

اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و گل دهی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) تحت تنش دمای بالا

The Effect of Salicylic Acid on Growth and Flowering of Marigold (*Calendula officinalis*) Plant under High Temperature Stress

طیبه نازدار^۱، علی تهرانی فر^{۲*}، حسین نعمتی^۳، احمد نظامی^۴ و لیلا سمیعی^۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۲۰
(مقاله پژوهشی)

چکیده

باتوجه به افزایش دمای کره زمین، ارائه راه کارهایی جهت بهبود تحمل گیاهان به تنش گرما ضروری به نظر می رسد. به منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک (SA) بر صفات رویشی و زینتی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) تحت تنش دمای بالا، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۴ تکرار تحت شرایط گلخانه ای در سال ۱۳۹۴ انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل رقم به عنوان فاکتور اول در دو سطح (Zen و Candyman) و کاربرد غلظت های مختلف اسید سالیسیلیک به عنوان فاکتور دوم در چهار سطح (۰/۲۵، ۰/۵، یک میلی مولار و شاهد) بودند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش دمای بالا، محلول پاشی برگی SA موجب بهبود صفات مورفولوژیکی اندازه گیری شده، به استثنای ارتفاع و تعداد برگ تا اولین گل، تعداد روز تا گل دهی و وزن خشک گل گیاه همیشه بهار گردید. براساس نتایج، بیشترین میانگین اکثر صفات، در سطح اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی مولار حاصل شد، به طوری که این غلظت باعث بهبود میزان سطح برگ (۲۱٪)، وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب ۱۵ و ۱۶ درصد)، تعداد گل (۴۲ درصد)، ماندگاری گل (۱۹ درصد) و وزن تر گل (۴۳ درصد) نسبت به شاهد گردید. تفاوت معنی داری بین اثر متقابل رقم و تیمار اسید سالیسیلیک روی ویژگی های اندازه گیری شده وجود نداشت.

واژه های کلیدی: رقم، زینتی، گرما، محلول پاشی برگی، مورفولوژی

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۵. استادیار گروه گیاهان زینتی، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول Email: tehranifar@um.ac.ir
این مقاله مستخرج از پایان نامه دکتری نویسنده اول به راهنمایی علی تهرانی فر می باشد.

مقدمه

همیشه بهار با نام علمی *Calendula officinalis* L. یکی از گیاهان بستر با اهمیت از تیره کاسنی (Asteracea) است که علاوه بر کاربرد زینتی، جهت مصارف دارویی نیز سابقه دیرینه داشته و خواص درمانی زیادی برای آن ذکر گردیده است (کرومک و اسمیت^۱، 1998). این گیاه مقاوم به سرما می‌باشد و در هوای سرد بهترین رشد را دارد (قاسمی قهساره و کافی، ۱۳۸۹). دمای مناسب در انواع پاکوتاه گل‌دانی این گیاه، ۲۱ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۷-۱۶ درجه سانتی‌گراد در شب است (دال و ویلکینز^۲، 2004).

تنش دمای بالا یکی از پراهمیت‌ترین تنش‌های غیرزیستی در گیاهان است که رشد، نمو و عملکرد گونه‌های فصل سرد را در بسیاری از مناطق جهان محدود می‌کند (ژاو^۳ و همکاران، 2014). براساس مدل‌های پیش‌بینی‌کننده آب و هوای جهانی، میانگین دمای کره زمین در هر دهه، ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (وحید^۴ و همکاران، 2007) و پیش‌بینی می‌شود که میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی، ۱/۷ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر شود (ویگلی و ریپر^۵، 2001).

گیاهان مختلف راه‌کارهای متعددی را برای مقابله با تنش گرما به کار می‌برند. کاربرد خارجی بعضی ترکیبات از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد یکی از راه‌کارهای عملی برای به حداقل رساندن اثرات سوء تنش است. یک نوع از این ترکیبات، اسید سالیسیلیک (SA) یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید با فرمول شیمیایی $C_7H_6O_3$ است که یک تنظیم‌کننده‌ی رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی و دارای یک حلقه آروماتیک متصل به یک گروه هیدروکسیل می‌باشد. القای گل‌دهی، رشد و نمو، بازدارندگی سنتز اتیلن، تأثیر در جذب عناصر غذایی، پایداری غشاء، روابط آبی، تأثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس و نیز القاء سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها از نقش‌های مهم اسید سالیسیلیک به‌شمار می‌رود (راسکین^۶، 1992؛ حیات^۷ و همکاران، 2009؛ سینگ^۸ و همکاران، 2010؛ قاسم‌زاده و جعفر^۹، 2013).

اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ماده تنظیم‌کننده رشد در القای تحمل به بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی همچون مقاومت در برابر پاتوژن‌ها، تنش سرمازدگی، گرما و

خشکی مورد توجه قرار گرفته است (سنارانتنا^{۱۰} و همکاران، 2000؛ سنارانتنا و همکاران، 2003). در این رابطه اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ملکول پیام‌رسان در نظر گرفته می‌شود (راسکین، 1992؛ سنارانتنا و همکاران، 2000؛ حیات و احمد^{۱۱}، 2007) و مانند یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک در گیاه ایفا می‌کند (حیات و احمد، 2007). نتایج بررسی‌ها نیز نشان داده است که اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند نقش حفاظتی ایفاء می‌نماید و تیمار با آن باعث افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی می‌گردد (هی^{۱۲} و همکاران، 2005). به‌عنوان مثال تیمار بذور و گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی و لوبیا چیتی با اسید سالیسیلیک، سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی و درجه حرارت‌های پائین و بالا شده است (سنارانتنا^{۱۳} و همکاران، 2000؛ سنارانتنا و همکاران، 2003). مشاهدات انجام شده توسط بیات^{۱۴} و همکاران (2012) نشان داد که ارتفاع، سطح برگ، تعداد جوانه گل، وزن خشک شاخه، ریشه و وزن خشک کل گیاه همیشه بهار تحت تنش شوری، تحت تأثیر اسید سالیسیلیک قرار گرفته و افزایش یافته است. همچنین در بررسی تاسگین^{۱۵} و همکاران (2003) نشان داده شد که کاربرد اسید سالیسیلیک، گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) را در مقابل تنش‌های سرما، گرما و یخبندان محافظت می‌نماید. تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر افزایش میزان تحمل به تنش دمای بالا توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (دت^{۱۶} و همکاران، 1998؛ لوپز دلگادو^{۱۷} و همکاران، 1998؛ سنارانتنا و همکاران، 2000؛ لارکیندل و نایت^{۱۸}، 2002؛ کلارک^{۱۹} و همکاران، 2004؛ سینجوز و گورل^{۲۰}، 2016).

