده تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند رشد و نمو گیاه، گلدهی، تولید اتیلن، باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس نقش دارد (Raskin, 1992).

اسید سالیسیلیک با تنظیم بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث افزایش تحمل تنش در گیاهان می‌شود. به‌طور کلی، غلظت کم اسید سالیسیلیک ممکن است ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان را افزایش دهد، اما غلظت زیاد اسید سالیسیلیک ممکن است باعث مرگ سلول یا حساسیت به تنش‌های غیرزیستی شود (Hara et al., 2012). کاربرد سالیسیلیک اسید ۴۵ روز پس از سبز شدن نشاهای گوجه‌فرنگی تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای فتوسنتزی، پایداری غشا سلولی، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل و فعالیت نیترات ردوکتاز داشت و توانست آثار خشکی بر گیاه را کاهش دهد (Hayat et al., 2008). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید و مشتق آن، استیل سالیسیلیک اسید، سبب افزایش تحمل تنش‌های سرما، گرما و خشکی در نشاهای لوبیا و گوجه‌فرنگی شد (Senarana et al., 2000). همچنین Brito و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی نقش کائولین و اسید سالیسیلیک بر تحمل شرایط کم‌آبی در زیتون گزارش کردند که با کاربرد اسید سالیسیلیک و کائولین میزان عملکرد به ترتیب ۷۲ و ۹۷ درصد نسبت به عدم کاربرد آن‌ها افزایش یافت. با توجه به مرور منابع انجام‌شده تا کنون گزارشی از بررسی تأثیر هم‌زمان سالیسیلیک اسید و کائولین در گوجه‌فرنگی منتشر نشده است. بنابراین در تحقیق حاضر اثر کاربرد جداگانه و هم‌زمان اسید سالیسیلیک و کائولین بر رشد، عملکرد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی در شرایط

اختلالات فیزیولوژیکی مربوط به کمبود کلسیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kumar et al., 2012). از طرف دیگر، خشکی ترکیبی از انواع مختلف تنش است، بنابراین تأثیر بسیار پیچیده‌ای بر رشد و نمو گیاه دارد (Zlatev and Lidon, 2012). به دلیل تنش خشکی، مهار تقسیم سلولی منجر به کاهش رشد رویشی و تولید مثلی می‌شود. به دلیل کاهش اندازه سلول، سطح برگ و طول ساقه کاهش می‌یابد. مقدار پایین آب در خاک، رابطه آب در گیاه را مختل می‌کند، که رابطه مستقیم با جذب آب و مواد معدنی دارد. این تغییرات بیوشیمیایی و متابولیکی بر فشار تورگر، ثبات غشا و اندازه سلول مؤثر هستند (Yardanov et al., 2003).

استفاده از تکنیک‌هایی که باعث کاهش میزان تعرق شود می‌تواند اثر مثبتی بر تحمل به تنش خشکی گیاهان داشته باشد. کائولین یک ماده معدنی سفید رنگ با فرمول شیمیایی $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (آلومینیوم سیلیکات آبدار) است که از نظر شیمیایی خنثی است و دارای ویژگی انعکاس نور بسیار بالا است (Glenn, 2012). هنگامی که به صورت سوسپانسیون روی سطح برگ پاشیده شود، آب آن تبخیر شده و یک لایه نازک محافظ برجای می‌گذارد (Cantore et al., 2009). پوشش نازک کائولین بازتاب تابش اضافی، از جمله تشعشع فعال، اشعه ماورای بنفش و اشعه مادون قرمز را افزایش می‌دهد و خطر آسیب برگ و میوه را از تجمع بار گرما و آسیب نور خورشیدی کاهش می‌دهد (Glenn, 2012). محلول پاشی گیاه با سوسپانسیون آبی کائولین می‌تواند باعث کاهش آثار تنش‌های شوری و خشکی در گیاه شود (Boari et al., 2015). ذرات کائولین سفید تشکیل‌شده بر روی سطح برگ سبب افزایش بازتاب تابش خورشیدی، تغییر تابش، تعادل حرارت و کاهش خطر آسیب به برگ و میوه در درجه حرارت بالا می‌شود (Glenn, 2012). کاربرد کائولین منجر به بهبود پتانسیل آب برگ در گیاه گوجه‌فرنگی تحت شوری شده است و تحت شوری بالا، کائولین در محدود کردن کاهش فتوسنتز خالص و کاهش دمای برگ مؤثر بوده است (Boari et al., 2015). در تحقیق Cantore و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثر

مزرعه بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در مزرعه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام انجام شد. روش کشت مورد استفاده در این آزمایش روش نشایی بود. ابتدا بذرهای گوجه‌فرنگی برای تولید نشا در خزانه کاشته شده و مراقبت‌های زراعی لازم برای آن‌ها انجام شد. نشاهای آماده شده در مرحله سه برگ کاملاً توسعه‌یافته به مزرعه منتقل شدند. کشت به صورت دو ردیفه و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر و بین ردیف‌ها نیز ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل گیاهان در شرایط مزرعه (دو هفته پس از کاشت) تیمارهای آزمایشی شروع شد. تیمار تنش خشکی با استفاده از افزایش دور آبیاری اعمال شد. برای این منظور گیاهان تحت چهار دور آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار) قرار گرفتند. آبیاری دو روز یک‌بار به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. آبیاری گیاهان با استفاده از نوار تیپ اختصاصی هر ردیف انجام می‌شد. برای این کار در ابتدای هر کرت آزمایشی یک شیر فلکه نصب شده بود و در صورت نیاز براساس دور آبیاری تنظیم شده اقدام به آبیاری می‌شد. انتخاب غلظت سالیسیلیک اسید (مرک آلمان) و کائولین (سپیدان، WP95) براساس مطالعات گذشته و همچنین تحقیقات مؤلفین در این زمینه انجام شد. محلول‌پاشی در چهار سطح شاهد، کائولین ۲/۵ درصد، سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار و مصرف هم‌زمان کائولین و سالیسیلیک اسید اعمال شد. برای ساخت محلول‌های سالیسیلیک اسید و کائولین به ترتیب ۰/۶۹ و ۲۵۰ گرم از مواد موردنظر در ۱۰ لیتر آب مقطر حل شد و برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. تیمارهای محلول‌پاشی در دو مرحله قبل از گلدهی و در مرحله شروع میوه‌دهی اعمال شدند. در طول مدت آزمایش مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری و مبارزه دستی با علف‌های هرز صورت گرفت. در پایان آزمایش صفات مختلف به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری صفات رشدی پنج بوته به صورت تصادفی با در نظر گرفتن اثر حاشیه انتخاب شده و ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد کل، میوه‌ها در برداشت‌های متوالی (شش برداشت) به آزمایشگاه منتقل شده و وزن دقیق آن‌ها ثبت شد. در پایان آزمایش وزن برداشت‌های متوالی جمع شده و عملکرد کل برای هر کرت آزمایشی محاسبه شد. پس از هر برداشت تعداد میوه‌های برداشت‌شده شمارش شد. در پایان آزمایش تعداد میوه برای هر بوته محاسبه و گزارش گردید. از تقسیم عملکرد کل بر تعداد میوه کل میانگین وزن هر میوه نیز به دست آمد.

اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی براساس روش De Pascale و همکاران (۲۰۰۳) انجام گرفت. در این روش تعدادی مساوی برگ توسعه‌یافته از گیاه جدا شده و بلافاصله توزین گردید (FW). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفته تا کاملاً به حالت آماس برسند. برگ‌ها از آب مقطر خارج شده و پس از خشک‌کردن آب سطحی مجدداً توزین شدند (TW). پس از آن نمونه‌ها در آون الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شده (DW). از رابطه یک محتوای رطوبت نسبی اندازه‌گیری شد.

(رابطه ۱)

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

برای استخراج و اندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. برای این کار پرولین با استفاده از حلال اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد (وزنی به حجمی) استخراج شده و پس از سانتریفیوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ بخش بالایی آن جدا شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره رویی جدا شده و به آن ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از پایان این دوره و خنک‌شدن نمونه‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن به نمونه‌ها اضافه شد. در نهایت جذب فاز بالایی (رنگ قرمز) با اسپکتروفتومتر در طول

خواننده، و کلروفیل کل براساس رابطه ۲ گزارش شد.
(رابطه ۲)

$$Chl\ total = 20.21(A_{645}) + 8.02(A_{663})$$

اندازه‌گیری تبادلات گازی شامل تعرق، فتوسنتز، دمای برگ و غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای با دستگاه فتوسنتز متر (Plant photosynthesis meter, KoreaTech) در مرحله گلدهی کامل انجام گرفت. با قراردادن برگچه انتهایی در قسمت اتاقک دستگاه و براساس ورود و خروج گازها در این قسمت و برنامه دستگاه، اطلاعات مربوط به هر شاخص ثبت شد. اندازه‌گیری این صفات در روز غیر ابری و در ساعت ۹ تا ۱۲ صبح و شدت نور بین ۱۴۰۸ تا ۱۵۸۴ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه انجام شد.

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به کمک نرم‌افزار SAS-9.1 تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج

ارتفاع بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و تیمار محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری نشان داد که با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته به‌طوری معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان ارتفاع بوته (۵۶ سانتی‌متر) در دور آبیاری ۸ روز مشاهده شد (جدول ۲). همه تیمارهای به‌کاررفته (اسید سالیسیلیک، کائولین و اسید سالیسیلیک+کائولین) نسبت به شاهد ارتفاع بوته را افزایش دادند (جدول ۲).

وزن تر بوته: نتایج نشان داد که تنها اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح آماری یک درصد بر وزن تر بوته معنی‌دار شد درحالی‌که اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که افزایش دور آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر بوته شد. بیشترین وزن تر بوته (۴۳۰ گرم در بوته) در دور آبیاری دو روز یک‌بار و کمترین آن (۳۷۷ گرم در بوته) در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار

موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به‌عنوان شاهد انجام شد. میزان پرولین نمونه‌های برگ برحسب میکرومول در گرم وزن تر گزارش شد.

اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید براساس روش Stewart و Bewley (۱۹۸۰) انجام گرفت. برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت برگ با اسید تری‌کلرو استیک ۰/۱ درصد کوبیده شده و پس از آن به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی را برداشته و به آن یک میلی‌لیتر محلول ۰/۵٪ وزنی به حجم (w/v) اسید تیو باربیتئوریک دارای اسید تری‌کلرو استیک ۲۰٪ اضافه شد. نمونه‌ها در حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از سرد شدن جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر (Specord 50, Analytik Jena) در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش به‌کاررفته توسط Plewa و همکاران (۱۹۹۱) انجام شد. برای این کار ۰/۲ گرم از بافت نمونه با ۲ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار ساییده شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان ۵۰ میکرولیتر از عصاره رویی را برداشته و به آن ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و ۱۰۰ میکرولیتر گایاکل اضافه شد. جذب نمونه به مدت ۲ دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و فعالیت آنزیم براساس واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

میزان پراکسید هیدروژن براساس واکنش آن با پتاسیم یدید در طول موج ۳۹۰ نانومتر و با استفاده از روش Alexieva (۲۰۰۱) اندازه‌گیری و براساس نانومول بر گرم وزن تر گزارش گردید.

برای اندازه‌گیری کلروفیل از روش Strain و Svec (۱۹۶۶) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ تازه با استفاده از پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها (A) در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی، محتوای رطوبت نسبی و کلروفیل گیاه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی

| منبع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع بوته | وزن تر بوته | وزن خشک بوته | عملکرد کل | تعداد میوه | محتوای رطوبت نسبی | کلروفیل کل |
|---------------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| بلوک | ۲ | ۶۱/۷۵ | ۱۱۰۹ | ۲۰/۴۸ | ۲۲/۸۸ | ۰/۲۰ | ۱۰/۳۷ | ۰/۰۰۰۶ |
| آبیاری | ۳ | ۳۰۲/۸۵** | ۶۰۱۹** | ۱۲۳/۸۳** | ۴۶۴/۲۷** | ۸/۹۳** | ۹۷۰/۱۷** | ۰/۶۲۹۶** |
| خطای فرعی | ۶ | ۷/۲۵ | ۳۳۰ | ۷/۱۹ | ۷/۷۲ | ۰/۲۴ | ۳/۱۱ | ۰/۰۰۵۳ |
| تیمار محلول‌پاشی | ۳ | ۵۲۳/۵۷** | ۱۳۲۲۹** | ۲۶۶/۷۷** | ۳۳۵/۲۷** | ۷/۸۵** | ۲۳۰/۴۶** | ۰/۲۱۱۴** |
| آبیاری × محلول‌پاشی | ۹ | ۱۲/۷۲ ^{ns} | ۷۵۹ ^{ns} | ۱۶/۵۹ ^{ns} | ۱۵/۸۱ ^{ns} | ۰/۷۰ ^{ns} | ۲۵/۹۶* | ۰/۰۰۹۹ ^{ns} |
| خطای کل | ۲۴ | ۱۵/۰۴ | ۴۶۲ | ۹/۹۷ | ۱۶/۳۹ | ۱/۶۲ | ۱۳/۲۷ | ۰/۰۰۶۶ |
| ضرب تغییرات | - | ۶/۱۱ | ۵/۲۷ | ۵/۴۲ | ۶/۴۸ | ۶/۷۲ | ۴/۲۷ | ۴/۱۱ |

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی‌داری

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات رشدی، عملکرد و کلروفیل گیاه گوجه‌فرنگی

| تیمارها | سطوح تیمار | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | وزن تر بوته (گرم) | وزن خشک بوته (گرم) | عملکرد کل (تن در هکتار) | تعداد میوه در بوته | کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) |
|------------|------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| آبیاری | دو روز (شاهد) | ۶۸ ^a | ۴۳۰ ^a | ۶۱/۴۷ ^a | ۶۹/۳۱ ^a | ۱۹/۷۸ ^a | ۲/۱۴ ^a |
| | چهار روز | ۶۵ ^{ab} | ۴۱۴ ^{ab} | ۵۹/۲۲ ^{ab} | ۶۲/۶۹ ^b | ۱۹/۳۱ ^a | ۲/۱۵ ^a |
| | شش روز | ۶۳ ^b | ۴۰۷ ^b | ۵۸/۲۵ ^b | ۶۳/۶۰ ^b | ۱۹/۰۵ ^a | ۱/۹۶ ^b |
| | هشت روز | ۵۶ ^c | ۳۷۷ ^c | ۵۳/۸۲ ^c | ۵۴/۲۲ ^c | ۱۷/۷۰ ^b | ۱/۶۶ ^c |
| محلول‌پاشی | شاهد | ۵۵ ^c | ۳۶۶ ^c | ۵۲/۲۸ ^c | ۵۵/۹۸ ^c | ۱۷/۸۳ ^b | ۱/۸۱ ^c |
| | سالیسیلیک اسید | ۶۰ ^b | ۳۹۵ ^b | ۵۶/۵۹ ^b | ۶۰/۴۱ ^b | ۱۹/۰۳ ^a | ۱/۹۵ ^b |
| | کائولین | ۶۸ ^a | ۴۳۸ ^a | ۶۲/۶۵ ^a | ۶۷/۵۵ ^a | ۱۹/۶۷ ^a | ۲/۱۱ ^a |
| | سالیسیلیک اسید+کائولین | ۶۹ ^a | ۴۲۹ ^a | ۶۱/۲۴ ^a | ۶۵/۸۸ ^a | ۱۹/۳۸ ^a | ۲/۰۶ ^a |

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

مشاهده شد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، کائولین و سالیسیلیک اسید+کائولین به ترتیب ۸، ۲۰ و ۱۷ درصد وزن تر بوته را نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش دادند (جدول ۲).

آبیاری ۴ روز یک‌بار و ۲ روز یک‌بار اختلاف آماری معنی‌داری برای این صفت نداشتند (جدول ۲). از طرف دیگر همانند وزن تر بوته، همه سطوح محلول‌پاشی وزن خشک بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند و بیشترین افزایش در محلول‌پاشی با کائولین و کائولین + سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۲).

عملکرد کل: نتایج نشان داد که عملکرد کل در گیاه گوجه‌فرنگی تنها تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری و تیمار محلول‌پاشی قرار گرفت و اثر متقابل این دو تیمار بر این

وزن خشک بوته: نتایج نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر وزن خشک بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). دوره‌های آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار وزن خشک بوته را نسبت به شاهد کاهش دادند ولی دور

ترکیبات محلول‌پاشی شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و همگی آن‌ها تقریباً در یک سطح محتوای رطوبت نسبی را تحت تأثیر قرار دادند (شکل ۱).

کلروفیل کل: نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که دوره‌های آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار نسبت به دور آبیاری ۲ روز یک‌بار سبب کاهش معنی‌دار و به ترتیب ۸ و ۲۲ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد شدند (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که همه تیمارهای محلول‌پاشی کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند و تأثیر تیمارهای کائولین و سالیسیلیک اسید+کائولین بیشتر از تیمار سالیسیلیک اسید بود (جدول ۲).

محتوای پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و تیمار محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر محتوای پرولین معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دور آبیاری \times محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر پرولین معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که در دوره‌های مختلف آبیاری، استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی تأثیر متفاوتی بر محتوای پرولین در گیاه گوجه‌فرنگی داشت. در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچ‌کدام از سطوح محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین نداشتند. در دور آبیاری ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار تیمارهای اسید سالیسیلیک و اسید سالیسیلیک+کائولین سبب افزایش معنی‌دار پرولین نسبت به شاهد شدند. همچنین در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار تیمار کائولین سبب کاهش پرولین نسبت به شاهد شد (شکل ۲).

مالون دی‌آلدهید: نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری، محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل این دو تیمار در سطح یک درصد آماری بر میزان مالون دی‌آلدهید معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طورکلی نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری سبب افزایش معنی‌دار تجمع مالون دی‌آلدهید شد. از طرف دیگر در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچ‌کدام از تیمارهای

صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). افزایش دور آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد کل شد به‌طوری‌که میانگین عملکرد در دوره‌های آبیاری ۴، ۶ و ۸ روز یک‌بار نسبت به شاهد (دو روز یک‌بار) به ترتیب ۹، ۱۱ و ۲۱ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که ترکیبات محلول‌پاشی شده نسبت به شاهد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کل نسبت به شاهد شدند و در این بین کائولین و کائولین + سالیسیلیک اسید تأثیر بیشتری بر افزایش این صفت نسبت به سالیسیلیک اسید داشتند (جدول ۲).

