

ارزیابی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید بر تعدادی شاخص‌های رشد گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت شرایط کم آبیاری

الهه مرادی مرجانه^{۱*}، مرتضی گلدانی^۲

۱. دانشجوی کارشناس ارشد زراعت؛ ۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۸

چکیده

کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد می‌باشد و تنش اکسیداتیو به عنوان یک تنش ثانویه در نتیجه تنش خشکی و کم آبی بوجود می‌آید. به منظور بررسی سطوح مختلف سالیسیک اسید در کاهش اثرات کم آبی بر تعدادی شاخص‌های رشد گیاه دارویی همیشه بهار آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۹۰-۱۳۸۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سالیسیلیک اسید در سه سطح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار و کم آبیاری در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بودند. نتایج نشان داد که سطوح مختلف سالیسیلیک اسید تاثیر معنی‌داری بر سطح و تعداد برگ، وزن تر و خشک بوته، تعداد ساقه فرعی و تعداد گل در بوته، شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی، وزن خشک بذر و تعداد بذر در بوته داشت و با کاهش آب آبیاری سطح و تعداد برگ، تعداد ساقه فرعی و طول آن، وزن تر و خشک بوته، وزن خشک گل در بوته، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج اثرات متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری حاکی از آن بود که تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، اثرات تیمار کم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی را کاهش داد، بطوری که سطح برگ، تعداد گل در بوته، وزن خشک بذر و تعداد بذر در بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در زمان تنش، موجب مقاومت گیاه در مقابل تنش شد و نیز تا حدودی باعث بهبود رشد و تولید ماده خشک در گیاه همیشه بهار در شرایط آزمایش گردید.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، سالیسیلیک اسید، تنش، گیاه دارویی، عملکرد

مقدمه

نزولات جوی در بسیاری از نقاط کشور ما، نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی را تامین نمی‌کند و قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش کمبود آب، امری اجتناب‌ناپذیر است (Rahmani et al., 2009). تنش ناشی از کمبود آب سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها، سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن خشک، فتوسنتز، و بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، تخریب آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و تغییر در سنتز پروتئین‌ها، تجمع اسیدهای آمینه و کاهش کلروفیل می‌شود (Koocheki et al., 2004). بسیاری از گیاهان دارای مکانیسم‌های خاصی جهت مقابله با شرایط کم آبی و افزایش کارایی مصرف آب می‌باشند (Ghaderi et al., 2010). از ابتدایی‌ترین پاسخ‌های گیاهان به کمبود آب بسته‌شدن روزنه‌ها است که جریان دی‌اکسید کربن به

گیاه همیشه بهار متعلق به خانواده آستراسه (Astraceae)، یکساله با گل‌های مروارید مانند روشن، زرد یا نارنجی می‌باشد که برای اهداف دارویی یا غذایی استفاده می‌شود (Khalida and Teixeira, 2010). دانه گیاه همیشه بهار حاوی ۱۸ تا ۲۲ درصد روغن می‌باشد که این روغن شامل ۵۰ تا ۶۰ درصد اسید چرب ۱۸ کربنه و ۲۸ تا ۳۰ درصد آن اسید لینولئیک غیرکونژوگه می‌باشد (Martin and Deo, 2000). گل این گیاه علاوه بر مصارف خوراکی (طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده غذاهای مختلف) دارای مواد موثره و ترکیباتی است که در صنعت (تهیه رنگ‌های نقاشی و نایلون صنعتی) و داروسازی (تهیه انواع کرم‌ها و لوسیون‌ها) کاربرد دارد (Seghat Al-Eslami and Mousavi, 2008).