علی‌رغم اهمیت تولید گیاهان بستر مورد استفاده در فضای سبز و توجه به این موضوع که یکی از بزرگ‌ترین موانع مؤثر بر رشد و نمو این گیاهان دمای بالا می‌باشد (هال^{۲۱}، 2001)، بیش‌تر تحقیقات انجام شده در مورد اثرات تنش گرمایی بر روی محصولات زراعی و گونه‌های چمنی بوده و مکانیسم سازگاری و امکان افزایش تحمل گرمایی یک‌ساله‌های زینتی که بیش‌ترین

10. Senarantna
11. Hayat and Ahmad
12. He
13. Senarantna
14. Bayat
15. Tasgin
16. Dat
17. Lopez-Delgado
18. Larkindale and Knight
19. Clark
20. Cingoz and Gurel
21. Hall

1. Cromack and Smith
2. Dole and Wilkins
3. Zhao
4. Wahid
5. Wigley and Raper
6. Raskin
7. Hayat
8. Singh
9. Ghasemzadeh and Jaafar

شرایط دمای بالا، جهت جلوگیری از وقوع تنش خشکی، آبیاری به‌طور مرتب و در صورت نیاز صورت گرفت. هم‌چنین برای کاهش خطای آزمایش و یکنواخت نمودن شرایط رویش برای تمام گیاهان داخل خزانه پلاستیکی، گلدان‌های هر تیمار به‌طور تصادفی جابه‌جا می‌شدند.

صفات مورفولوژیکی موردارزیابی در این آزمایش شامل ارتفاع و تعداد برگ تا زیر اولین گل، سطح برگ، تعداد روز تا گل‌دهی (از زمان جوانه‌زنی)، تعداد گل، قطر گل، دوام گل، وزن تر و خشک گل، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه بود. جهت اندازه‌گیری قطر گل از کولیس دیجیتالی و برای اندازه‌گیری سطح سطح برگ کل در انتهای آزمایش، از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) ساخت شرکت Delta-T استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن تر، در انتهای آزمایش (۱۰۰ روز پس از آغاز اعمال تنش گرما)، گیاهان به‌دقت از خاک بیرون آورده شده و ریشه‌ها و اندام هوایی هر گلدان از یکدیگر جدا شدند. سپس ریشه‌ها کاملاً با آب شسته شده و بعد از شستشو روی کاغذ روزنامه قرار گرفته تا رطوبت سطحی آنها کاملاً گرفته شود و در نهایت وزن تر ریشه و بخش هوایی به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک اندام‌ها، تمام قطعات ریشه، شاخساره و گل در پاکت‌های کاغذی جداگانه قرار داده شده و در آن با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس وزن آنها با ترازوی Shimudzu مدل AEU-210 با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP 8.0 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برای صفات موردبررسی در این پژوهش، تفاوت معنی‌داری بین اثر متقابل رقم و تیمار اسید سالیسیلیک وجود نداشت (جدول ۱). بنابراین برای کلیه صفات از جداول اثرهای ساده جهت بیان نتایج استفاده گردیده است.

ارتفاع تا اولین گل، تعداد برگ تا اولین گل و سطح برگ

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به صفات ارتفاع تا اولین گل و تعداد برگ تا اولین گل، اثرات ساده رقم و تیمار اسید سالیسیلیک و برهم‌کنش بین آنها معنی‌دار نبود، اما برای صفت سطح برگ، اثر ساده رقم در سطح یک درصد و اثر ساده تیمار اسید سالیسیلیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر این اساس رقم Zen با میانگین ۲۲۳/۱۴

سهم گیاهان بستر را به خود اختصاص می‌دهند، به‌ندرت موردتوجه محققین قرار گرفته است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان افزایش تحمل و بهبود خصوصیات گیاه همیشه‌بهار تحت تنش گرما با استفاده از محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی (رویشی و زینتی) گیاه همیشه‌بهار تحت تنش گرما، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (۲×۴) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۴ انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل دو رقم همیشه بهار (Zen و Candyman) و چهار غلظت اسید سالیسیلیک (۰/۲۵، ۰/۵، یک میلی‌مولار و شاهد) بود. کشت بذور پس از ضدعفونی سطحی با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به‌مدت ۵ دقیقه، در سینی‌های کشت ۱۰۵ تایی حاوی کوکوپیت انجام شد و نشاءهای حاصل، ۴۵ روز پس از کاشت به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر شامل مخلوطی از ۶۰٪ خاک لوم، ۳۰٪ ماسه و ۱۰٪ ورمی‌کمپوست انتقال یافتند. سپس گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای بدون تنش با دمای حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۷ درجه سانتی‌گراد در شب و شرایط نور طبیعی مورد پرورش قرار گرفتند. محلول‌پاشی برگی گیاهان با تیمارهای اسید سالیسیلیک پس از استقرار نشاءها (مرحله ۸-۱۲ برگی) و ۲ هفته قبل از اعمال تنش گرما، به‌طور هفتگی آغاز و به‌مدت ۵ هفته متوالی ادامه یافت. محلول‌پاشی به اندازه‌ای صورت گرفت که تمام سطوح اندام‌های هوایی کاملاً خیس گردیده و محلول از انتهای برگ‌ها جاری شد. هم‌چنین گیاهان شاهد به همین روش و تنها با آب مقطر تیمار شدند. دو هفته پس از پایان کاربرد اسید سالیسیلیک، گیاهان جهت اعمال تنش گرما به خزانه پلاستیکی تنظیم شده در دمای ۳۵ تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد با استفاده از هیتر برقی ترموستات‌دار و تحت ۱۲ ساعت فتوپریود تاریکی منتقل و به‌مدت ۱۰ روز نگهداری شدند. رطوبت نسبی در خزانه پلاستیکی، در حد ۷۵ تا ۸۰ درصد حفظ گردید و حداقل شدت نور برابر ۲۰۰ تا ۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه تنظیم شد (با استفاده از نور خورشید و نور مصنوعی حاصل از لامپ‌های فلورسانس و نور زرد). پس از اتمام طول دوره تنش، تمامی گیاهان مجدداً به شرایط بدون تنش گلخانه اولیه برگردانده شده و تا زمان برداشت گیاهان باقی ماندند.

لازم به‌ذکر است که قبل از اعمال تنش، گلدان‌ها به‌طور کامل آبیاری و در زمان اعمال تنش به علت نیاز آبی بالا در

سانتی‌مترمربع نسبت به رقم Candyman با میانگین ۱۶۹/۵۹ سانتی‌مترمربع، سطح برگ بیش‌تری داشت (جدول ۲). طبق نتایج اثر ساده تیمار اسید سالیسیلیک، سطح برگ در تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار نسبت به شاهد، به میزان حدود ۲۱ درصد افزایش نشان داد که این افزایش معنی‌دار بود. پس از آن با افزایش غلظت تا ۰/۵ میلی‌مولار، میانگین سطح برگ نسبت به غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار کاهش پیدا کرد، اگرچه تفاوت آن نسبت به شاهد و تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار معنی‌دار نبود. با افزایش بیش‌تر غلظت، یعنی در سطح ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، سطح برگ کاهش بیش‌تری یافته و میانگین آن با تفاوت معنی‌دار به اندازه ۲۰ درصد کم‌تر از سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار رسید (جدول ۲).