تعداد میوه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و تیمار محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر تعداد میوه در بوته معنی‌دار شد. اثر متقابل دور آبیاری \times محلول‌پاشی بر تعداد میوه در بوته معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی دور آبیاری نشان داد که تنها دور آبیاری ۸ روز یک‌بار سبب کاهش معنی‌دار تعداد میوه در بوته نسبت به شاهد شد و دوره‌های آبیاری ۴ و ۶ روز یک‌بار تأثیر معنی‌داری بر آن نداشتند (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبات سبب افزایش معنی‌دار تعداد میوه در بوته شده و بین ترکیبات محلول‌پاشی (سالیسیلیک اسید، کائولین و سالیسیلیک+کائولین) اختلاف آماری معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۲).

محتوای رطوبت نسبی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد آماری بر محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل آبیاری \times محلول‌پاشی در سطح ۵ درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۱). به‌طورکلی با افزایش دور آبیاری محتوای رطوبت نسبی روند کاهشی داشت و به کمترین میزان خود در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار رسید. در دور آبیاری دو روز یک‌بار هیچ‌کدام از ترکیبات محلول‌پاشی شده تأثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت نسبی نداشتند ولی در سطوح دیگر آبیاری تمام این ترکیبات محتوای رطوبت نسبی را نسبت به شاهد افزایش دادند. از طرف دیگر نتایج نشان داد که بین

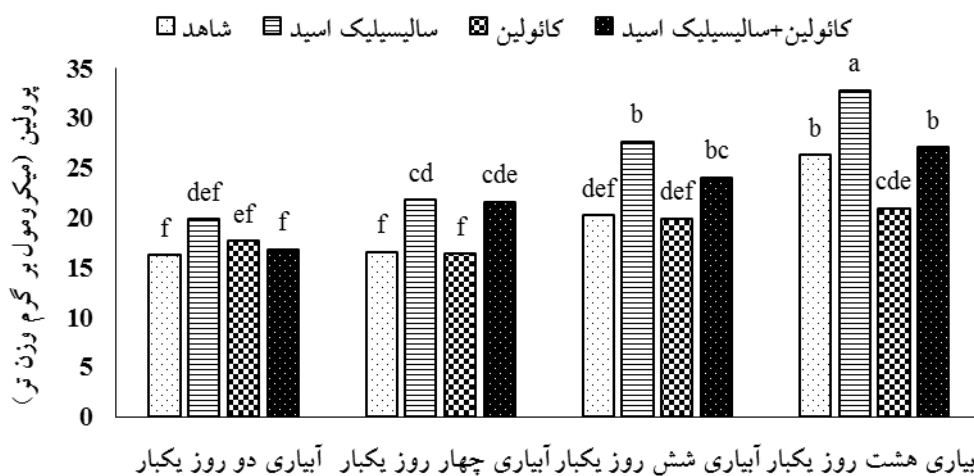


شکل ۱- اثر محلول پاشی کاتولین و سالیسیلیک اسید بر محتوای رطوبت نسبی در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دوره‌های مختلف آبیاری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی

| منبع تغییر | درجه آزادی | پرولین | مالون دی‌آلدهید | پراکسیداز | پراکسید هیدروژن | فتوستنز | تعرق | دمای برگ | دی‌اکسید کربن |
|---------------------|------------|----------|-----------------|-----------|-----------------|--------------------|--------------------|----------|---------------------|
| بلوک | ۲ | ۶/۷۱ | ۰/۳۶ | ۰/۲۳ | ۰/۴۴ | ۱/۷۱ | ۰/۶۹ | ۰/۰۴ | ۳۷ |
| آبیاری | ۳ | ۲۰۱/۶۳** | ۴۷/۵۹** | ۲۱/۵۰** | ۶۹/۳۵** | ۶/۷۵** | ۱/۱۰** | ۴/۳۳* | ۲۲۷۶۸۳** |
| خطای فرعی | ۶ | ۱۰/۳۲ | ۰/۲۶ | ۰/۲۳ | ۰/۱۵ | ۰/۶۶ | ۰/۲۱ | ۰/۸۷ | ۴۷۷۷ |
| تیمار محلول پاشی | ۳ | ۱۰۹/۷۱** | ۷/۸۹** | ۳/۸۶** | ۸/۸۱** | ۲/۲۵** | ۰/۵۸* | ۴/۶۱** | ۱۷۱۶۹** |
| آبیاری × محلول پاشی | ۹ | ۱۱/۹۱** | ۲/۰۱** | ۰/۸۸* | ۱/۰۱* | ۰/۳۳ ^{ns} | ۰/۰۶ ^{ns} | ۲/۳۸* | ۱۲۸۲۵ ^{ns} |
| خطای آزمایشی | ۲۴ | ۳/۱۰ | ۰/۳۱ | ۰/۳۲ | ۰/۳۸ | ۰/۳۴ | ۰/۱۹ | ۱/۴۶ | ۱۱۵۵ |
| ضریب تغییرات | - | ۸/۱۳ | ۸/۰۴ | ۱۳/۱۲ | ۱۰/۲۳ | ۱۴/۵۴ | ۱۹/۹۷ | ۳/۸۰ | ۸/۲۷ |

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی‌داری



شکل ۲- اثر محلول پاشی کاتولین و سالیسیلیک اسید بر محتوای پرولین در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دوره‌های مختلف آبیاری



شکل ۳- اثر محلول پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر مالون دی آلدئید در گیاه گوجه فرنگی تحت دوره‌های مختلف

محلول پاشی در سطح ۵ درصد بر پراکسید هیدروژن معنی دار شد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری میزان پراکسید هیدروژن در برگ‌های گوجه فرنگی روند افزایشی نشان داد و بیشترین میزان پراکسید هیدروژن در تیمار ترکیبی شاهد و دور آبیاری ۸ روز یکبار مشاهده شد. از طرف دیگر نتایج نشان داد که محلول پاشی تأثیر معنی داری بر کاهش پراکسید هیدروژن داشتند. در دور آبیاری ۸ روز یکبار تیمار سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را در کاهش این صفت (۲۵ درصد کاهش نسبت به شاهد) نسبت به تیمارهای دیگر نشان داد (شکل ۵).