همچنین سالیسیلیک اسید نقش مهمی، در ایجاد مقاومت به تنش‌های محیطی نیز دارد (Raskin, 1992). به کارگیری محرک‌های زیستی چند هفته قبل از اعمال تنش موجب مقاومت در برابر تنش می‌شود (Poor, Akbar and Nojavan Asghari, 2004). سالیسیلیک اسید در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند، نقش حفاظتی دارد و سبب افزایش مقاومت به شوری در گیاهچه‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) گردید (Sairam et al., 1997). همچنین تجمع لکتین‌ها در گندم (Shakirova et al., 2003) به سالیسیلیک اسید نسبت داده شد. کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید منجر به ایجاد تحمل به گرما (Dat et al., 1998) و تنش شوری در دو لپه‌ای‌ها (Borsani et al., 2001) نیز گردید. به‌طور کلی سالیسیلیک اسید اثرات کلیدی در گیاهان از جمله تاثیر در جذب عناصر غذایی (Glass and Dunlop, 1974)، پایداری غشاء (Glass et al., 1975)، عملکرد روزنه‌ها (Aldesuquy and Ibrahim, 2001)، بازدارندگی سنتز اتیلن (Srivastava and Dwivedi, 2000)، و افزایش رشد (Rajasekaran and Blake, 1999) دارد. کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید در گیاهانی که در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند سبب تجمع پرولین می‌شود (Shakirova et al., 2003). در یک تحقیق گزارش شد که پاشش برگی سالیسیلیک اسید سبب افزایش قابل توجهی در قند، پروتئین و روغن در دانه‌های ذرت (*Zea mays* L.) شد (Abdel-Wahed et al., 2006). در حالی که غلظت‌های بالاتر سالیسیلیک اسید مقادیر این ترکیبات را کاهش داد. به هر حال، قسمت اعظم شواهد علمی پیشنهاد می‌کند که این ماده نقش کلیدی در ایجاد مقاومت سازگاری و دفاعی دارد (Yalpani and Raskin, 1993) و قادر است توان آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش دهد (Szepesi et al., 2005). با توجه به اینکه تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان تحت تاثیر عوامل محیطی، تغییر می‌کند و تنش رطوبتی نیز عامل موثری در سنتز ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد، این تحقیق با هدف بررسی سطوح مختلف اثر ماده سالیسیلیک اسید در شرایط کم آبی بر اندام‌های رویشی، اجزای عملکرد و تولید بذر در گیاه دارویی همیشه بهار انجام شد.

کلروپلاست را محدود می‌کند (Medrano et al., 2002). از جمله فاکتورهای فیزیولوژیکی که در اثر خشکی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، بازدارندگی فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید می‌باشد (Chaves et al., 2002). در یک بررسی روی گیاه همیشه بهار مشخص شد که عملکرد دانه، عملکرد روغن، ارتفاع و تعداد گل در گیاه تحت شرایط تنش خشکی به شدت کاهش می‌یابد، در حالی که درصد روغن در چنین شرایطی افزایش می‌یابد (Shubhra et al., 2004). در یک بررسی که در مورد اثرات تنش خشکی روی گیاه همیشه بهار انجام شد، سطح برگ و فتوسنتز کاهش یافت، در این شرایط با این که درصد روغن افزایش یافت، اما به علت کاهش شدید عملکرد دانه، عملکرد روغن کاهش معنی‌داری داشت که این امر به دلیل تولید مواد ثانویه بیشتر در شرایط تنش خشکی بود (Rahmani et al., 2009).

سلول‌های گیاهی در شرایط تنش رادیکال‌های آزاد تولید می‌کنند که منجر به سمیت در گیاه می‌شود. آنتی-اکسیدان‌ها موجب فرونشانی سمیت رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش وارده به گیاه می‌شوند و سلول‌های گیاهی را در مقابل آسیب‌دیدگی محافظت می‌کنند. یکی از این محرک‌های زیستی سالیسیلیک اسید است (Poor, Akbar and Nojavan Asghari, 2004)، که به‌عنوان یک جزء پیام‌رسان کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه شناخته می‌شود (Yu et al., 2001). این ماده دارای اثرات متنوع فیزیولوژیکی در رشد و نمو گیاهان نیز می‌باشد (Malamy and Klessig, 1992). بر طبق نظرات راسکین (Raskin, 1992)، سالیسیلیک اسید^۱ باید در زمره تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی دسته بندی شود. سالیسیلیک اسید یا اورتو‌هیدروکسی بنزوئیک اسید^۲، یک تنظیم‌کننده رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی می‌باشد که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد. القاء گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، تاثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس از نقش‌های مهم سالیسیلیک اسید به‌شمار می‌رود و همچنین سالیسیلیک اسید در تنظیم و ایجاد علامت‌هایی برای بیان ژن‌ها در زمان پیری در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) دخالت دارد.