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

از نظر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه اختلاف معنی‌داری بین ارقام در سطح ۱ درصد و بین سطوح اسید سالیسیلیک در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۱). همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین دو رقم مورد مطالعه، از نظر صفات فوق، رقم Zen نسبت به رقم Candyman برتری داشته است (جدول ۲).

از نظر اثر ساده اسید سالیسیلیک، تغییرات صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، روندی مشابه سطح برگ گیاه داشت و کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار، باعث افزایش معنی‌دار میانگین این صفات در مقایسه با شاهد گردید. در سطح ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، اگرچه اختلاف معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد، اما نتایج حاکی از افزایش جزئی میانگین این صفات نسبت به شاهد می‌باشد. افزایش بیش‌تر اسید سالیسیلیک تا سطح ۱ میلی‌مولار باعث کاهش صفات مزبور نسبت به سایر سطوح گردیده است، هرچند که این کاهش در مقایسه با شاهد و سطح ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، معنی‌دار نبوده است (جدول ۲).

براساس نتایج صفات وزن تر و خشک ریشه (جدول ۲)، غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با تفاوت معنی‌دار با یکدیگر و بدون داشتن تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین‌ها را دارا بودند. کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، نسبت به عدم استفاده از این ترکیب، میزان وزن تر و خشک ریشه را به ترتیب حدود ۲۳ و ۱۴ درصد افزایش داد. لازم به ذکر است بین سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، اختلاف معنی‌داری در میانگین صفات فوق مشاهده نشد.

تعداد روز تا گل‌دهی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم، اسید سالیسیلیک و برهم‌کنش این عوامل، بر صفت تعداد روز تا گل‌دهی معنی‌دار نبود (جدول ۱).

تعداد گل

براساس نتایج جدول ۱، اثر ساده رقم بر میانگین تعداد گل، معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$)، به گونه‌ای که رقم Zen با میانگین ۱۰/۴۱ عدد گل در بوته نسبت به رقم Candyman با میانگین ۷/۴۴ عدد گل در بوته برتری نشان داد. هم‌چنین تعداد گل در بوته، تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱) و همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود این ترکیب در تمام سطوح، باعث افزایش تعداد گل نسبت به شاهد گردید. در بین غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک، تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، بدون تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های بالاتر آن و با میانگین ۱۰/۳۱ عدد، بیش‌ترین تعداد گل در بوته را داشت و تعداد گل در بوته را در حدود ۴۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۲).

قطر گل

نتایج مقایسه میانگین جدول ۱ نشان داد که نوع رقم بر میانگین قطر گل تأثیر معنی‌داری داشت ($P \leq 0.01$) و رقم Candyman با میانگین ۶۲/۶۴ میلی‌متر، نسبت به رقم Zen با میانگین ۵۵/۴۴ میلی‌متر دارای گل بزرگ‌تری بود (جدول ۲). هم‌چنین قطر گل، تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و بیش‌ترین میانگین آن (۶۰/۵۷ میلی‌متر) در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار این ترکیب مشاهده شد که تفاوت آن با شاهد معنی‌دار بود، اما با سایر سطوح اسید سالیسیلیک، تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میانگین قطر گل (۵۶/۹۵ میلی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود که تفاوت آن با سایر سطوح اسید سالیسیلیک به جز بالاترین غلظت آن (یک میلی‌مولار)، معنی‌دار بود (جدول ۲).

ماندگاری گل روی بوته

براساس نتایج، نوع رقم بر میانگین ماندگاری گل تأثیر معنی‌داری داشت ($P \leq 0.01$) (جدول ۱) و رقم Candyman، نسبت به رقم Zen ماندگاری گل بالاتری داشت (جدول ۲). تیمار اسید سالیسیلیک ماندگاری گل را نیز افزایش داد، به طوری که این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. بین غلظت‌های اسید سالیسیلیک، تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار، بیش‌ترین تأثیر را در افزایش ماندگاری گل داشته است، به گونه‌ای که

است. سطح برگ گیاه همیشه‌بهار تحت تنش شوری تیمار شده با اسید سالیسیلیک نیز در آزمایش بیات و همکاران (2012)، نسبت به شاهد ۱/۲ برابر افزایش یافته است. همچنین خوداری^۱ (2004) و محمدزاده^۲ و همکاران (2013)، به ترتیب گیاهان ذرت و ریحان در معرض تنش شوری را مطالعه نموده و گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش سطح برگ گیاهچه‌ها می‌گردد. آزمایش‌های خان^۳ و همکاران (2003) روی سویا، قریب^۴ (2007) روی ریحان و مرزنجوش، عرفان^۵ و همکاران (2007) روی گندم، /زوز^۶ (2009) روی باقلا، فرجادی‌شکب^۷ و همکاران (2012) روی سیکلامن، پیچکو^۸ و همکاران (2013) روی همیشه‌بهار، قاسم‌زاده و جعفر (2013) روی زنجبیل و مارتین‌مکس^۹ و همکاران (2015) روی گلوکسینیا، همگی تأییدکننده اثر مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش سطح برگ می‌باشند. گزارش شده است که اسید اسید سالیسیلیک از طریق تقسیم و طولی شدن سلولی باعث افزایش سطح برگ گیاهان تیمار شده می‌گردد (حیات و / احمد، 2007). عدم تفاوت معنی‌دار ارتفاع یا تعداد برگ تا اولین گل در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در پژوهش حاضر، با نتایج سنارتن^{۱۰} و همکاران (2000) در گیاهان لوبیا و گوجه‌فرنگی، خان و همکاران (2003) در گیاهان ذرت و سویا، قاسم‌زاده و جعفر (2013) در زنجبیل و سلطانی^{۱۱} و همکاران (2014) در گیاه همیشه‌بهار مطابقت داشت. هم‌چنین در تحقیقی که مرادی مرجانه و گلدانی (۱۳۹۰) بر روی پاسخ گیاه همیشه‌بهار تحت شرایط کم‌آبایی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کاربرد اسید سالیسیلیک بر طول ساقه اصلی یا ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نداشت. اما قریب (2007) و نوفال^{۱۱} و همکاران (2015)، افزایش ارتفاع و تعداد برگ و بیات و همکاران (2012)، افزایش ارتفاع در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک را گزارش نموده‌اند. به نظر می‌رسد علت نتایج متناقض، غلظت‌های متفاوت استفاده شده در آزمایشات مختلف باشد. به‌عنوان مثال بر طبق اظهارات قریب (2007)، افزایش ارتفاع و تعداد برگ گیاهان ریحان و مرزنجوش، در غلظت‌های پایین‌تر اسید سالیسیلیک (۱۰^{-۵} مولار) مشاهده شده است، در صورتی‌که