نرخ فتوسنتز: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و تیمار در سطح یک درصد بر نرخ فتوسنتز معنی دار شد. اثر متقابل آبیاری × تیمار محلول پاشی بر نرخ فتوسنتز معنی دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش دور آبیاری نرخ فتوسنتز نیز کاهش یافت به طوری که کمترین میزان فتوسنتز (۳/۱۵) در دور آبیاری هشت روز یکبار مشاهده شد. از طرف دیگر، همه تیمارهای محلول پاشی فتوسنتز کل را نسبت به شاهد افزایش دادند و بین تیمار (سالیسیلیک، کائولین و سالیسیلیک+کائولین) اختلاف آماری معنی داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۴).

تعرق: نتایج نشان داد که اثر اصلی آبیاری در سطح یک درصد و اثر اصلی تیمار محلول پاشی در سطح پنج درصد بر تعرق معنی دار شد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری نرخ تعرق

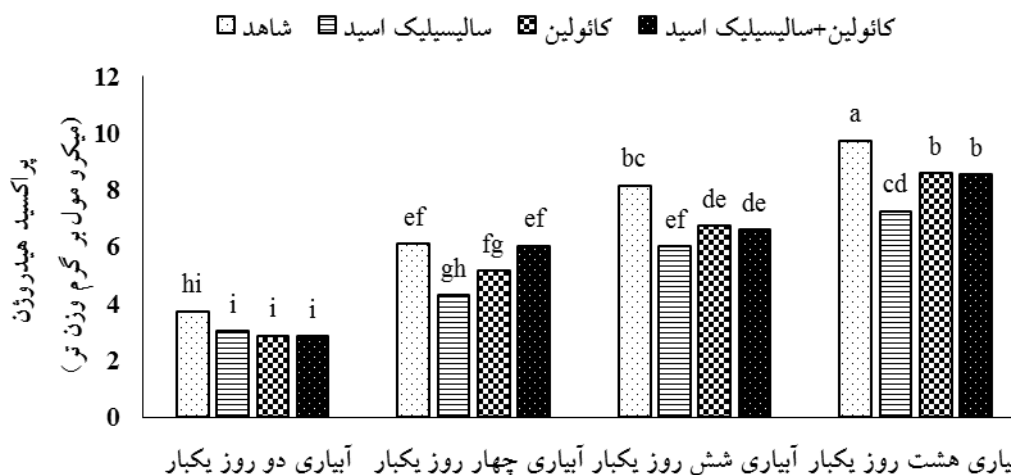
محلول پاشی تأثیر معنی داری بر این صفت نداشتند. در دور آبیاری ۴ روز یکبار تنها تیمار کائولین و در دوره‌های آبیاری ۶ و ۸ روز یکبار هر سه تیمار محلول پاشی تجمع مالون دی آلدئید را نسبت به شاهد کاهش دادند. بیشترین کاهش مالون دی آلدئید (۳۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) در دور آبیاری ۸ روز یکبار و تحت تأثیر تیمار کائولین مشاهده شد (شکل ۳).

فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول پاشی در سطح یک درصد و اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی در سطح ۵ درصد آماری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که سطوح محلول پاشی در دوره‌های مختلف آبیاری تأثیر متفاوتی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز داشتند. در دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روز یکبار همه ترکیبات محلول پاشی شده و در دور آبیاری ۶ روز یکبار کائولین و سالیسیلیک+کائولین فعالیت آنزیم را نسبت به شاهد افزایش دادند. در دور آبیاری دو روز یکبار هیچکدام از ترکیبات محلول پاشی شده تأثیر معنی داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نداشت (شکل ۴).

پراکسید هیدروژن: نتایج نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و محلول پاشی در سطح یک درصد آماری بر پراکسید هیدروژن معنی دار شد. همچنین اثر متقابل دور آبیاری ×



شکل ۴- اثر محلول‌پاشی کاتولین و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دوره‌های مختلف آبیاری



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی کاتولین و سالیسیلیک اسید بر پراکسید هیدروژن در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دوره‌های مختلف آبیاری

سطوح مختلف آبیاری داشت. به‌طوری‌که در سطوح آبیاری دو و چهار روز یک‌بار هیچ‌کدام از سطوح محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ نسبت به شاهد نداشتند ولی در سطوح آبیاری هشت روز یک‌بار کاتولین و سالیسیلیک اسید دمای برگ را نسبت به شاهد کاهش دادند. همچنین در دور آبیاری شش روز یک‌بار تنها کاتولین دمای برگ را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۶).

دی‌اکسید کربن زیراتاق روزنه‌ای: اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی بر دی‌اکسید کربن زیر اتاق روزنه‌ای معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری دی‌اکسید

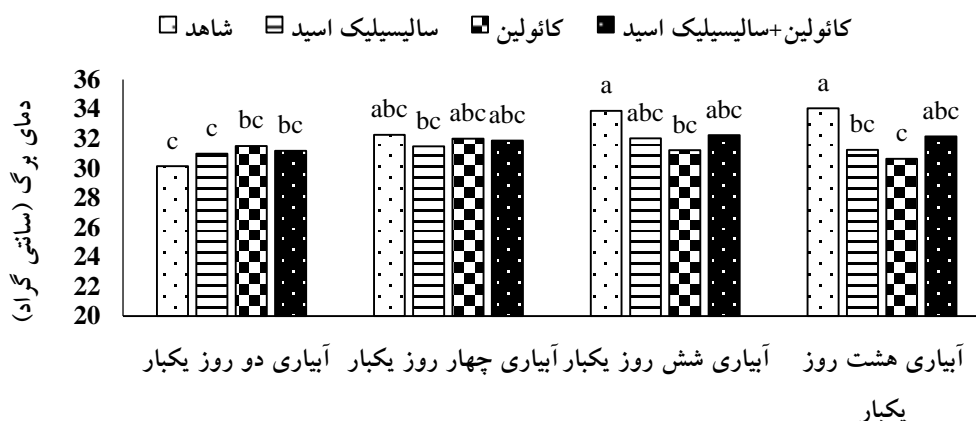
روند کاهشی داشت و کمترین میزان تعرق در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار مشاهده شد که نسبت به دور آبیاری دو روز یک‌بار کاهش ۲۷ درصدی نشان داد (جدول ۴). استفاده از کاتولین و اسید سالیسیلیک+کاتولین نسبت به شاهد نرخ تعرق را افزایش داد ولی کاربرد سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۴).

