

اثرهای محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین بر مراحل فنولوژیک و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش خشکی

حکیمه درویشه^۱، مرتضی زاهدی^{۲*}، بهلول عباس‌زاده^۲ و جمشید رزمجو^۴

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

پست الکترونیک: mzahedi@cc.iut.ac.ir

۳- استادیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۸

تاریخ اصلاح نهایی: اسفند ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۷

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر تنش آب و محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین بر مراحل فنولوژیک و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اجرا گردید. در این آزمایش رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از تخلیه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت قابل دسترس) به عنوان فاکتور اصلی و تیمار محلول پاشی (عدم محلول پاشی، محلول پاشی اسید سالیسیلیک در دو سطح ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، اسپریمین در یک سطح ۷۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید سالیسیلیک ۷۵ + اسپریمین و اسید سالیسیلیک ۱۵۰ + اسپریمین) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. تأثیر رژیم آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. در اثر تنش خشکی مراحل فنولوژیک و عملکرد اکیناکوزید و سینارین در گل، اسید شیکوریک، اسید کافتاریک و سینارین در برگ کاهش ولی عملکرد اسید کلروژنیک گل و ترکیب‌های اسید کافئیک ریشه (اسید شیکوریک، اکیناکوزید، اسید کلروژنیک، اسید کافتاریک و سینارین) افزایش یافت. محلول پاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپریمین موجب افزایش تمامی صفات مورد مطالعه گردید. برهم‌کنش اثرهای تنش خشکی و محلول پاشی بر عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک ریشه معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد اسید شیکوریک (۹/۴۹ کیلوگرم در هکتار)، اکیناکوزید (۰/۶۷ کیلوگرم)، اسید کلروژنیک (۰/۲۶۱ کیلوگرم)، اسید کافتاریک (۷/۳۱ کیلوگرم) و سینارین ریشه (۰/۲۶۹ کیلوگرم) در سطح آبیاری پس از ۶۰٪ تخلیه آب با کاربرد توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک و اسپریمین بدست آمد. براساس نتایج این آزمایش محلول پاشی سرخارگل با اسید سالیسیلیک و اسپریمین موجب بهبود عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک در گیاه سرخارگل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی گردید.

واژه‌های کلیدی: گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)، تنش آب، اسید سالیسیلیک، اسپریمین، ترکیب‌های اسید کافئیک.

مقدمه

سرخارگل گیاهی علفی و چند ساله با نام علمی *Echinaceae purpurea* L. از تیره آستراسه و بومی آمریکای شمالی است (Ceesh, 2002) که در طیف وسیعی از مکان‌های مرطوب، پر نور، خاک‌های با بافت متوسط، حاصلخیز و سرشار از ترکیب‌های هوموسی رشد می‌کند (Sabra et al., 2012) و در سراسر جهان از جمله ایران کشت می‌شود. از این گیاه به‌عنوان داروی مؤثر در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله سرماخوردگی، دندان درد، التهاب دهان و حلق، زخم‌ها و سوختگی و انواع عفونت‌ها استفاده می‌شود (Bergeron et al., 2002). از سوی دیگر با توجه به خشک و نیمه‌خشک بودن اغلب نقاط ایران و مشکل کمبود آب، تحقیق در زمینه استفاده بهینه از آب و راه‌های کاهش اثرهای تنش، در این بخش امری بسیار ضروری می‌باشد. کمبود آب و تنش حاصل از آن یکی از عمده‌ترین عواملی است که با ایجاد اختلال در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه از جمله فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تعادل عناصر غذایی، تجمع اسمولیت‌ها و سنتز هورمون‌ها باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (Khan et al., 2012).

میزان آب مورد نیاز، به‌عنوان عامل مهمی به‌شمار می‌آید که برای رشد و نمو گیاه ضرورت دارد ولی هر نوع کاهش یا افزایش مقدار آن در هر مرحله‌ای از رشد، می‌تواند برای گیاه زیان‌آور باشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر منفی قرار دهد (Karimi et al., 2009). تنش خشکی به‌عنوان یک سیگنال قوی، باعث تسریع در وقوع مراحل نمو، کوتاه شدن دوره رشدی، تغییر سریع نمو از مرحله رویشی به زایشی و افزایش سرعت رسیدگی گیاه می‌شود (Petropoulos et al., 2008). همچنین اعمال تنش خشکی در گیاه آفتابگردان، باعث کوتاه‌تر شدن فصل رشد و تعداد روز از کاشت تا گلدهی گردید (Farhadi, Abolhasani & Saeidi, 2006). همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی بذر در شنبلیله دریافتند که با

افزایش سطح تنش، زمان رسیدن به مرحله گلدهی و رسیدگی بذر کاهش می‌یابد.

عوامل محیطی مختلف از جمله خشکی، شوری، کمبود مواد غذایی و غیره می‌توانند بر محتوا و تولید ترکیب‌های فنولی و شیمیایی گیاه سرخارگل تأثیر بگذارند (Letchamo et al., 2002). در گیاه سرخارگل اعمال تنش خشکی (Gray et al., 2003) و شوری (Montanari et al., 2007) با تأثیر بر مسیر فنیل پروپانوئید، تولید بسیاری از مشتقات اسید کافئیک و عملکرد آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شواهدی وجود دارد که افزایش این ترکیب‌ها در شرایط تنش‌ها، تا حدود زیادی به‌علت نقش حفاظتی آنها در مقابل تنش اکسیداتیو حاصل از تولید انواع گونه‌های اکسیژن می‌باشد (Heiser & Elstner, 1998). همانطور که در مطالعه Gray و همکاران (۲۰۰۳) اعمال تنش خشکی شدید در دو مرحله اوایل گلدهی و پایان فصل رشد بر گیاه سرخارگل، سبب افزایش غلظت آلکالامیدها، اسیدهای فنولیک و اسید شیکوریک در ریشه گیاهان دوساله و سه‌ساله گردید. همچنین در مطالعه Sabra و همکاران (۲۰۱۲) اعمال تنش شوری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بر سه گونه سرخارگل (پورپورا، آنگوستی فولیا و پالیدا) به مدت دو هفته سبب افزایش غلظت اسید کافتاریک، سینارین و اسید شیکوریک در گونه پورپورا و اسید کلروژنیک، سینارین، اکیناکوزید و اسید کافئیک در گونه آنگوستی فولیا گردید. اما در مقابل غلظت اسید کافتاریک و اکیناکوزیدها در گونه پالیدا در سطوح تنش ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار کاهش پیدا کرد.