نسبت به شاهد، به میزان حدود ۱۹٪ افزایش ایجاد نموده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنها تفاوت میانگین ماندگاری گل سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار (۷/۵۳ روز)، نسبت به میانگین شاهد (۶/۳۵ روز) معنی‌دار بود. اگرچه با کاربرد غلظت‌های بالاتر اسید سالیسیلیک، میانگین ماندگاری گل در مقایسه با سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار، کاهش مختصری یافت، اما تفاوت آن‌ها با این سطح (۰/۲۵ میلی‌مولار) معنی‌دار نبود (جدول ۲).

وزن تر و خشک گل

تفاوت ارقام و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک، از نظر وزن تر گل به ترتیب در سطح ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). میانگین وزن تر گل رقم Candyman (۲/۹۹۸ گرم) نسبت به رقم Zen (۱/۲۰۰ گرم) در حدود ۲/۵ برابر بود. در مطالعه اثر اسید سالیسیلیک مشخص شد که این ماده سبب افزایش میزان وزن تر گیاهان شد و همانند ماندگاری گل، این افزایش تنها در تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار، معنی‌دار بود. این سطح (۰/۲۵ میلی‌مولار)، بیش‌ترین وزن تر گل (۲/۴۱۹ گرم) را به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد، حدود ۴۳ درصد افزایش نشان داد. با افزایش میزان غلظت اسید سالیسیلیک (سطوح ۰/۵ و یک میلی‌مولار)، میزان وزن تر گل نسبت به سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار، به تدریج کاهش یافت، اما این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۲).

در مورد صفت وزن خشک گل فقط تفاوت بین ارقام معنی‌دار شد و کاربرد اسید سالیسیلیک با وجود افزایش میانگین این صفت نسبت به شاهد، تأثیر معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۱ و ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود همانند وزن تر گل، در بین دو رقم مورد مطالعه، رقم Candyman نسبت به Zen از میانگین وزن خشک گل بالاتری برخوردار بود (جدول ۲).

بحث

در مطالعه حاضر، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک منجر به بهبود بیش‌تر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گل، قطر گل، وزن تر و ماندگاری گل گیاه همیشه‌بهار تحت شرایط دمایی بالا شد. آزمایشات زیادی افزایش سطح برگ گیاهان مختلف را در شرایط تیمار با اسید سالیسیلیک گزارش کرده‌اند. به‌طور مثال، حیات و / احمد (2007) بیان کردند که در گیاهان زینتی مانند بنفشه آفریقایی و گلوکسینیا، تیمار اسید سالیسیلیک، تعداد برگ‌های تشکیل شده را افزایش داده است، به‌طوری‌که سطح برگ گیاهان تیمار شده، ۱۰ درصد بیش‌تر از گیاهان شاهد بوده

1. Khodary
2. Mohammadzadeh
3. Khan
4. Gharib
5. Arfan
6. Azoz
7. Farjadi-Shakib
8. Pacheco
9. Martin-Mex
10. Soltani
11. Nofal

(ریواس‌سان و پلاسنسیا^{۱۰}، 2011). براساس گزارش حمید^{۱۱} و همکاران (2008) کاربرد اسید سالیسیلیک از کاهش هورمون‌های اکسین و سیتوکینین جلوگیری و به این ترتیب از کاهش رشد گیاهان تحت تنش جلوگیری می‌کند.

اثر مثبت اسید سالیسیلیک در بهبود وزن تر و خشک گیاه را می‌توان با افزایش آسمیلاسیون CO₂، میزان فتوسنتز و جذب مواد معدنی گیاهان تحت تنش و تیمار شده با اسید سالیسیلیک، مرتبط دانست (عرفان و همکاران، 2007؛ کارلیداج و همکاران، 2009). در این رابطه گزارش شده است که اسید سالیسیلیک، جذب آب و انتقال قند در گیاهان را بهبود بخشیده و در نتیجه‌ی تجمع بیش‌تر منابع برای تقسیم سلولی و اعمال فشار تورژسانس برای طولی شدن سلولی، منجر به سطح برگ بیش‌تر و افزایش رشد گیاه می‌گردد (سعید^{۱۲} و همکاران، 2016). همچنین حمادا^{۱۳} و الحکیمی^{۱۳} (2001)، افزایش مشاهده شده در وزن خشک شاخساره، ریشه و زیست توده را به بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت داده‌اند. در تحقیقی دیگر نیز به دلیل همبستگی مثبت مشاهده شده بین افزایش فتوسنتز و سطح برگ گندم تیمار شده با اسید سالیسیلیک در شرایط نرمال و تنش‌زا، تحریک رشد گندم در پاسخ به کاربرد اسید سالیسیلیک، به افزایش بافت فتوسنتزکننده نسبت داده شده است (عرفان و همکاران، 2007).

غلظت‌های بالاتر آن (۱۰^{-۴} و ۱۰^{-۳} مولار)، اثر بازدارنده داشته‌اند.

در پژوهش حاضر، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک باعث افزایش در ویژگی‌های رشدی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه شد که این نتایج با مشاهدات دیگر از جمله خود/اری (2004)؛ قریب (2007)؛ حیات و احمد (2007)؛ عرفان و همکاران (2007)؛ ییلیدیریم^۱ و همکاران (2008)؛ کارلیداج^۲ و همکاران (2009)؛ نجفیان^۳ و همکاران (2009)؛ کیم^۴ و همکاران (2009)؛ بیات و همکاران (2012) و محمدزاده و همکاران (2013) مشابهت دارد. هم‌چنین گزارش شده است تحت تنش شوری، کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک، میزان رشد در گل آفتابگردان (نورین و اشرف^۵، 2008) و صفات رشدی از قبیل ارتفاع، طول ریشه و وزن تر و خشک در گیاه بنفشه (حوسین^۶ و همکاران، 2011) را بهبود بخشیده است.