دمای برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر دمای برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی تأثیر متفاوتی بر دمای برگ در

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و تیمار محلول پاشی بر صفات فتوستزی گیاه گوجه‌فرنگی

| تیمارها | سطوح تیمار | فتوستز (میکرومول بر متر مربع در ثانیه) | تعرق (مول بر متر مربع در ثانیه) | دی اکسید کربن (مول بر متر مربع در ثانیه) |
|------------|------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| آبیاری | دو روز | ۴/۹۴ ^a | ۲/۵۲ ^a | ۳۶۱ ^c |
| | چهار روز | ۴/۱۴ ^b | ۲/۳۶ ^{ab} | ۳۲۸ ^d |
| | شش روز | ۳/۷۵ ^b | ۲/۱۲ ^{bc} | ۴۴۹ ^b |
| | هشت روز | ۳/۱۵ ^c | ۱/۸۳ ^c | ۵۰۲ ^a |
| محلول پاشی | شاهد | ۳/۳۵ ^b | ۱/۹۸ ^b | ۴۴۲ ^a |
| | سالیسیلیک اسید | ۴/۲۸ ^a | ۲/۰۵ ^{ab} | ۳۹۹ ^a |
| | کائولین | ۴/۱۷ ^a | ۲/۳۸ ^a | ۳۹۵ ^b |
| | سالیسیلیک اسید+کائولین | ۴/۱۸ ^a | ۲/۴۱ ^a | ۴۰۵ ^b |

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد ندارند.



شکل ۶- اثر محلول پاشی کائولین و سالیسیلیک اسید بر دمای برگ در گیاه گوجه‌فرنگی تحت دوره‌های مختلف آبیاری

خشکی ناشی از آن، آثار منفی بر رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی داشت. در این تحقیق با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه، تعداد میوه و همچنین عملکرد کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. احتمالاً به این دلیل که در شرایط تنش خشکی محتوای کلرفیل کاهش یافته و به تبع آن فتوستز و تولید مواد پرورده محدود شده است. از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد، از جمله پراکسید هیدروژن، منجر به تنش اکسیداتیو شده و در این شرایط غشاهای سلول آسیب دیده و تجمع مالون دی‌آلدید مشاهده می‌شود (Jaleel et al., 2009). استفاده از

کربن زیر اتاق روزنه‌ای روند افزایشی داشت و به بیشترین میزان خود در دور آبیاری ۸ روز یک‌بار رسید که نسبت به شاهد افزایش ۳۹ درصدی نشان داد (جدول ۴). از طرف دیگر نتایج نشان داد که کائولین و سالیسیلیک اسید+کائولین نسبت به شاهد سبب کاهش دی‌اکسید کربن زیراتاق روزنه‌ای شدند، درحالی‌که سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۴).

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دور آبیاری و تنش

گیاهی بسته شده تا گیاه آب کمتری را از طریق فرآیند تعرق از دست دهد. بدون شک اسید آبنزیک نقش اساسی را در باز و بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان تحت تنش ایفا می‌کند. در برخی گیاهان تیمار سالیسیلیک اسید نیز سبب بسته‌شدن روزنه‌ها شده است (Khan *et al.*, 2015). در این رابطه گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید با افزایش تجمع گونه‌های واکنش-گر اکسیژن و غیر فعال‌سازی کانال یون پتاسیم سبب بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شوند (Khokon *et al.*, 2011). از طرف دیگر کاهش هدایت روزنه‌ای و اتلاف آب در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری گزارش شده است (Cantore *et al.*, 2009). بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از تیمارهای کائولین و سالیسیلیک اسید با تأثیر بر حرکات روزنه‌ای منجر به کاهش اتلاف آب و بهبود وضعیت آب گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شوند.

تنش خشکی همانند سایر تنش‌های محیطی در نهایت منجر به تولید رادیکال‌های آزاد شده و آسیب اکسیداتیو به پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک را تشدید می‌کند (Jaleel *et al.*, 2009). پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و در نتیجه تولید مالون دی‌آلدئید نتیجه غیرقابل انکار آسیب اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی است که معمولاً به‌عنوان یک شاخص ارزیابی به شرایط تنش در گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khan *et al.*, 2015). در تحقیق حاضر نیز افزایش پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت آبیاری طولانی مشاهده شد. احتمالاً به این دلیل که گیاه گوجه‌فرنگی تحمل کمی به تنش خشکی دارد و با افزایش دور آبیاری آسیب می‌بیند. همچنین دمای بالای محل انجام آزمایش اثر تشدید کننده بر واکنش گیاه به دور آبیاری طولانی خواهد داشت. برای مقابله با این شرایط تولید مولکول‌های پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد ضروری است (Borsani *et al.*, 2001; Alam *et al.*, 2013; Bernardo *et al.*, 2017). نتایج نشان داد که استفاده از کائولین و سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شده و در نتیجه پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید را نسبت به شاهد کاهش داد. بهبود فعالیت

کائولین و سالیسیلیک اسید سبب بهبود پاسخ‌های رشدی و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در دوره‌های آبیاری مختلف شد. در این رابطه گزارش شده است که استفاده از سالیسیلیک و کائولین آثار تنش بر گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Brito *et al.*, 2018). افزایش تنش اکسیداتیو منجر به آسیب کلروپلاست شده و محتوای کلروفیل را کاهش می‌دهد (Laxa *et al.*, 2019). در تحقیق حاضر نیز در دوره‌های آبیاری ۶ و ۸ روز یک‌بار غلظت کلروفیل کل نسبت به دور آبیاری دو روز یک‌بار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مشابه با این نتایج کاهش کلروفیل در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی گزارش شده است (Ghanbari and Sayyari, 2018). در تحقیق حاضر هر دو ترکیب سالیسیلیک اسید و کائولین محتوای کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این مواد در کاهش آثار تنش بر گیاه است. بنابراین بهبود رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط دور آبیاری طولانی ممکن است ناشی از افزایش کلروفیل در این شرایط باشد.