امروزه ثابت شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک (Chen et al., 2007; Gunes et al., 2007) و اسپریمین (Jie et al., 2010) می‌توانند موجب بهبود رشد گیاه شده و اثرهای زیان‌بار تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی و شوری بر رشد و عملکرد گیاه کاهش دهند. کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک و پلی‌آمین‌ها گیاه را تحریک به تولید پراکسید هیدروژن می‌کند. مقادیر کم رادیکال‌های آزاد به‌ویژه پراکسید هیدروژن نقش پیام‌رسانی داشته و مسیرهای

متیل سالیسیلیک اسید) با غلظت‌های مختلف (۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار) باعث افزایش قابل توجهی در میزان اسید شیکوریک تولید شده در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه سرخارگل می‌شود. در رابطه با واکنش گیاه سرخارگل به محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرین در شرایط مختلف رطوبت قابل دسترس در خاک و به‌ویژه در شرایط مزرعه اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. بر این اساس، این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی ترکیب‌های بالا و برهم‌کنش این عوامل بر مراحل فنولوژیک و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک در اندام‌های مختلف گیاه دارویی سرخارگل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه البرز، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این تحقیق تأثیر سه سطح تنش خشکی (آبیاری پس از تخلیه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک) در کرت‌های اصلی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسپرین (صفر و ۷۰ میلی‌گرم) (Cheon Chae, 2016) به عنوان کرت فرعی بر گیاه سرخارگل (اکیناسه پورپورا) مورد مطالعه قرار گرفت. هر کرت به ابعاد ۳×۴ متر (۱۲ مترمربع) و شامل پنج ردیف کاشت بود. فاصله بین ردیف‌ها ۴۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته روی هر ردیف ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. خاک مزرعه دارای بافت لومی رسی و میزان رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به ترتیب ۲۳٪ و ۱۰٪ بود. مشخصات و ویژگی‌های خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است.

دفاعی خاصی را در گیاهان فعال کرده و باعث افزایش مقاومت گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003). Rezvanypour (۲۰۱۶) در بررسی تأثیر پلی‌آمین‌ها (پوترسین، اسپرین و اسپریمیدین با غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بر گیاه فریژیا (*Freesia hybrida*) گزارش نمود که محلول پاشی گیاهان با تیمارهای بالا، باعث افزایش طول روز تا مرحله گلدهی نسبت به تیمار شاهد می‌شود. محلول پاشی اسید سالیسیلیک، به عنوان یک تنظیم‌کننده داخلی (Cleland & Ajami, 1974)، بر روی شاخ و برگ سویا، تشکیل جوانه گل و نیام را حدود ۲ تا ۵ روز تسریع کرد (Kumar *et al.*, 1999). در مطالعه Roumani (۲۰۱۹) کاربرد برگی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی‌مولار در گیاه اسفرزه باعث افزایش تعداد روز تا رسیدگی کامل بذر در هر دو شرایط تنش متوسط و شدید خشکی گردید. همچنین در مطالعه دیگری (Talaat *et al.*, 2005) محلول پاشی پلی‌آمین‌ها باعث افزایش رشد و تسریع مراحل فنولوژیک در گیاه پروانش گردید. کاربرد اسید سالیسیلیک و اسپرین می‌تواند تا حدود زیادی محتوا و عملکرد ترکیب‌های فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل را نیز تحت تأثیر قرار دهد. Kuzel و همکاران (۲۰۰۹) دریافته‌اند که محلول پاشی اسید سالیسیلیک، باعث افزایش سنتز و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک مانند اسید شیکوریک، اسید کافتارئیک و اسید کلروژنیک در ریشه و اندام‌های هوایی سرخارگل می‌شود. Rasouli و همکاران (۲۰۱۸) دریافته‌اند که کاربرد اسید سالیسیلیک (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در گیاه سرخارگل، به عنوان ترکیب پیام‌رسان کلیدی، از طریق القای پاسخ‌های دفاعی باعث بیوسنتز و انباشت متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیب‌های اسید کافئیک می‌شود. همچنین Nair و همکاران (۲۰۱۳) و Montanari و همکاران (۲۰۰۷) در آزمایش‌های مجزا گزارش کردند که محلول پاشی اسید سالیسیلیک (به فرم‌های اسید سالیسیلیک، استیل اسید سالیسیلیک و

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

pH (اسیدیته خاک)	نیترژن کل (%)	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۷/۳۶	۰/۰۸	۰/۵۷	۳۰/۲	۱۹۷/۶	۱/۴۹	۱/۲

بذرهای تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، به علت پایین بودن درصد جوانه زنی بذرهای سرخارگل به دلیل خواب بذر، به منظور تهیه نشاء در گلخانه ایستگاه البرز بعد از قرار گرفتن در چینه سرمایی (قرار دادن بذرها به مدت یک ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس) کشت شده و در مرحله سه تا چهار برگی به زمین اصلی منتقل شدند. تیمارهای خشکی، بعد از زمستان گذرانی، رویش و استقرار کامل گیاه در فصل بهار اعمال گردید. قبل از اعمال تنش، ابتدا کلیه کرت‌ها به طور یکسان و یکنواخت آبیاری شدند، سپس اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه گردید و به صورت روزانه درصد رطوبت خاک تعیین شد. برای اعمال تیمارهای تنش و برای دقت در انجام آزمایش از دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) مدل Santa Barbara, X6050 استفاده شد. به طوری که با اندازه‌گیری منظم و روزانه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه با نزدیک شدن به حد آستانه هریک از تیمارها، آبیاری انجام شد. مقدار تخلیه رطوبت خاک بر اساس مقدار تبخیر-تعرق چمن با استفاده از رابطه فائو- پنمن- ماتنیث و ضریب گیاهی، طی دوره رشد محاسبه و زمان‌های آبیاری مشخص شدند (Allen et al., 1998). عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه به وسیله رابطه زیر محاسبه شد.

$$I_d = (FC - PWP) \times D \times B \times MAD$$

I_d : عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر، FC و PWP: به ترتیب رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی و حد پژمردگی دائم (%، D: عمق فعال توسعه ریشه (۴۰ سانتی متر)، B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه، MAD: ضریب مدیریت مزرعه.

همزمان با اعمال تنش خشکی، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرین با دستگاه سمپاش، در مرحله آغاز ساقه‌روی گیاه در دو مرحله و به فاصله ۱۰ روز از یکدیگر انجام شد. اما اعمال تنش خشکی از مرحله آغاز ساقه‌روی تا پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه ادامه پیدا کرد. ثبت مراحل فنولوژیکی گیاه سرخارگل (آغاز غنچه‌دهی، ۵۰٪ غنچه‌دهی، غنچه‌دهی کامل، آغاز گلدهی، ۵۰٪ گلدهی کامل، آغاز تشکیل بذر و بذردهی کامل) هر هفته تا پایان رسیدگی کامل بذر در هر کرت آزمایشی انجام شد. برای اندازه‌گیری ترکیب‌های اسید کافئیک گل، برگ و ریشه در سایه خشک شده گیاه سرخارگل، از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا مدل L-7100 با ستون C-18 با ابعاد ۲۵۰×۴/۶ میلی‌متر و اندازه ذرات ۵ میکرومتر استفاده شد. نمونه‌ها با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه با دمای ۲۷ درجه سلسیوس در طول موج ۳۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. سپس برای محاسبه عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک در اندام‌های مختلف گیاه (گل، برگ و ریشه)، درصد هر ترکیب اندازه‌گیری شده توسط HPLC در عملکرد خشک همان اندام ضرب شد. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ مورد تجزیه آماری قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

نتایج

مراحل فنولوژیکی

اثرهای رژیم آبیاری و محلول پاشی بر تمامی مراحل فنولوژیک گیاه سرخارگل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). تحت تیمارهای آبیاری ۴۰٪ و ۶۰٪ تخلیه رطوبت