به‌طورکلی اسید سالیسیلیک در تنش‌های محیطی اثر محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد گیاه گردیده است. به‌عبارت بهتر نقش حفاظتی اسید سالیسیلیک، بهبود برنامه‌های ضدتنش و تسریع در به حالت طبیعی برگشتن فرایندهای رشد، پس از حذف عوامل تنش‌زاست. صادقی‌پور و آقایی^۷ (2012) بیان کردند که اسید سالیسیلیک از طریق بهبود تثبیت کربن، افزایش سنتز متابولیت‌ها و حفظ آب بافت منتج به افزایش رشد گیاه می‌گردد. افزایش بیومس گیاهی به اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر طول و تراکم ریشه نیز نسبت داده شده است (حیات و احمد، 2007). درواقع این ترکیب با افزایش میزان تقسیم سلولی مرستم انتهایی ریشه‌ها، باعث افزایش رشد ریشه می‌گردد. افزایش رشد سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن توسط اسید سالیسیلیک باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی در شرایط تنش‌زا شده که در نهایت می‌تواند منجر به افزایش رشد گیاه شود. هم‌چنین تنظیم رشد و تقسیم سلولی توسط اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر بر هورمون‌های دیگر نظیر سیتوکینین و آبسزیک اسید صورت می‌گیرد (شکیروا^۸ و همکاران، 2003؛ ارسلان^۹ و همکاران، 2007). شواهدی مبنی بر تداخل مسیرهای پیام‌رسان اکسین و اسید سالیسیلیک در طول مرحله رشد رویشی گیاه وجود دارد

1. Yildirim
2. Karlidage
3. Najafian
4. Kim
5. Noreen and Ashraf
6. Hussain
7. Sadeghipour and Aghaei
8. Shakirova
9. Eraslan

10. Rivas-San and Plasencia
11. Hamid
12. Saeed
13. Hamada and Al-Hakimi

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی دو رقم همیشه بهار تحت تأثیر تنش گرما و محلول پاشی برگ با اسید سالیسیلیک
Table 1: Analysis of variance (mean square) of morphological traits of two calendula cultivars under heat stress and foliar application of salicylic acid

وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Aerial part dry weight	وزن تر اندام هوایی Aerial part fresh weight	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ تا اولین گل Leaf number to first flower	ارتفاع تا اولین گل Height to first flower	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
0.053 ^{ns}	6.47 ^{ns}	0.19 ^{ns}	3.87 ^{ns}	786.09 ^{ns}	0.93 ^{ns}	2.72 ^{ns}	3	بلوک Block
8.171 ^{**}	387.05 ^{**}	9.63 ^{**}	386.36 ^{**}	22945.37 ^{**}	2.00 ^{ns}	2.73 ^{ns}	1	رقم C
0.373 [*]	15.05 [*]	0.58 [*]	14.83 [*]	3154.29 [*]	3.80 ^{ns}	0.26 ^{ns}	3	اسید سالیسیلیک SA
0.162 ^{ns}	6.42 ^{ns}	0.02 ^{ns}	3.62 ^{ns}	943.34 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.22 ^{ns}	3	رقم × اسید سالیسیلیک C × SA
0.098	4.84	0.17	3.09	943.60	1.31	3.21	21	خطا Error

***: معنی دار در سطح احتمال ۱٪، **: معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ns: غیر معنی دار. C: رقم، SA: اسید سالیسیلیک
** and *: Significant at 1% and 5% level of probability, respectively, ns: not significant, SA: Salicylic acid, C: Cultivar

ادامه جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی دو رقم همیشه بهار تحت تأثیر تنش گرما و محلول پاشی برگ با اسید سالیسیلیک
Table 1 continued: Analysis of variance (mean square) of morphological traits of two calendula cultivars under heat stress and foliar application of salicylic acid

وزن خشک گل Flower dry weight	وزن تر گل Flower fresh weight	ماندگاری گل Flower longevity	قطر گل Flower diameter	تعداد گل Flower number	تعداد روز تا گل دهی Days to flowering	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
0.005 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.37 ^{ns}	8.54 ^{ns}	0.57 ^{ns}	34.05 [*]	3	بلوک Block
0.516 ^{**}	25.87 ^{**}	57.32 ^{**}	414.11 ^{**}	70.51 ^{**}	26.28 ^{ns}	1	رقم C
0.017 ^{ns}	0.72 [*]	1.91 [*]	20.14 [*]	15.24 [*]	14.13 ^{ns}	3	اسید سالیسیلیک SA
0.004 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.32 ^{ns}	9.03 ^{ns}	12.01 ^{ns}	20.05 ^{ns}	3	رقم × اسید سالیسیلیک C × SA
0.006	0.23	0.52	5.80	4.36	9.25	21	خطا Error

***: معنی دار در سطح احتمال ۱٪، **: معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ns: غیر معنی دار. C: رقم، SA: اسید سالیسیلیک
** and *: Significant at 1% and 5% level of probability, respectively, ns: not significant SA: Salicylic acid, C: Cultivar

جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات ساده رقم و تیمار اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیکی همیشه بهار تحت تنش گرما
Table 2: Mean comparison of the effects of salicylic acid and cultivar on morphological traits of calendula under heat stress

وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (gr)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (gr)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Aerial part dry weight (gr)	وزن تر اندام هوایی (گرم) Aerial part fresh weight (gr)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm ²)	تعداد برگ تا اولین گل Leaf number to first flower	ارتفاع تا اولین گل (سانتی متر) Height to first flower (cm)	تیمار Treatment
رقم (C)							
1.703b	7.398b	2.947b	15.299b	169.59b	14.66a	7.02a	Candyman
2.714a	14.354a	4.044a	22.248a	223.14a	15.16a	6.43a	Zen
اسید سالیسیلیک (میلی مولار) (SA (mmol)							
2.163ab	9.787ab	3.360b	17.846b	184.09b	14.94a	6.94a	0 (شاهد) (Control)
2.246ab	12.059a	3.898a	20.558a	222.11a	15.75a	6.84a	0.25
2.473a	12.065a	3.374b	19.102ab	201.44ab	14.87a	6.89a	0.5
1.951b	9.594b	3.349b	17.587b	177.82b	14.06a	6.68a	1

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی دار نمی‌باشند
Means with similar letters in each column show non-significant differences according to LSD test at 5% level of probability

ادامه جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات ساده رقم و تیمار اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیکی همیشه‌بهار تحت تنش گرما

Table 2 continued: Mean comparison of the effects of salicylic acid and cultivar on morphological traits of calendula under heat stress

وزن خشک گل (گرم) Flower dry weight (gr)	وزن تر گل (گرم) Flower fresh weight (gr)	ماندگاری گل (روز) Flower longevity (day)	قطر گل (میلی‌متر) Flower diameter (mm)	تعداد گل Flower number	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تیمار Treatment
رقم (C)						
0.441a	2.998a	8.27a	62.64a	7.44b	141.44a	Candyman
0.187b	1.200b	5.60b	55.44b	10.41a	143.25a	Zen
اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) SA (mmol)						
0.256a	1.694b	6.35b	56.95b	7.25b	140.87a	0 (شاهد) (Control)
0.369a	2.419a	7.53a	59.91a	10.31a	144.00a	0.25
0.313a	2.163ab	7.04ab	60.57a	8.37ab	142.69a	0.5
0.317a	2.119ab	6.83ab	58.72ab	9.75a	141.81a	1