¹. salicylic Acid

². ortho-hydroxyl benzoic acid

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ در محل گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. ابتدا خاکی با ترکیب ۱ قسمت ماسه، ۱ قسمت خاک معمولی و ۵/۰ قسمت خاک برگ تهیه شد و در ۲۷ گلدان بزرگ به ابعاد (۳۰×۳۰) قرار گرفت. در هر گلدان تعداد ۱۰ عدد بذر گیاه همیشه بهار در آذرماه کشت شد، که پس از سبز شدن ۴ بوته با فاصله یکنواخت در هر گلدان نگهداری شد. گلدان‌ها در محیط خارج از گلخانه به منظور کسب درجه حرارت لازم جهت فرآیند بهاره شدن^۱ قرار داده شدند و به صورت هفتگی آبیاری شدند. در اواخر زمستان یک گرم کود اوره به ازاء ۸ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شد. در اوایل فروردین ماه سال ۱۳۹۰ گلدان‌ها تنک شدند به طوری که در هر گلدان دو گیاه همیشه بهار باقی ماند. در اواخر فروردین ماه گلدان‌ها به داخل گلخانه منتقل شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد، که در آن تیمار سالیسیلیک اسید به عنوان عامل اول و در سه سطح شامل ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار و تیمار تنش خشکی بعنوان عامل دوم در سه سطح ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده در آزمایش در نظر گرفته شدند.

روش اعمال کم آبیاری: هر ۱۰۰ گرم خاک مورد استفاده در این آزمایش در وضعیت ظرفیت زراعی محتوای ۲۰ گرم آب بود ($FC = 20$)، بنابراین تیمار کم آبیاری گلدان‌ها به صورت هر دو روز یک بار با حجم ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد، به طوری که در هر گلدان حاوی ۸ کیلوگرم خاک به ترتیب (۲۵ درصد) ۴۰۰، (۵۰ درصد) ۸۰۰ و (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) ۱۶۰۰ گرم آب آبیاری داده شد.

در اردیبهشت ماه، تیمارهای سالیسیلیک اسید قبل از گلدهی بوته‌های همیشه بهار اعمال شدند. یک هفته بعد از اعمال تیمارهای سالیسیلیک اسید، در مرحله گلدهی، تیمارهای سالیسیلیک اسید به همراه تیمارهای کم آبیاری استفاده شدند، به طوری که تیمار سالیسیلیک اسید در میزان آب مورد نیاز هر گیاه در گلدان حل شد و قسمتی از آن روی اندام‌های هوایی گیاه محلول پاشی شد و بقیه آن

به گیاه داده شد. این کار ۶ هفته متوالی انجام شد. در انتهای مرحله گلدهی با دستگاه‌های پرومتر، اسپد و کلروفلورسانس میزان هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی اندازه‌گیری شدند. قبل از برداشت تعداد و طول ساقه اصلی و فرعی، تعداد گل‌های موجود در هر بوته یادداشت برداری شد. بعد از برداشت (خرداد ماه)، وزن تر گیاه، وزن برگ و سطح برگ تعیین گردیدند. نمونه‌ها در آون خشک شدند و سپس وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه تعیین شد. داده‌ها با نرم افزار SAS تجزیه واریانس شدند و میانگین‌های اثرات متقابل با نرم افزار MSTATC بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سطح برگ

تأثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید بر سطح برگ گیاه همیشه بهار در سطح یک درصد بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ میلی مولار سالیسیلیک اسید بیشترین سطح برگ را داشت که نسبت به شاهد ۷۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). تیمارهای کم آبیاری بر سطح برگ ($p \leq 0.01$) تأثیر بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۱)، به طوری که با افزایش آب آبیاری سطح برگ افزایش یافت (جدول ۳). یکی از فرایندهایی که تحت شرایط کم آبی در گیاهان اتفاق می‌افتد، تغییر سطح برگ است، بنابراین کاهش سطح برگ از طریق کاهش تقسیم و طول شدن سلول، یک نوع روش سازگاری است که گیاه در مواجهه با شرایط کم آبی انتخاب کرد و در نتیجه در اثر کمبود آب آبیاری سطح برگ بوته‌های گیاه همیشه بهار کاهش یافت. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر سطح برگ ($p \leq 0.01$) نیز بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). سالیسیلیک اسید اثر کم آبی را تا حدودی تخفیف داد، به طوری که تیمار خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به همراه ۱۰۰ میلی مولار سالیسیلیک اسید بالاترین میزان سطح برگ (۱۸۹/۳ سانتی‌متر مربع) را در تک بوته داشت (شکل ۱a). گیاهان می‌توانند از طریق القاء آنزیم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان (که حفاظت علیه آسیب‌ها را فراهم می‌کنند)، به طیف وسیعی از تنش‌ها (مانند دما، خشکی، شوری، ازن، ماوراء بنفش و حمله پاتوژن‌ها) پاسخ دهند (Shabani and Ehsanpour, 2009). از طرفی استفاده از سالیسیلیک