درصد)، اسید کافتاریک ریشه (۱۶۸ و ۱۹۶ درصد) و سینارین ریشه (۸۲/۶ و ۷۵/۱ درصد) تغییر کرد (جدول‌های ۴ و ۵). در اثر محلول پاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر و اسپرین با غلظت ۷۰ میلی گرم، عملکرد اسید شیکوریک گل (۵۰/۸، ۷۵/۹ و ۳۱/۲ درصد)، اکتانوزید گل (۵۷/۶، ۹۶/۳ و ۳۸/۷ درصد)، اسید کلروژنیک گل (۶۷/۵، ۱۰۴ و ۴۰/۸ درصد)، اسید کافتاریک گل (۴۵/۰، ۷۲/۰ و ۳۲/۰ درصد)، سینارین گل (۴۵/۴، ۷۰/۴ و ۳۴/۰ درصد)، اسید شیکوریک برگ (۲۳/۹، ۴۶/۶ و ۹/۲۰ درصد)، اکتانوزید برگ (۴۰/۹، ۷۹/۰ و ۱۷/۱ درصد)، اسید کلروژنیک برگ (۲۶/۲، ۴۷/۵ و ۹/۸۳ درصد)، اسید کافتاریک برگ (۲۴/۱، ۴۴/۶ و ۱۰/۷ درصد)، سینارین برگ (۳۹/۶، ۶۶/۶ و ۱۵/۰ درصد)، اسید شیکوریک ریشه (۱۸/۷، ۳۶/۹ و ۱۴/۷ درصد)، اکتانوزید ریشه (۳۵/۷، ۶۷/۸ و ۲۱/۴ درصد)، اسید کلروژنیک ریشه (۲۱/۹، ۳۹/۵ و ۱۳/۱ درصد)، اسید کافتاریک ریشه (۲۲/۳، ۳۸/۶ و ۱۶/۰ درصد) و سینارین ریشه (۱۸/۱، ۳۵/۴ و ۱۲/۷ درصد) افزایش یافت. بیشترین میزان افزایش در همه صفات بالا در تیمار محلول پاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرین بدست آمد (جدول‌های ۴ و ۵).

اثر برهم کنش رژیم آبیاری و محلول پاشی بر عملکرد اسید شیکوریک، اکتانوزید، اسید کلروژنیک، اسید کافتاریک و سینارین در ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۲). در اثر اعمال تنش کم آبی، عملکرد ترکیب‌های اسید کافتاریک در ریشه در کلیه تیمارهای محلول پاشی افزایش یافت. بیشترین عملکرد اسید شیکوریک (۹/۴۹ کیلوگرم در هکتار)، اکتانوزید ریشه (۰/۶۷ کیلوگرم)، اسید کلروژنیک ریشه (۰/۲۶۱ کیلوگرم)، اسید کافتاریک ریشه (۷/۳۱ کیلوگرم) و سینارین ریشه (۰/۲۶۹ کیلوگرم) در اثر محلول پاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرین در سطح تنش شدید آب بدست آمد (جدول ۶).

نسبت به شاهد زمان رسیدن به مراحل آغاز غنچه دهی (۱۴/۴٪ و ۲۴/۵٪)، ۵۰٪ غنچه دهی (۴/۳۱٪ و ۲۱/۰٪)، غنچه دهی کامل (۶/۰۸٪ و ۱۱/۴٪)، آغاز گلدهی (۵/۱۲٪ و ۷/۵۷٪)، ۵۰٪ گلدهی (۸/۰۵٪ و ۸/۷۹٪)، گلدهی کامل (۸/۷۲٪ و ۱۸/۲٪)، آغاز تشکیل بذر (۹/۳۶٪ و ۱۷/۲٪) و بذردهی کامل (۶/۲۵٪ و ۱۴/۰٪) کاهش یافت (جدول ۴). در اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر زمان رسیدن به مراحل آغاز غنچه دهی (۷/۷۰٪ و ۱۱/۰٪)، ۵۰٪ غنچه دهی (۳/۷۷٪ و ۷/۰۴٪)، غنچه دهی کامل (۳/۲۸٪ و ۵/۹۷٪)، آغاز گلدهی (۴/۱۸٪ و ۶/۹۲٪)، ۵۰٪ گلدهی (۴/۱۲٪ و ۶/۴۶٪)، گلدهی کامل (۰/۹۰٪ و ۳/۳۹٪)، آغاز تشکیل بذر (۳/۱۲٪ و ۵/۰۹٪) و بذردهی کامل (۳/۵۰٪ و ۵/۲۶٪) افزایش یافت. بیشترین میزان افزایش در همه صفات بالا به ترتیب با مقدار ۶۱/۶، ۶۷/۶، ۷۳/۰، ۷۵/۴، ۷۹/۷، ۹۴/۸، ۱۰۴ و ۱۲۵ روز در تیمار محلول پاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرین بدست آمد (جدول ۴).

عملکرد ترکیب‌های اسید کافتاریک

اثرهای رژیم آبیاری و محلول پاشی بر عملکرد اسید شیکوریک، اکتانوزید، اسید کلروژنیک، اسید کافتاریک و سینارین (گل، برگ و ریشه) در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). در سطوح آبیاری ۴۰٪ و ۶۰٪ تخلیه رطوبت در مقایسه با شاهد، عملکرد اسید شیکوریک گل (۱۲/۱- و ۱۵/۳- درصد)، اکتانوزید گل (۱۶/۶ و ۵۴/۱- درصد)، اسید کلروژنیک گل (۴/۳۶ و ۴۲/۲- درصد)، اسید کافتاریک گل (۶/۸۲- و ۴۱/۹- درصد)، سینارین گل (۳۴/۲- و ۵۱/۴- درصد)، اسید شیکوریک برگ (۱۳/۲ و ۴۳/۱- درصد)، اکتانوزید برگ (۱۱۷ و ۱۷/۵- درصد)، اسید کلروژنیک برگ (۳۴/۲- و ۳۵/۹- درصد)، اسید کافتاریک برگ (۲۶/۲- و ۵۱/۱- درصد)، سینارین برگ (۳۰/۱ و ۵۶/۳- درصد)، اسید شیکوریک ریشه (۵۲/۸ و ۸۰/۹- درصد)، اکتانوزید ریشه (۲۰/۵ و ۱۷/۹- درصد)، اسید کلروژنیک ریشه (۴۰/۰ و ۱۸۷

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر مراحل فنولوژیک گیاه سرخارگل

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
بذردهی کامل	آغاز تشکیل بذر	گلدهی کامل	% گلدهی	آغاز گلدهی	غنچه‌دهی کامل	% غنچه‌دهی	آغاز غنچه‌دهی		
۰/۸۸۸ ns	۵/۰۵ ns	۷/۹۰ ns	۶/۶۸ ns	۶/۳۵ ns	۱۰/۲**	۳/۱۶ ns	۷/۳۸ ns	۲	تکرار
۱۴۸۷**	۱۶۳۷**	۱۵۰۴**	۲۴۷**	۱۵۴**	۲۶۰**	۷۷۹**	۱۲۰۴**	۲	رژیم آبیاری
۱۷/۵	۲/۱۱۱	۱/۵۶	۰/۶۲	۰/۵۴۶	۱/۴۳	۲/۶۳	۲/۸۶	۴	تکرار × رژیم آبیاری
۱۷۶**	۹۸/۱**	۷۰/۶**	۶۲/۱**	۵۰/۷**	۴۹/۶**	۵۹/۶**	۸۷/۷**	۵	محلول پاشی
۸/۸۵ ns	۲/۹۲ ns	۴/۶۴ ns	۳/۹۷ ns	۱/۳۶ ns	۰/۸۱۸ ns	۱/۳۰ ns	۶/۴۳ ns	۱۰	رژیم آبیاری × محلول پاشی
۹/۵۳	۰/۹۱۴	۴/۳۱	۱/۰۰	۰/۹۰۳	۰/۳۷۰	۰/۷۹۲	۱/۵۷	۳۰	خطای آزمایشی
۵/۵۸	۴/۹۵	۴/۲۸	۳/۳۰	۴/۳۰	۳/۸۶	۴/۳۸	۳/۱۶	-	ضریب تغییرات (%)