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند
Means with similar letters in each column show non-significant differences according to LSD test at 5% level of probability

مشاهده شد اما در مورد صفات ماندگاری و وزن تر گل، تنها استفاده از غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار اثر معنی‌داری در افزایش این صفات داشت. بیش‌ترین میانگین تعداد گل نیز مربوط به سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار و بیش‌ترین میانگین قطر گل مربوط به غلظت ۰/۵ میلی‌مولار بود، با این وجود، تفاوت معنی‌داری از نظر این صفات بین این دو سطح مشاهده نگردید. هم‌چنین اگرچه هیچ‌یک از غلظت‌های اسید سالیسیلیک نتوانستند در صفت وزن خشک گل اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون اسید سالیسیلیک ایجاد کنند، ولی غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار آن، باعث بیش‌ترین افزایش وزن خشک گل گردیده است. بنابراین به نظر می‌رسد به‌طور کلی از نظر ویژگی‌های مربوط به گل‌دهی، سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار، بهترین غلظت در بین سطوح مورد مطالعه اسید سالیسیلیک در شرایط تنش گرما باشد.

ولوت^۶ و همکاران (2009)، اثر تحریک‌کنندگی گل‌دهی را از اثرات غیرمستقیم اسید سالیسیلیک دانسته و اظهار داشته‌اند که این ترکیب از طریق تغییر سنتز و یا مسیرهای سیگنال سایر هورمون‌های گیاهی از جمله جاسمونیک اسید، اتیلن و اکسین باعث افزایش گل‌دهی می‌گردد. علاوه بر این، کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک، می‌تواند باعث افزایش میزان GA درون‌زا و متابولیسم آن شده و در نتیجه از طریق تغییر وضعیت هورمونی گیاه، رشد و نمو گیاه را تنظیم کند. افزایش مقدار اسید سالیسیلیک درون‌زا در پاسخ به کاربرد خارجی آن، همبستگی مثبتی با رشد و گل‌دهی گیاه دارد (کیوم و همکاران، 2009) و بهبود گل‌دهی را می‌توان به علت نقش اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد درون‌زا که نقش مهمی در افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان دارد در نظر گرفت (محمدی^۷ و همکاران، 2015). جبارزاده و همکاران (2009) اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر گل‌دهی را به افزایش آسیمیلایون

گزارشات مختلف مربوط به گل‌دهی نشان داده است که تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش اندازه گل در استکانی (سرک^۱، 1992)، افزایش تعداد گل و کاهش تعداد روز تا گل‌دهی در گیاه بنفشه آفریقایی (مارتین‌مکس و همکاران، 2005؛ جبارزاده^۲ و همکاران، 2009)، افزایش تعداد و قطر گل و تسریع گل‌دهی در گیاه همیشه‌بهار (بیات و همکاران، 2012)، افزایش وزن تر و خشک در گل بابونه (قاسمی^۳ و همکاران، 2013)، افزایش تعداد، قطر، وزن تر و خشک گل در گیاه همیشه‌بهار (سلطانی و همکاران، 2014؛ هشیس^۴ و همکاران، 2015؛ نوفال و همکاران، 2015؛ محمود^۵، 2016)، تسریع گل‌دهی (۶ روز) و افزایش تعداد (۲۵ تا ۳۷٪) و قطر گل (۱۱٪) در گیاهچه‌های گلوکسینیا (مارتین‌مکس و همکاران، 2015) می‌شود. هم‌چنین فرجادی‌شکیب و همکاران (2012) افزایش دوام، وزن تر گل و تعداد گل سیکلامن را در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش کردند، اما مشابه نتایج ما، تغییرات وزن خشک گل در آزمایش این محققین معنی‌دار نبود. پیچکو و همکاران (2013) نیز افزایش معنی‌دار تعداد گل همیشه‌بهار در غلظت یک میلی‌مولار را گزارش نموده، اما تغییری در وزن تر و خشک گل مشاهده نمودند.

گل‌دهی یک فرایند پیچیده است که توسط عوامل ژنتیکی و محیطی تنظیم می‌گردد (مارتین‌مکس و همکاران، 2015). از آنجاکه مهم‌ترین صفت زینتی گیاهان بستر، میزان گل‌دهی گیاه می‌باشد، گل‌دهی در طول یک دوره طولانی اهمیت زیادی دارد. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است استفاده از اسید سالیسیلیک باعث افزایش تعداد، قطر، ماندگاری و وزن تر گل شده است. این روند افزایشی در تمام سطوح اسید سالیسیلیک

1. Serek
2. Jabbarzadeh
3. Ghasemi
4. Hashish
5. Mahmoud

6. Vlot
7. Mohammadi

دارد که اسید سالیسیلیک به عنوان یک تنظیم کننده زمان گل دهی است که با مسیرهای فتوپریود و اتوناموس برهمکنش دارد. این محققین با بررسی مکانیسم ملکولی القاء گل دهی توسط اسید سالیسیلیک، دریافتند که این ترکیب می تواند به عنوان تنظیم کننده ژن های بازدارنده گل دهی مانند FLC و فعال کننده ژن های تحریک کننده گل دهی مانند FT عمل نماید.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی، کاربرد اسید سالیسیلیک توانست میانگین بیش تر صفات مورد مطالعه را در هر دو رقم به طرز معنی داری تغییر دهد. در بین غلظت های اسید سالیسیلیک مورد استفاده، سطح ۰/۲۵ میلی مولار آن اکثر صفات مورد بررسی و در نهایت تحمل گیاه را در مقایسه با شاهد بهبود بخشیده و دارای بهترین اثر در کاهش اثرات زیان بار تنش گرما برای هر دو رقم مورد مطالعه محسوب می گردد. عدم معنی دار بودن برهم کنش بین عوامل رقم و تیمار اسید سالیسیلیک، بیانگر این مطلب است که تغییرات ایجاد شده در اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک در هر دو رقم یکسان بوده و لذا می توان برای هر دو رقم غلظت یکسان آن را پیشنهاد نمود. لذا بر اساس یافته های این پژوهش محلول پاشی SA در شرایط تنش گرما، بر رشد و گل دهی گیاه هر دو رقم همیشه بهار مثبت بوده است و در نتیجه می تواند مقاومت به تنش را افزایش دهد. با این حال مطالعات بیش تری جهت کارایی و توصیه این ماده تحت شرایط فضای باز و درک مکانیسم های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی که منجر به تحمل از طریق کاربرد این ماده می شود لازم است.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۳۱۶۷۷ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت که بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی اعلام می گردد.