محتوای رطوبت نسبی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تعادل آب در گیاه است که به‌شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر با افزایش دور آبیاری محتوای رطوبت نسبی در برگ‌های گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش محتوای رطوبت نسبی در گیاهان تحت تنش ناشی از تنش اسمزی است و گیاهانی که بتوانند در پایان دوره تنش سطح آب بالاتری داشته باشند به شرایط تنش پاسخ بهتری نشان خواهند داد (AbdAllah, 2019). استفاده از تیمارهای سالیسیلیک اسید و کائولین سبب بازیابی محتوای رطوبت نسبی شده و با افزایش دور آبیاری اثر بخشی این تیمارها افزایش یافت. احتمالاً به این دلیل که شرایط دور آبیاری طولانی اثر منفی بیشتری بر محتوای رطوبت نسبی گذاشت. بهبود محتوای رطوبت نسبی در گیاهان مختلف تحت تنش با استفاده از تیمارهای سالیسیلیک اسید و کائولین گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (khan *et al.*, 2015; Abdallah, 2019). در شرایط کمبود آب روزنه‌های

کربن زیراتاق روزنه‌ای را نسبت به شاهد کاهش داد. به طور مشابه با این نتایج گزارش شده است که تیمار کائولین در غلظت مناسب با افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش دمای برگ سبب افزایش فتوسنتز و تنفس گیاهان تحت تنش‌های محیطی می‌شود (Boari et al., 2015). برخلاف این نتایج برخی از نویسندگان گزارش کردند که تیمار کائولین با افزایش بازتاب نور و در نتیجه کاهش نور ورودی به سطح برگ، سبب کاهش نرخ تثبیت در گیاهان می‌شود (Cantore et al., 2009). همچنین پارامترهای غیرروزنه‌ای مانند تغییر در سنتز کلروفیل، تغییرات ساختاری در کلروپلاست‌ها و اختلال در فرآیندهای حمل و توزیع مواد تثبیت‌شده بر فرآیند فتوسنتز گیاهان تأثیر می‌گذارد (Chaves et al., 2009). علاوه بر این، تنش خشکی باعث اختلال در رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود که صدمات جبران‌ناپذیری به دستگاه فتوسنتز وارد می‌کند، تبادل گاز را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش رشد و بهره‌وری گیاه می‌شود (Anjum et al., 2011). همان‌طور که در نتایج گفته شد کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید و کائولین منجر به افزایش کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز و پرولین شد. بنابراین ممکن است تیمارهای کائولین و سالیسیلیک اسید با تأثیر بر این فرآیندها پارامترهای فتوسنتزی گیاه را نیز متأثر کنند.

در تحقیق حاضر اثر کاربرد ترکیبی سالیسیلیک اسید و کائولین نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده هم‌زمان از این دو تیمار سبب افزایش پارامترهای رشدی و عملکرد در گیاه گوجه‌فرنگی شد. همچنین تیمار هم‌زمان سالیسیلیک اسید و کائولین محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، غلظت کلروفیل، نرخ تنفس و فتوسنتز را افزایش و میزان مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن را نسبت به شاهد کاهش داد. در بیشتر صفات مورد ارزیابی استفاده از تیمار ترکیبی اثر مشابه با تیمار کائولین برجای گذاشت و اثر هم‌افزایی بین دو تیمار دیده نشد. احتمالاً به این دلیل که کائولین و سالیسیلیک اسید اثرات مشابهی بر پاسخ‌های گیاه نسبت به شرایط تنش دارند و یا اینکه امکان بهبود تحمل به

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در اثر تیمار کائولین و سالیسیلیک گیاهان مختلف گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Alam et al., 2013; Brito et al., 2018). در این رابطه گزارش شده است که تیمار کائولین با تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شرایط بهتری را برای گیاه فراهم می‌کند تا بتواند خسارت اکسیداتیو را کاهش دهد (Bernardo et al., 2017). از طرف دیگر، گزارش شده است که تیمار سالیسیلیک اسید با تنظیم اجزای مهم آنزیمی و غیرآنزیمی شبکه آنتی‌اکسیدانی گیاه منجر به تحمل تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Alam et al., 2013). در واقع بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در نتیجه تیمار کائولین و سالیسیلیک اسید نشان‌دهنده فعال‌شدن پاسخ دفاعی گیاه به شرایط تنش است.

دمای سطح برگ در گیاهان به شدت تحت تأثیر انرژی تابشی نور خورشید است و در اثر جریان تعرق گیاه دمای برگ کاهش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی، کاهش آب گیاه منجر به بسته‌شدن روزنه‌ها شده و فرآیند تعرق کاهش می‌یابد. در نتیجه افزایش دمای برگ اتفاق می‌افتد (Boari et al., 2015). در تحقیق حاضر نیز افزایش دور آبیاری تا ۸ روز منجر به افزایش دمای برگ گوجه‌فرنگی تا حدود ۴ درجه سانتی‌گراد شد. تنش گرمایی به‌عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی شناخته شده است (Sato et al., 2001). استفاده از تیمار کائولین در دور آبیاری ۶ و ۷ روز یک‌بار سبب کاهش دمای برگ نسبت به شاهد شد. کاهش دمای برگ در نتیجه تیمار کائولین در مطالعات دیگر گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Cantore et al., 2009; Boari et al., 2015). در این رابطه گزارش شده است که ذرات سفید کائولین بر روی سطوح گیاهان باعث افزایش بازتاب اشعه خورشید، تغییر زاویه تابش، تعادل حرارت و کاهش خطر آسیب به برگ و میوه در درجه حرارت بالا می‌شوند و در نتیجه آثار تنش‌های محیطی بر گیاه را کاهش می‌دهند (Glenn, 2012). از طرف دیگر نتایج نشان داد که تیمار کائولین سبب افزایش فتوسنتز و تعرق شده و دی‌اکسید

بر گیاه را کاهش دهد. استفاده از این تیمارها با افزایش محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نرخ تنفس و فتوسنتز سبب کاهش آثار تنش از جمله کاهش مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن شده و عملکرد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. استفاده هم‌زمان از دو تیمار اثر هم‌افزایی نداشت بنابراین کاربرد کائولین در درجه اول و سالیسیلیک اسید در درجه دوم برای کاهش آثار تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی توصیه می‌شود.