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک تحت تأثیر سطوح مختلف رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین در گیاه سرخارگل

میانگین مربعات															درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد در ریشه					عملکرد در برگ					عملکرد در گل						
سینارین	اسید کافتاریک	اسید کلروژنیک	اکیناکوزید	اسید شیکوریک	سینارین	اسید کافتاریک	اسید کلروژنیک	اکیناکوزید	اسید شیکوریک	سینارین	اسید کافتاریک	اسید کلروژنیک	اکیناکوزید	اسید شیکوریک		
۰/۰۰۰۴ns	۰/۳۱۱ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۶۱۳ ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۳۱ ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۴ns	۰/۰۶۲ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۶۴۷ns	۰/۰۱۷ ns	۰/۰۰۹ ns	۱/۵۳۴ ns	۲	تکرار
۰/۰۶۸**	۶۹/۸**	**۰/۰۸۵	**۰/۰۳۷	۴۸/۳۴**	۰/۱۷۱**	۵/۳۲**	۰/۰۰۹**	۰/۱۰۴**	۱۰/۳**	۰/۰۱۳**	۳/۷۷**	۰/۰۴۱**	۰/۱۳۲**	۱/۳۲۹**	۲	رژیم آبیاری
۰/۰۰۰۳	۰/۲۵۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۵۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۵۰	۰/۰۰۰۲	۰/۱۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۳۰۲	۴	تکرار×رژیم آبیاری
۰/۰۰۷**	۷/۵۱**	۰/۰۰۶**	۰/۱۴۶**	۱۲/۷**	۰/۰۴۱**	۱/۵۳۹**	۰/۰۰۵**	۰/۰۳۲**	۳/۵۸**	۰/۰۰۶**	۳/۳۷**	۰/۰۸۵**	۰/۰۷۱**	۹/۶۷۳**	۵	محلول‌پاشی
۰/۰۰۰۵**	۰/۳۳۶**	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۰۵**	۰/۶۰۹**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۴۲ ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۷ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۵ns	۰/۲۲۶ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۴۲۴ ns	۱۰	رژیم آبیاری × محلول‌پاشی
۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۸۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۹۵	۳۰	خطای آزمایشی
۴/۶۲	۴/۷۲	۴/۸۹	۵/۲۸	۴/۴۱	۸/۹۶	۷/۷۸	۷/۹۲	۹/۵۸	۷/۹۲	۱۶/۵	۱۶/۶	۱۸/۱	۱۶/۵	۱۴/۳۶	-	ضریب تغییرات (%)

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های تعداد روز تا رسیدن به مراحل مختلف فنولوژیک و عملکرد (کیلوگرم در هکتار) ترکیبات اسید کافئیک سرخارگل، تحت تأثیر سطوح مختلف رژیم آبیاری و محلول پاشی

اسید سالیسیلیک و اسپریمین

میانگین												
عملکرد کافتاریک اسید گل	عملکرد اسید کلروژنیک گل	عملکرد اکیناکوزید گل	عملکرد اسید شیکوریک گل	بذردهی کامل	آغاز تشکیل بذر	گلدهی کامل	%۵۰ گلدهی	آغاز گلدهی	غنچه‌دهی کامل	%۵۰ غنچه‌دهی	آغاز غنچه‌دهی	
رژیم آبیاری (درصد تخلیه رطوبت)												
۲/۰۵a	۰/۲۰۶b	۰/۲۴b	۳/۳۸a	۱۲۸a	۱۱۰a	۹۹/۷a	۸۰/۷a	۷۵/۲a	۷۴/۰a	۶۹/۵a	۶۶/۵a	۲۰
۱/۹۱a	۰/۲۱۵b	۰/۲۸a	۲/۹۷ab	۱۲۰b	۹۹/۷b	۹۱/۰b	۷۴/۲b	۷۳/۶b	۶۹/۵b	۶۶/۵b	۵۶/۹b	۴۰
۱/۱۹b	۰/۲۹۳a	۰/۱۱c	۲/۸۶b	۱۱۰c	۹۱/۰c	۸۱/۵c	۷۳/۶c	۶۹/۵c	۶۵/۵c	۵۴/۹c	۵۰/۲c	۶۰
تیمار محلول پاشی												
۱/۰۰e	۰/۱۲۰e	۰/۱۱۱e	۱/۷۹e	۱۱۴d	۹۶/۱f	۸۸/۳c	۷۲/۷f	۶۹/۳e	۶۷/۰f	۶۱/۰f	۵۳/۲f	عدم محلول پاشی
۱/۴۵cd	۰/۲۰۱d	۰/۱۷۵d	۲/۷۰d	۱۱۸bc	۹۹/۱d	۸۹/۱c	۷۵/۷d	۷۲/۲c	۶۹/۲d	۶۳/۳d	۵۷/۳d	سالیسیلیک اسید (۷۵ mg/L)
۱/۷۲c	۰/۲۴۵c	۰/۲۱۸c	۳/۱۵c	۱۲۰b	۱۰۱c	۹۱/۳b	۷۷/۴c	۷۴/۱b	۷۱/۰c	۶۵/۳c	۵۹/۱c	سالیسیلیک اسید (۱۵۰ mg/L)
۱/۳۲d	۰/۱۶۹d	۰/۱۵۴d	۲/۳۵d	۱۱۵cd	۹۷/۴e	۸۷/۸c	۷۴/۶e	۷۱/۰d	۶۸/۰e	۶۲/۲e	۵۵/۶e	اسپریمین (۷۰ mg/L)
۲/۰۹b	۰/۳۰۱b	۰/۲۷۲b	۳/۷۶b	۱۲۳a	۱۰۳b	۹۳/۰ab	۷۸/۷b	۷۴/۷ab	۷۲/۰b	۶۶/۴b	۶۰/۳b	سالیسیلیک اسید (۷۵ mg/L) + اسپریمین
۲/۷۱a	۰/۳۹۲a	۰/۳۵۸a	۴/۶۸a	۱۲۵a	۱۰۴a	۹۴/۸a	۷۹/۷a	۷۵/۴a	۷۳/۰a	۶۷/۶a	۶۱/۶a	سالیسیلیک اسید (۱۵۰ mg/L) + اسپریمین

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های عملکرد (کیلوگرم در هکتار) ترکیبات اسید کافئیک سرخارگل، تحت تأثیر سطوح مختلف رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین

میانگین											
عملکرد سینارین ریشه	عملکرد کافئاریک اسید ریشه	عملکرد کلروژنیک اسید ریشه	عملکرد اگیناکوزید ریشه	عملکرد شیکوریک اسید ریشه	عملکرد سینارین برگ	عملکرد کافئاریک اسید برگ	عملکرد کلروژنیک اسید برگ	عملکرد اگیناکوزید برگ	عملکرد شیکوریک اسید برگ	عملکرد سینارین گل	
رژیم آبیاری (درصد تخلیه رطوبت)											
۰/۰۸۳c	۱/۸۵c	۰/۰۷۰c	۰/۳۹b	۳/۹۹c	۰/۲۲۲b	۲/۱۳a	۰/۱۱۴a	۰/۱۲۰b	۲/۵۷b	۰/۱۰۵a	۲۰
۰/۱۴۴b	۴/۹۶b	۰/۰۹۸b	۰/۴۷a	۶/۱۰b	۰/۲۸۹a	۱/۵۷b	۰/۰۷۵b	۰/۲۶۱a	۲/۹۱a	۰/۰۶۹b	۴۰
۰/۲۰۶a	۵/۴۹a	۰/۲۰۱a	۰/۴۶a	۷/۲۲a	۰/۰۹۷c	۱/۰۴c	۰/۰۷۳b	۰/۱۴۱b	۱/۴۶c	۰/۰۵۱c	۶۰
محلول‌پاشی											
۰/۱۱۰e	۳/۰۰f	۰/۰۹۱f	۰/۲۸f	۴/۳۳e	۰/۱۲۶f	۱/۱۲e	۰/۰۶۱e	۰/۱۰۵f	۱/۶۳e	۰/۰۴۴e	عدم محلول‌پاشی
۰/۱۳۰d	۳/۶۷d	۰/۱۱۱d	۰/۳۸d	۵/۱۴d	۰/۱۷۶d	۱/۳۹d	۰/۰۷۷d	۰/۱۴۸d	۲/۰۲d	۰/۰۶۴cd	سالیسیلیک اسید (۷۵ mg/L)
۰/۱۴۹c	۴/۱۶c	۰/۱۲۷c	۰/۴۷c	۵/۹۳c	۰/۲۱۰c	۱/۶۲c	۰/۰۹۰c	۰/۱۸۸c	۲/۳۹c	۰/۰۷۵c	سالیسیلیک اسید (۱۵۰ mg/L)
۰/۱۲۴d	۳/۴۸e	۰/۱۰۳e	۰/۳۴e	۴/۹۷d	۰/۱۴۵e	۱/۲۴e	۰/۰۶۷e	۰/۱۲۳e	۱/۷۸e	۰/۰۵۹d	اسپریمین (۷۰ mg/L)
۰/۱۶۷b	۴/۸۶b	۰/۱۴۳b	۰/۵۴b	۶/۷۱b	۰/۲۴۹b	۱/۸۹b	۰/۱۰۶b	۰/۲۱۷b	۲/۷۶b	۰/۰۹۲b	سالیسیلیک اسید (۷۵ mg/L) + اسپریمین
۰/۱۸۷a	۵/۴۵a	۰/۱۶۳a	۰/۶۲a	۷/۵۲a	۰/۳۰۸a	۲/۲۱a	۰/۱۲۵a	۰/۲۶۳a	۳/۲۹a	۰/۱۱۸a	سالیسیلیک اسید (۱۵۰ mg/L) + اسپریمین

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌ها دارای حروف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح رژیم آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر عملکرد (کیلوگرم در هکتار) ترکیبات گیاه سرخارگل

عملکرد سینارین ریشه			عملکرد کافتاریک اسید ریشه			عملکرد اسید کلروژنیک ریشه			عملکرد اکیناکوزید ریشه			عملکرد اسید شیکوریک ریشه			محلول پاشی
I ₃	I ₂	I ₁	I ₃	I ₂	I ₁	I ₃	I ₂	I ₁	I ₃	I ₂	I ₁	I ₃	I ₂	I ₁	
۰/۱۵۶e	۰/۱۲۷fg	۰/۰۴۷j	۴/۰۴f	۳/۹۷f	۰/۹۸j	۰/۱۵۴	۰/۰۸۳ij	۰/۰۳۷l	۰/۲۸i	۰/۳۸f-h	۰/۱۹j	۵/۴۰hi	۵/۳۵hi	۲/۲۶l	عدم محلول پاشی
۰/۱۸۴d	۰/۱۳۴fg	۰/۰۷۱i	۴/۸۷d	۴/۵۱de	۱/۶۲i	۰/۱۸۱d	۰/۰۸۹h-j	۰/۰۶۱k	۰/۳۹fg	۰/۴۳ef	۰/۳۳h	۶/۳۴ef	۵/۶۷	۳/۴۰k	سالیسیلیک اسید (۷۵ mg/L)
۰/۲۱۵c	۰/۱۳۷f	۰/۰۹۵h	۵/۶۸c	۴/۶۷de	۲/۱۳h	۰/۲۰۵c	۰/۰۹۷g-i	۰/۰۸۱j	۰/۵۰d	۰/۴۶de	۰/۴۵e	۷/۵۳c	۵/۸۲f-h	۴/۴۵j	سالیسیلیک اسید (۱۵۰ mg/L)
۰/۱۷۵d	۰/۱۳۴fg	۰/۰۶۲ij	۴/۶۹de	۴/۴۰ef	۱/۳۴ij	۰/۱۷۰d	۰/۰۸۹ij	۰/۰۵۰kl	۰/۳۵gh	۰/۴۲ef	۰/۲۶i	۶/۲۵e-g	۵/۶۸gh	۲/۹۷k	اسپرمین (۷۰ mg/L)
۰/۲۴۰b	۰/۱۵۸e	۰/۱۰۳h	۶/۳۸b	۵/۸۶c	۲/۳۳gh	۰/۲۳۴b	۰/۱۰۷g	۰/۰۸۷ij	۰/۵۸b	۰/۵۵bc	۰/۵۱cd	۸/۲۹b	۶/۸۱ed	۵/۰۴ji	سالیسیلیک اسید (۷۵ mg/L) + اسپرمین
۰/۲۶۹a	۰/۱۷۲de	۰/۱۲۰g	۷/۳۱a	۶/۳۵b	۲/۶۷g	۰/۲۶۱a	۰/۱۲۴f	۰/۱۰۳gh	۰/۶۷a	۰/۵۹b	۰/۵۹b	۹/۴۹a	۷/۲۷cd	۵/۸۱f-h	سالیسیلیک اسید (۱۵۰ mg/L) + اسپرمین

برای هر صفت، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

(I₁, I₂, I₃ به ترتیب آبیاری براساس تخلیه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در خاک)