CO₂، غلظت کلروفیل، میزان فتوسنتز و افزایش جذب مواد معدنی نسبت داده اند.

بعضی از مطالعات نشان داده اند که اسید سالیسیلیک از طریق کاهش میزان تنفس، باعث افزایش عمر گل می گردد (ارسلان و همکاران، ۲۰۰۷). سرک (۱۹۹۲)، افزایش دوام گل در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک را به جلوگیری از بیوسنتز اتیلن و افزایش اندازه گل را به میزان اتیلن کم تر، تغییر وضعیت اکسین و نیز افزایش مقدار پروتئین و در نتیجه بزرگ شدن بیش تر سلول ها نسبت داد. هم چنین این ترکیب با تنظیم هدایت روزنه ای و تعرق و در نتیجه جذب آب بیشتر و یا کاهش از دست دادن آب گل ها، باعث بهبود وضعیت آبی گیاه و حفظ وزن تر گل ها می گردد. مکانیسم مسئول پاسخ فیزیولوژیکی بسته شدن روزنه توسط اسید سالیسیلیک به طور کامل درک نشده است، اما به نظر می رسد از طریق تأثیر بر میزان CO₂ بین سلولی این کار را انجام می دهد (سعید و همکاران، ۲۰۱۶). یک فرضیه پیشنهاد کرده که اسید سالیسیلیک به دلیل داشتن گروه هیدروکسیل آزاد بر روی حلقه بنزوئیک اسید، با کلاته کردن آهن موجود در ACC اکسیداز، موجب مهار فعالیت آنزیم و در نهایت مهار بیوسنتز اتیلن و القاء گل دهی و افزایش دوام گل می گردد، چرا که آهن یک کوفاکتور لازم برای تبدیل ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید به اتیلن است. این فرضیه با مشاهده اثر عوامل کلات کننده در القاء گل دهی نامناسبه و مقایسه آن با عمل اسید سالیسیلیک، تقویت گردیده است (راسکین، ۱۹۹۲). اما به علت فعالیت فلوریزنیک بنزوئیک اسید و دیگر ترکیبات فنلی غیر کلات کننده، اظهار شده که ممکن است مکانیسم های دیگری در القاء گل دهی توسط اسید سالیسیلیک دخالت داشته باشند که هنوز کشف نشده است (حیات و احمد، ۲۰۰۷).

مطالعات ژنتیکی مارتینز^۱ و همکاران (۲۰۰۴) دلالت بر این

منابع

- قاسمی قهساره، م. و کافی، م. ۱۳۸۹. گلکاری علمی و عملی، جلد اول، نشر مؤلف. ۳۱۳ صفحه.
- مرادی مرجانه، ا. و گلدانی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید بر تعدادی شاخص‌های رشد گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت شرایط کم آبیاری. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۴ (۱): ۳۳-۴۵.
- Arfan, M., Athar, H. and Ashraf, M. 2007. Does exogenous application of Salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal of Plant Physiology*, 164: 685-694.
- Azooz, M. M. 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11 (4): 343-350.
- Bayat, H., Alirezaie, M. and Neamati, H. 2012. Impact of exogenous Salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8 (1): 258-267.
- Cingoz, G. S. and Gurel, E. 2016. Effects of Salicylic acid on thermotolerance and cardenolide accumulation under high temperature stress in *Digitalis trojana* Ivanina. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105: 145-149.
- Clark, S. M., Mur, L. A. J., Wood, J. E. and Scott, I. M. 2004. Salicylic acid dependent signaling promotes basal thermotolerance but is not essential for acquired thermotolerance in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 38: 432-437.
- Cromack, H. T. H. and Smith, J. M. 1998. *Calendula officinalis* production potential and crop agronomy in southern England. *Industrial Crops and Products*, 7: 223-229.
- Dat, J. F., Lopez-Delgado, H., Foyer, C. H. and Scott, I. M. 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by Salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology*, 116: 1351-1357.
- Dole, J. M. and Wilkins, H. F. 2004. *Floriculture (Principles and Species)*. 2nd ED. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 995 pp.
- Farjadi-Shakib, M., Naderi, R. and Mashhadi Akbar Boojari, M. 2012. Effect of Salicylic acid application on morphological, physiological and biochemical characteristics of *Cyclamen persicum* Miller. *Annals of Biological Research*, 3 (12): 5631-5639.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. 2007. Impact of exogenous Salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 113: 120-128.
- Gharib, F. L. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9 (2): 294-301.
- Ghasemi, M., Babaeian Jelodar, N., Modarresi, M. and Bagheri, N. 2013. Morphological response of german chamomile to heat stress accompanies Salicylic acid-mediated under field conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5 (7): 756-760.
- Ghasemzadeh, A. and Jaafar, H. Z. 2013. Interactive effect of Salicylic acid on some physiological features and antioxidant enzymes activity in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 18: 5965-5979.
- Hamada, A. M. and Al-Hakimi, A. N. 2001. Salicylic acid versus salinity drought-induced stress on wheat seedlings. *Rostlina Vyroba*, 47: 444-450.
- Hamid, M., Yasin, M., Ashraf, K.R., and Arshad, M. 2008. Influence of Salicylic acid priming on growth and some biochemical attributes in wheat grown under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 40 (1): 361-367.
- Hall, A. E. 2000. *Crop Responses to Environment*. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, 244 pp.
- Hashish, K. A., Azza, A. M. M., Nahed, G. A. A. and Mahgoub, A. H. 2015. The influence of different levels of foliar-application SA on the flowering and some chemical compositions of *Calendula officinalis* L. under salinity irrigation. *International Journal of ChemTech Research*, 8 (6): 890-897.
- Hayat, S. and Ahmad, A. 2007. *Salicylic Acid: a Plant Hormone*. Springer, Netherlands, 401 pp.
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. 2009. Effect of exogenous Salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 14-25.
- He, Y., Liu, Y., Cao, W., Huai, M., Xu, B. and Huang, B. 2005. Effects of Salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 45: 988-995.
- Hussain, K., Nawaz, K., Majeed, A., Ilyas, U., Lin, F., Ali, K. and Nisar, M. F. 2011. Role of exogenous Salicylic acid applications for salt tolerance in violet. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27: 151-175.
- Jabbarzadeh, Z., Khosh-Khui, M. and Salehi, H. 2009. The effect of foliar-applied Salicylic acid on flowering of african violet. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (4): 4693-4696.
- Karlidage, H., Yildirim, E. and Turan, M. 2009. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, (Piraciaba, Braz), 66 (2): 180-187.
- Khan, W., Prithviraj, B. and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, 160: 485-492.
- Khodary, A. S. E. 2004. Effect of Salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6 (1): 5-8.