تنش در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط آزمایش محدود بوده و تنها با یک تیمار قابل دست‌یافتن است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دور آبیاری در گیاه گوجه‌فرنگی با تغییر فیزیولوژی گیاه منجر به کاهش رشد و عملکرد می‌شود. کاربرد کائولین و سالیسیلیک اسید تا حدودی می‌تواند آثار تنش خشکی ناشی از دور آبیاری طولانی

منابع

- Abdallah, A. (2019) Impacts of kaolin and pinoline foliar application on growth, yield and water use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water deficit: A comparative study. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18: 256-268.
- Alam, M. M., Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2013) Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian Journal of Crop Sciences* 7: 1053-1063.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment* 24: 1337-1344.
- Anjum, S. A., Farooq, M., Wang, L. C., Xue, L. L., Wang, S. G., Wang, L. and Chen, M. (2011) Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. *Plant, Soil and Environment* 57: 326-331.
- 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.
- Bernardo, S., Dinis, L. T., Luzio, A., Pinto, G., Meijon, M., Villedor, L. and Moutinho-Pereira, J. (2017) Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Environmental and Experimental Botany* 139: 39-47.
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I. and Cantore, V. (2015) Particle film technology: A supplemental tool to save water. *Agricultural Water Management* 147: 154-162.
- Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella, M. A. (2001) Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. *Plant Physiology* 126: 1024-1030.
- Brito, C., Dinis, L. T., Silva, E., Gonçalves, A., Matos, C., Rodrigues, M. A. and Correia, C. (2018) Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees. *Scientia Horticulturae* 237: 176-183.
- Cantore, V., Pace, B. and Albrizio, R. (2009) Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. *Environmental and Experimental Botany* 66: 279-288.
- Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551-560.
- De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G. and Maggio, A. (2003) Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 48-54.
- Ghanbari, F. and Sayyari, M. (2018) Controlled drought stress affects the chilling-hardening capacity of tomato seedlings as indicated by changes in phenol metabolisms, antioxidant enzymes activity, osmolytes concentration and abscisic acid accumulation. *Scientia Horticulturae* 229: 167-174.
- Glenn, D. M. (2012) The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience* 47: 710-711.
- Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T. and Miura, K. (2012) *Abiotic Stress Responses in Plants*. Springer, New York, NY.
- Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. (2008) Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions* 3: 297-304.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biology* 11: 100-105.

- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A. and Khan, N. A. (2015) Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science* 6: 462.
- Khokon, M. A. R., Okuma, E. I. J. I., Hossain, M. A., Munemasa, S., Uraji, M., Nakamura, Y. and Murata, Y. (2011) Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis*. *Plant, Cell and Environment* 34: 434-443.
- Kumar, R., Solankey, S. S. and Singh, M. (2012) Breeding for drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science* 39: 1-15.
- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K. and Dietz, K. J. (2019) The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants* 8: 94.
- Plewa, M. J., Smith, S. R. and Wagner, E. D. (1991) Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 247: 57-64.
- Rai, A. C., Singh, M. and Shah, K. (2013) Engineering drought tolerance tomato plants over-expressing BcZAt12 gene encoding aC₂H₂ zinc finger transcription factor. *Phytochemistry* 85: 44-50.
- Rao, N. S., Bhatt, R. M. and Sadashiva, A. T. (2000) Tolerance to water stress in tomato cultivars. *Photosynthetica* 38: 465-467.
- Raskin, I. (1992) Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Biology* 43: 439-463.
- Sato, S., Peet, M. M. and Gardner, R. G. (2001) Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Scientia Horticulturae* 90: 243-254.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K. (2000) Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation* 30: 157-161.
- Stewart, R. R. and Bewley, J. D. (1980) Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology* 65: 245-248.
- Strain, H. H. and Svec, W. A. (1966) Extraction, Separation, Estimation, and Isolation of the Chlorophylls. In the Chlorophylls. Academic Press.
- Yardanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. (2003) Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 1: 187-206.
- Zlatev, Z. and Lidon, F. C. (2012) An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 3: 57-72.

The effects of salicylic acid and kaolin on growth, yield and some physiological responses of tomatoe under different irrigation intervals

Fardin Ghanbari*, Mehdi Seidi, Sadola Akbari, Simin Gravand

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
(Received: 11/01/2021, Accepted: 09/03/2021)

Abstract

Due to the dry climate and water shortage in Iran, the use of any substances that can increase the plant's tolerance to water stress is very important. In this study, the effects of exogenous application of salicylic acid (SA) and kaolin (KL) on drought stress tolerance of tomato plants was evaluated in field conditions. Experimental factors included foliar application (including control, 0.5 mM SA, 2.5% KL and simultaneous application of SA + KL) and irrigation intervals (at four levels of 2, 4, 6 and 8 days). The results showed that increasing the irrigation interval in tomato plant led to a decrease in growth and yield in this plant. As compared to the controls, irrigation intervals of 4, 6 and 8 days decreased total yield as much as 9, 11 and 21%, respectively. The relative water content, total chlorophyll, transpiration and photosynthesis decreased while malondialdehyde, proline, peroxidase as well as hydrogen peroxide increased with the increase of irrigation intervals. Both SA and KL were effective in reducing the adverse effects of drought stress on plant growth and productivity. Application of SA and KL improved plant growth and yield by increasing chlorophyll, relative water content, peroxidase activity, photosynthesis rate and transpiration. The highest effect of foliar spraying was observed at irrigation intervals of 6 and 8 days. Also, the results showed that the simultaneous application of SA + KL did not have a synergistic effect on plant growth and productivity in comparison to their separate application. According to the obtained results, the use of KL or SA is recommended to reduce the effects of prolonged irrigation on the tomato plant.

Keywords: Drought, Foliar application, Malondialdehyde, Photosynthesis, Transpiration

Corresponding author, Email: f.ghanbari@ilam.ac.ir