بحث

از مهمترین مزایای مطالعه و ثبت مراحل فنولوژیکی یک گیاه، استفاده بهینه از عوامل اکولوژیکی می‌باشد؛ زیرا با توجه به اطلاعات هواشناسی در هر منطقه و تعیین نیاز دمای هر مرحله فنولوژی می‌توان موارد مدیریتی از جمله تعیین تاریخ کشت مناسب، آبیاری به موقع، انتخاب ارقام، مبارزه با آفات و بیماری و علف‌های هرز، زمان برداشت مناسب را تعیین و در راستای افزایش عملکرد مورد استفاده قرار داد (Kocheiki et al., 2006). تنش خشکی می‌تواند طول دوره‌های فنولوژیکی را با کاهش دوره زندگی گیاه کاهش دهد که در نتیجه آن تعداد روز تا مراحل مختلف رشدی گیاه و دوره‌های پرشدن دانه کاهش می‌یابد و به دنبال آن تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد می‌گذارد (Nahar et al., 2010). نتایج بدست آمده از این آزمایش بر روی گیاه سرخارگل نشان می‌دهد که برای کاهش اثرهای منفی تنش خشکی تمامی مراحل فنولوژیکی گیاه روند کاهشی پیدا کرده است. Roumani (۲۰۱۹) بیان کرد که اعمال تنش خشکی در گیاه اسفرزه براساس یک سازوکار بقائی موجب کاهش طول دوره کاشت تا مرحله تشکیل و رسیدگی بذر گردید. Farhadi و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر تنش کم آبی بر شنبلیله دریافتند که با افزایش سطوح تنش تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی بذر کاهش یافت، به طوری که در تیمار شاهد و تنش شدید مدت زمان کاشت تا گلدهی (به ترتیب ۳۰/۹ و ۱۶/۹ روز) و تا رسیدگی بذر (به ترتیب ۶۸/۴ و ۶۲/۲ روز) بود. در پژوهشی دیگر Mirshekari (۲۰۱۱) گزارش نمود که مدت زمان کاشت تا ظهور جوانه گل بابونه در کرت‌های برخوردار از آبیاری براساس ۱۸۰ و ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر به ترتیب ۷۰ و ۷۸ روز بود. Yasari و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که کوتاه کردن طول دوره رشد در شرایط نامساعد، یکی از روش‌های اجتناب از تنش و جلوگیری از اثرهای منفی تنش بر رشد گیاه و سازوکاری برای تولید بذر و تداوم نسل گیاهان در چنین شرایطی

می‌باشد که برخی از ژنوتیپ‌های گیاهی در این راستا تکامل پیدا کرده‌اند.

کاربرد اسید سالیسیلیک و اسپرمین به صورت محلول پاشی با تعویق در سنتز اتیلن، افزایش پاسخ دفاعی با دخالت در فرایند تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش و از بین بردن رادیکال‌های آزاد (Ezhilmathi et al., 2007)، کاهش فعالیت آنزیم ۳- ایندول استیک اسید (آنزیم تجزیه‌کننده اکسین)، ممانعت از فعال شدن و رونویسی ژن پلی‌گالاکتروناز و لیپوکسیژناز (Sood et al., 2006)، دخالت در دیپلاریزاسیون غشایی، تحریک سیستم فتوسنتزی، پیری را به تأخیر انداخته و باعث افزایش تعداد روز تا ظهور اولین گل‌آذین می‌شود (Zhao et al., 1995). Ding و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که محلول پاشی گوجه‌فرنگی با اسید سالیسیلیک، برخی ژن‌های دخیل در آغاز گلدهی و مراحل مختلف فنولوژیکی را بیان می‌کند. کاربرد پلی‌آمین در گیاه آرابیدوسیس نیز تا حدودی باعث تحریک گلدهی در شرایط تنش می‌شود (Applewhite et al., 2000). همچنین در مطالعه Ding و همکاران (۲۰۰۶) محلول پاشی گل داوودی با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمین باعث تسریع مرحله گلدهی به مدت ۳ روز زودتر از شاهد و بهبود کیفیت گل‌ها می‌شود.

در این آزمایش تنش آب در مواردی باعث کاهش و در موارد دیگر موجب افزایش عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک موجود در اندام‌های مختلف گیاه سرخارگل گردید. تنش خشکی به طور قابل توجهی با تغییر در محتوای کلروفیل، خسارت به دستگاه فتوسنتزی، تخریب ساختار فتوسیستم II، مهار فعالیت فتوشیمیایی و آنزیم‌های چرخه کالوین، افزایش میزان فلورسانس کلروفیل (Dulai et al., 2006)، مهار سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای، محدودیت جذب آب و عناصر غذایی (Ashraf & Foolad, 2007)، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب و تثبیت کربن، تغییر میزان آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن، تعرق (Dulai et al., 2006)، از دست دادن تعادل بین تولید و

اسید سالیسیلیک و اسپریمین با اتصال به گیرنده‌های غشاء منجر به تولید نیتریک اکساید، پروتئین کینازها و پلی آمین‌ها می‌شوند (Kuzel *et al.*, 2009; Raman & Ravi, 2011). این تغییرات با تأثیر بر رونویسی ژن‌ها و آنزیم‌های دخیل در ساخت متابولیت‌های ثانویه، افزایش میزان تولید و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک را به دنبال خواهند داشت. به عبارت دیگر افزایش میزان و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیک در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین در گیاه سرخارگل ممکن است تا حدود زیادی در اثر افزایش رشد رویشی، جذب بیشتر مواد غذایی توسط ریشه‌ها به دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز باشد (Gharib, 2007). Divya و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه گشنیز منجر به افزایش میزان فنول و اسید کلروژنیک و عملکرد آنها می‌شود. مطالعه Darvizheh و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که محلول‌پاشی گیاه سرخارگل رشد کرده در شرایط کم‌آبی با اسید سالیسیلیک و اسپریمین، سبب افزایش غلظت تمامی ترکیب‌های اسید کافئیک گیاه شامل اسید شیکوریک، اکیناکوزید، اسید کلروژنیک، اسید کافتاریک و سینارین گردید. همچنین در پژوهش Samadi و همکاران (۲۰۱۶) محلول‌پاشی گیاه کنگر فرنگی با اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات، با افزایش رونویسی از mRNA خاص آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز، سبب افزایش تولید ترکیب‌های فنولی، فنیل پروپانویید و اسید کافئیک شده که این ترکیب‌ها با اثرهای منفی تنش مقابله می‌کنند.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که براساس نتایج بدست آمده از این آزمایش، کلیه مراحل فنولوژیکی گیاه برای کاهش اثرهای منفی تنش خشکی روند کاهشی نشان داد. با این حال، تأثیر تنش خشکی بر ترکیب‌های اسید کافئیک یکسان نبود و موجب کاهش و یا افزایش غلظت این ترکیب‌ها در گیاه گردید. در واقع، تأثیر تنش خشکی بر مشتقات اسید کافئیک تا حدود زیادی به میزان آب قابل استفاده، اندام گیاه و نوع ترکیب اندازه‌گیری شده وابسته می‌باشد. نتایج پژوهش بالا نشان

تجمع گونه‌های اکسیژن فعال و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی (Reddy *et al.*, 2004) و کاهش سطح برگ موجب تسریع فرایند پیری برگ‌ها (Wahid *et al.*, 2007) شده و با محدودیت میزان تولید و انتقال مواد فتوسنتزی عملکرد را کاهش می‌دهد. در بیشتر موارد غلظت اسید شیکوریک (Stuart & Wills, 2000)، اکیناکوزید (Sabra *et al.*, 2012)، اسید کلروژنیک (Montanari *et al.*, 2007)، اسید کافتاریک (Sabra *et al.*, 2012) و سینارین (Garcia *et al.*, 2016) به عنوان اجزای ترکیب‌های اسید کافئیک، برای کاهش اثرهای منفی تنش افزایش می‌یابند. مطالعات مختلف نشان داده است که ترکیب‌های اسید کافئیک علاوه بر نقش آنتی‌اکسیدانی (Giorgi *et al.*, 2010)، با افزایش بیان ژن نیتریک اکسید سنتتاز در یاخته‌های اندوتلیال، میزان نیتریک اکسید را افزایش می‌دهد. افزایش نیتریک اکسید به نوبه خود، با بسته نگه داشتن روزه‌ها، افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین و کاهش رادیکال‌های آزاد، مقاومت گیاهان را در مقابل انواع تنش‌های محیطی بهبود می‌بخشد (Zhang *et al.*, 2009). همانطور که در مطالعات Gray و همکاران (۲۰۰۳) در ریشه و برگ و ریشه نشان داد، اعمال تنش خشکی باعث افزایش تولید و سنتز ترکیب‌های اسید کافئیک در سرخارگل گردید.