- Kim, Y. H., Hamayun, M., Khan, A. L., Na, C. I., Kang, S. M., Han, H. H. and Lee, I. J. 2009. Exogenous application of plant growth regulators increased the total flavonoid content in *Taraxacum officinale* (Wigg). *African Journal of Biotechnology*, 8: 5727-5732.
- Larkindale, J. and Knight, M. R. 2002. Protection against heat stress-induced oxidative damage in *Arabidopsis* involves Calcium, Abscisic acid, Ethylene, and Salicylic acid. *Plant Physiology*, 128: 682-695.
- Lopez-Delgado, H., Dat, J. F., Foyer, C. H. and Scott, I. M. 1998. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H₂O₂. *Journal of Experimental Botany*, 49: 713-720.
- Mahmoud, E. A. S. 2016. Enhancement the characters of calendula plant grown under saline and non saline conditions by using growth stimulants. PhD Thesis, Cairo University, 29 pp.
- Martinez, C., Pons, E., Prats, G. and Leon, J. 2004. Salicylic acid regulates flowering time and links defence responses and reproductive development. *The Plant Journal*, 37: 209-217.
- Martin-mex, R., Nexticapan-Garcez, A., Villaneuva-Couoh, E., Uicab-Quijano, V., Vergara-Yoisura, S. and Larque-Saavedra, A. 2015. Salicylic acid stimulates flowering in micropropagated gloxinia plants. *Revista fitotecnia mexicana*, 38 (2): 115-118.
- Martin-mex, R., Villaneuva-Couoh, E., Herrera-Campos, T. and Larque-Saavedra, A. 2005. Positive effect of salicylates on the flowering of African violet. *Scientia Horticulturae*, 103: 499-502.
- Mohammadi, H., Pakkish, Z. and Saffari, V. R. 2015. Role of Methyl jasmonate and Salicylic acid applications on bloom delay, flowering and fruiting of Elberta Peach. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2 (1): 75-85.
- Mohammadzadeh, M., Arouee, H., Neamati, S. H. and Shoor, M. 2013. Effect of different levels of salt stress and Salicylic acid on morphological characteristics of four mass native Basils (*Ocimum basilicum*). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4: 3590-3596.
- Najafian, Sh., Khoshkhui, M., Tavallali, V. and Saharkhiz, M. J. 2009. Effect of Salicylic acid and salinity in thyme (*Thymus vulgaris* L.): Investigation on changes in gas exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3 (3): 322-328.
- Nofal, F. H., El-Segai, M. U. and Seleem, E. A. 2015. Response of *Calendula officinalis* L. plants to growth stimulants under salinity stress. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 15 (9): 1767-1778.
- Noreen, S. and Ashraf, M. 2008. Alleviation of adverse effects of salt stress on (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. *Pakistan Journal of Botany*, 40 (4): 1657-1663.
- Pacheco, A. C., Cabral, C., Fermino, E. S. and Aleman, C. C. 2013. Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. *Journal of Medicinal Plant Reserch*, 1 (1): 95-100.
- Raskin, I. 1992. Role of Salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 439-463.
- Rivas-San, V. M. and Plasencia, J. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62: 3321-3338.
- Sadeghipour, O. and Aghaei, P. 2012. Impact of exogenous Salicylic acid application on some traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4: 685-690.
- Saeed, T., Hassan, I., Abbasi, N. A. and Jilani, G. 2016. Antioxidative activities and qualitative changes in gladiolus cutflowers in response to Salicylic acid application. *Scientia Horticulturae*, 210: 236-241.
- Senaratna, T., Merrit, D., Dixon, K., Bunn, E., Touchell, D. and Sivasithamparam, K. 2003. Benzoic acid may act as the functional group in Salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants. *Plant Growth Regulator*, 39: 77-81.
- 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 plant. *Plant Growth Regulation*, 30: 157-161.
- Serek, M. 1992. Does Salicylic acid affect the post-harvest characteristics of *Campanula carpatica*? *Die Gartenbauwissenschaft*, 57: 112-114.
- Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bozrutkova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by Salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164: 317-322.
- Singh, P. K., Chaturvedi, V. K. and Bose, B. 2010. Effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen metabolism in cucumber (*Cuumis sativus* L.). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 6 (3): 102-113.
- Soltani, Y., Saffari, V. R. and Maghsoudi Moud, A. K. 2014. Response of growth, flowering and some biochemical constituents of *Calendula officinalis* L. to foliar application of Salicylic acid, Ascorbic acid and thiamine. *Ethno-Pharmaceutical Products*, 1 (1): 37-44.
- Tasgin, E., Atici, O. and Nalbantoglu, B. 2003. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regulation*, 41: 231-236.
- Vlot, A. C., Dempsey, M. A. and Klessig, D. F. 2009. Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47: 177-206.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 199-223.
- Wigley, T. M. L. and Raper, S. C. B. 2001. Interpretation of high projections for global-mean warming. *Science*, 293: 451-454.

- Yildirim, E., Turan, M. and Guvenc, I. 2008. Effect of foliar Salicylic acid applications on growth, chlorophyll and mineral content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 593-612.
- Zhao, X. X., Huang, L. K., Zhang, X. Q., Li, Z. and Peng, Y. 2014. Effects of heat acclimation on photosynthesis, antioxidant enzyme activities, and gene expression in orchardgrass under heat stress. *Molecules*, 19: 13564-13576.

The Effect of Salicylic Acid on Growth and Flowering of Marigold (*Calendula officinalis*) Plant under High Temperature Stress

Nazdar¹, T., Tehranifar^{2*}, A., Nemati³, S. H., Nezami⁴, A. and Samiei⁵, L.

Abstract

The need for improving heat tolerance in plants is increasing because of global warming. In order to investigate the effect of salicylic acid (SA) on the growth and ornamental traits of marigold (*Calendula officinalis* L.) under heat stress, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with four replications in 2015. Experimental treatments included two cultivars of marigold ('Candyman' and 'Zen') and four concentrations of SA (0.25, 0.5 and 1 mM, and control). The results showed that foliar application of SA under heat stress, improved almost all studied morphological characteristics with the exception of plant height, leaf number, days to first flower and flower dry weight. According to the results, among all concentrations, the highest mean in most of traits was obtained from foliar application of 0.25 mM SA. Compared to the control conditions, application of 0.25 mM solution of salicylic acid increased leaf area (21%), fresh and dry shoot weight (15% and 16%, respectively), flower number (42%), flower longevity (19%) and flower fresh weight (43%). The interaction effect between cultivar and SA treatment was not significant for all measured traits.

Keywords: Cultivar, Ornamental, Heat, Foliar application, Morphology

1, 2 and 3. PhD Student, Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Horticulture and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

5. Assistant Professor, Department of Ornamental Plants, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*: Corresponding author E-mail: tehranifar@um.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's PhD thesis under the guidance of Ali Tehranifar.