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین به ویژه کاربرد توأم آنها (۱۵۰ اسید سالیسیلیک + ۷۰ اسپریمین) در گیاه سرخارگل سبب افزایش عملکرد ترکیبات اسید کافئیک در اندام‌های مختلف گیاه شد. افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیلایز (Phenyl alanine ammonia-lyase) و چاکلون سینتاز (Chalcone synthase) به عنوان دو آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز ترکیب‌های فنلی و فلاونوئید، نقش مهمی در القاء و تحریک بیوسنتز برخی ترکیب‌های ثانویه مانند فنول‌ها، آلکالوئیدها و سزکوئی‌ترین‌ها و تولید و افزایش عملکرد ترکیب‌های فنیل پروپانوییدی مانند اسیدهای کافئیک در اثر تنش (Hosseini *et al.*, 2011) برعهده دارد. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که افزودن

- Ding, C.K., Wang, C., Gross, K.C. and Smith, D., 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta*, 214: 895-901.
- Ding, Y.F., Liu, P., Chang, Y.X., Zhao, L., Han, D.G. and Xu, K.D., 2006. Effect of spermine on physiology of leaves and configuration of florescence of chrysanthemum [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 45: 789-791.
- Divya, P., Puthusseri, B. and Neelwarne, B., 2013. The effect of plant regulators on the concentration of caretonoids and phenolic compound in foliage of Coriander. *LWT-Food Science Technology*, 56(1): 101-110.
- Dulai, S., Molnár, I., Prónay, J., Csernák, Á., Tarnai, R. and Molnár, L.M., 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in *Aegilops* species originating from dry habitats. *Acta Biologica Szegediensis*, 50: 11-17.
- Ezhilmathi, K., Singh, V.P., Arora, A. and Sairam, R.K., 2007. Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase of *Gladiolus* cut flowers. *Plant Growth Regulation*, 51: 99-108.
- Farhadi, H., Azizi, M. and Nemati, S.H., 2017. The effect of water deficit stress on morphological characteristics and yield components of landraces (*Trigonella foenum-graecum* L.) fenugreek eight. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1): 120-132.
- Garcia, S.M., Rotondo, R., LopezAnido, F.S., Cointry, E.L., SantaCruz, P., Furlan, R. and Escalante, A.M., 2016. Influence of irrigation on the chemical compounds in leaves in vegetative and reproductive stage and bracts of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.). *Acta Horticulture*, 1: 95-102.
- Gharib, F.A.L., 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4(1): 485-492.
- Giorgi, A., Madeo, M., Speranza, G. and Cocucci, M., 2010. Influence of environmental factors on composition of phenolic antioxidants of *Achillea collina* becker ex rchb. *Natural Product Research*, 24: 1546-1559.
- Gray, D.E., Pallardy, S.G., Garrett, H.E. and Rottinghaus, G.E., 2003. Acute drought stress and plant age effects on alkamide and phenolic acid content in purple coneflower roots. *Planta Medica*, 69(1): 50-55.
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagcl, E.G. and Cicek, N., 2007. Salicylic acid induced

داد که محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسپریمین تولید و تجمع متابولیت‌های ثانویه و ترکیب‌های اسید کافئیک را در سرخارگل تحریک نموده و از طریق بهبود صفات رشدی اثرهای مضر تنش کم‌آبی را بر گیاه کاهش می‌دهد. به علاوه، میزان تأثیر اسید سالیسیلیک بر رشد گیاه سرخارگل تا حدود زیادی به غلظت مورد استفاده آن بستگی دارد.

منابع مورد استفاده

- Abolhasani, K.H. and Saeidi, G., 2006. Investigation of agronomic traits for safflower genotypes in two moisture regimes in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13(4): 43-54.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 56, FAO, Rome.
- Applewhite, P.B., Kaur-Sawhney, R. and Galston, A.W., 2000. A role for spermidine in the bolting and flowering of arabidopsis. *Physiologia Plantarum*, 108: 314-320.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216.
- Bergeron, C., Gafner, S., Batcha, L.L. and Angerhofer, K., 2002. Stabilization of caffeic acid derivatives in *Echinacea purpurea* L. glycerin extract. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 5: 3967-3970.
- Ceeh, R., 2002. Phytochemical variation within populations of *Echinacea angustifolia* (Asteraceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 30: 837-854.
- Chen, J., Cheng, Z. and Zhong, S., 2007. Effect of exogenous salicylic acid on growth and H₂O₂-metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. *Journal of Environmental Sciences*, 19(1): 44-49.
- Cheon Chae, S., 2016. Shoot organogenesis of *Echinacea angustifolia* DC as influenced by polyamines. *Life Science Journal*, 13(1): 16-19.
- Cleland, C.F. and Ajami, A., 1974. Identification of a flower-inducing factor, isolated aphid honeydew as being salicylic acid. *Plant Physiology*, 54: 904-906.
- Darvizheh, H., Zahedi, M., Abaszadeh, B. and Razmjoo, J., 2018. Effects of irrigation regime and foliar application of salicylic acid and spermine on the contents of essential oil and caffeic acid derivatives in *Echinacea purpurea* L. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4): 1267-1285.

- angustifolia* DC. Food Chemistry, 107(1): 1461-1466.
- Mirshekari, B., 2011. Effect of irrigation time and nitrogen fertilizer on growth period and chamazulene content of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in cold and semi-arid region. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(1): 173-187.
 - Nahar, K., Ahamed, K.U. and Fujita, M., 2010. Phenological variation and its relation with yield in several wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under normal and late sowing mediated heat stress condition. Notulae Scientia Biologicae, 2(3): 51-56.
 - Nair, V.D., Panneerselvam, R., Gopi, R. and Hong-bo, S., 2013. Elicitation of pharmacologically active phenolic compounds from *Rauvolfia serpentina* Benth. Industrial Crops and Products, 45: 406-415.
 - Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G. and Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115: 393-397.
 - Raman, V. and Ravi, S., 2011. Effect of Salicylic acid and methyl jasmonate on antioxidant systems of *Heamatococcus pluvialis*. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 1043-1049.
 - Rasouli, F., Gholipour, M., Jahanbein, K. and Asghari, H.R., 2018. Effect of jasmonic and salicylic acids on some antioxidants, soluble sugar and lipid peroxidation in *Echinacea purpurea* L. under field conditions. Journal of Plant Production Research, 25(1): 45-61.
 - Reddy, A.R., Chiatanya, K.V. and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161(11): 1189-1202.
 - Rezvanypour, S.H., 2016. Effect of polyamines and mycorrhizal symbiosis on growth and flowering of freesia (*Freesia×hybrida*). Department of Horticultural Sciences, Specialization: Physiology and Breeding of Ornamental plant, University of Guilan, 191p.
 - Roumani, A., 2019. The effect of foliar application of salicylic acid and spermine under water deficit stress conditions on growth, physiological and yield characteristics of medicinal plant of Ispaghula (*Plantago ovata* Forssk.). Department of Agronomy and Plant Breeding: Crop Physiology, Gonbad Kavous University. 141p.
 - Sabra, A., Daayf, F. and Renault, S., 2012. Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. Scientia Horticulturae, 135(1): 23-31.
 - changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Journal of Plant Physiology, 164(4): 728-736.
 - Heiser, I. and Elstner, E.F., 1998. The biochemistry of plant stress and disease: oxygen activation as a basic principle. Annals of the New York Academy of Sciences, 851(1): 224-232.
 - Hosseini, S.S., Mashayekhi, K., Alizadeh, M. and Ebrahimi, P., 2011. Effect of salicylic acid on somatic embryogenesis and chlorogenic acid levels of carrot (*Daucus carota* cv. *Nantes*) explants. Ornamental and Horticultural Plant, 1(2): 105-113.
 - Jie, S., Xing-Zheng, F., Ting, P., Xiao-San, H., Qi-Jun, F. and Ji-Hong, L., 2010. Spermine pretreatment confers dehydration tolerance of citrus in vitro plants via modulation of antioxidative capacity and stomatal response. Tree Physiology, 30(7): 914-922.
 - Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M.H., Rabiee, B. and Kafi Ghasemi, A., 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht climate. Journal of Crop Production, 2(2): 91-110.
 - Khan, M.I.R., Iqbal, N., Masood, A. and Khan, N.A., 2012. Variation in salt tolerance of wheat cultivars: role of glycine betaine and ethylene. Pedosphere, 22: 746-754.
 - Kumar, P., Dube, S.D. and Chauhan, V.S., 1999. Effect of salicylic acid on growth, development and some biochemical aspects of soybean (*Glycine max* L. Merrill). Indian Journal of Plant Physiology, 4: 327-330.
 - Kocheiki, A., Nasiri-Mahalati, M. and Azizi, K., 2006. The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foeniculum vulgare*) landraces. Iranian Journal of Field Crop Research, 4(1): 131-140.
 - Kuzel, S., Vydra, J., Triska, J., Virchotova, N., Hruby, M. and Cigler, P., 2009. Elicitation of pharmacologically active substances in an intact medical plant. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57: 7907-7911.
 - Letchamo, W., Polydeonny, L.V., Gladisheva, N.O., Arnason, T.J., Livesey, J. and Awang, D.V.C., 2002. Factors affecting *Echinacea* quality: 514-521. In: Janick, J. and Whipkey, A., (Eds.). Trends in New Crops and New Uses. ASHS Press. Alexandria, 599p.
 - Montanari, M., Degl Innocenti, E., Maggini, R., Pacifici, S., Pardossi, A. and Guidi, L., 2007. Effect of nitrate fertilization and saline stress on the contents of active constituents of *Echinacea*

- (*Catharan thusroseus*L.) to tryptophan and putrescine. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2: 210-213.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 199-223.
 - Yasari, T., Shahsavari, M.R., Barzegar, A.B. and Omid, A.H., 2005. The Study of developmental stages and their relation to seed yield of safflower advanced genotype. *Pajouhesh Va Sazandgi*, 18(1): 75-83.
 - Zhao, H.J., Lin, X.W., Shi, H.Z. and Chang, S.M., 1995. The regulating effects of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of *soybeans*. *Journal of Acta Agronomy and Crop Science*, 21: 351-355.
 - Zhang, Y., Han, X., Chen, X., Jin, H. and Cui, X., 2009. Exogenous nitric oxide on antioxidative system and ATPase activities from tomato seedlings under copper stress. *Scientia Horticulturae*, 123: 217-223.
 - Samadi, S., Ghasemnezhad, A., Alizadeh, M. and Alami, M., 2016. Influence of elicitors on photosynthesis pigments, caffeic acid, chlorogenic acid and proline content of *Cynara scolymus* callus. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(3): 435-443.
 - Shakirova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V. and Shakirova, F.M., 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 21: 314-319.
 - Sood, S., Vyas, D. and Nagar, P.K., 2006. Physiological and biochemical studies during flower development in two rose species. *Scientia Horticulturae*, 108: 390-396.
 - Stuart, D. and Wills, R., 2000. Factors affecting the extraction of alkylamides and cichoric acid during ethanolic processing of *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40: 873-877.
 - Talaat, I.M., Bekheta, M.A. and Mahgoub, M.H., 2005. Physiological response of periwinkle plants

Effects of foliar application of salicylic acid and spermine on the phenological stages and caffeic acid derivatives yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under drought stress

H. Darvizheh¹, M. Zahedi^{2*}, B. Abbaszadeh³ and J. Razmjoo⁴

1- Ph.D. of student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran, E-mail: mzahedi@cc.iut.ac.ir

3- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran

Received: November 2018

Revised: March 2019

Accepted: June 2019

Abstract

In order to study the effect of water deficit and foliar application of salicylic acid and spermine on the phenological stages and caffeic acid derivatives yield of *Echinacea purpurea* L., a three replicated split-plot experiment was conducted based on a randomized complete block design during 2016 and 2017 growing seasons at the research field of Research Institute of Forests and Rangelands, Iran. In this experiment, three irrigation regimes (irrigation after 20, 40 and 60% depletion of soil available water) were accommodated in main plots and salicylic acid (SA) and spermine (SPM) spray treatments (Control (no spray), spray at five levels of 75 mg/l SA, 150 mg/l SA, 75 mg/l SPM, 75 mg/l SA+75 mg/l SPM and 150 mg/l SA+75 mg/l SPM) were considered in subplots. The exogenous SA and SPM were applied on the foliage at two steps, 10-days apart and at the beginning of stem elongation stage. The effects of irrigation regime and spray treatments were significant on the traits studied. Drought stress decreased the number of days to phenological stages, the yield of echinacoside and cynarin in flower and cichoric acid, and caftaric acid and cynarin in leaves, but increased the yield of chlorogenic acid in flowers and caffeic acid derivatives (cichoric acid, echinacoside, chlorogenic acid, caftaric acid and cynarin) in roots. The foliar application of salicylic acid and spermine increased all studied traits. The interaction between water deficit and foliar spray was significant on the yield of caffeic acid derivatives in roots. The highest yield of cichoric acid (9.49 kg/ha), echinacoside (0.67 kg/ha), chlorogenic acid (0.26 kg/ha), caftaric acid (7.31 kg/ha) and cynarin (0.27 kg/ha) in roots was obtained at irrigation after 60% depletion of soil available water and simultaneous application of high concentrations of SA and SPM. Based on the results of the present study, the foliar application of SA and SPM improved the yield of caffeic acid derivatives in coneflower under both normal and water stress conditions.

Keywords: *Echinacea purpurea* L., water stress, salicylic acid, spermine, caffeic acid derivatives.