¹. Vernalization

۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با بالاترین میانگین در گروه مشابهی قرار گرفتند (جدول ۳). به نظر می‌رسد در شرایط فراهم بودن آب آبیاری و در نتیجه فراهمی آماس سلولی، تقسیم سلولی و رشد و نمو در گیاه به‌نحو مطلوب صورت گرفت، که منجر به افزایش ارتفاع بوته همیشه بهار شد. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر طول ساقه اصلی معنی‌دار نبود (جدول ۱).

تعداد و طول ساقه فرعی

تعداد ساقه فرعی تحت تاثیر تیمار سالیسیلیک اسید معنی‌دار ($p \leq 0.01$) شد (جدول ۱)، به طوری که در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بالاترین تعداد ساقه فرعی حاصل شد (جدول ۲)، اما تیمار سالیسیلیک اسید بر طول ساقه فرعی تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). تیمار کم آبیاری بر تعداد و طول ساقه فرعی تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ۱). با افزایش آب آبیاری تعداد و طول ساقه فرعی افزایش یافت (جدول ۳). در یک بررسی در ارتباط با گیاه ماش (*Vigna radiate* L. Wilczek) گزارش شد که بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی مربوط به ارتفاع بوته بود. کاهش ارتفاع بوته و تعداد گره در ساقه نشان داد که کم آبیاری باعث کاهش تقسیمات سلولی شده و رشد رویشی و ارتفاع بوته را کاهش داد (Zabet et al., 2003). تیمارهای سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر تعداد و طول ساقه فرعی تاثیر متقابل معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). در یک بررسی در زمینه اسپری برگی سالیسیلیک اسید بر دانه‌های خیار (*Cucumis sativus*) انجام شد، سالیسیلیک اسید محتوی کلروفیل برگ را افزایش داد و باعث کاهش هدایت روزنه‌ای شد، درحالی که سبب افزایش در شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی، قطر ساقه (۴/۲۱ میلی‌متر)، ارتفاع بوته (۱۱/۷ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۴/۲۲ عدد)، وزن خشک شاخساره (۰/۲۷ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه (۰/۲۶ گرم) و بیوماس (۰/۵۴ گرم در بوته) دانه‌های خیار شد و این شاخص‌ها با افزایش میزان سالیسیلیک اسید به‌طور صعودی افزایش یافتند (Mardani et al., 2010).

تعداد گل در بوته

تعداد گل در بوته تحت تاثیر تیمار سالیسیلیک اسید معنی‌دار ($p \leq 0.05$) شد (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار

اسید باعث گسترش سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن و جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر تولید بیشتر برگ و سطح آن می‌شود. نتایج تحقیقی نشان داد که سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم رایبوسکو سبب بهبود فتوسنتز و افزایش سطح برگ می‌گردد (Gutierrez-Coronado et al., 1998).

تعداد برگ در بوته

تعداد برگ تحت تاثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید معنی‌دار ($p \leq 0.05$) شد (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین تعداد برگ در بوته را داشت که ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۲). تیمارهای کم آبیاری بر تعداد برگ ($p \leq 0.01$) تاثیر بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۱). با کاهش آب آبیاری تعداد برگ کاهش یافت، به طوری که در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی تعداد برگ نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) ۴۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). با توجه به اینکه کمبود آب سبب کاهش فشار آماس در سلول‌های گیاه می‌گردد و نیز توسعه و رشد سلول‌ها وابسته به فشار آماس می‌باشد، در نتیجه در شرایط کم‌آبی رشد سلول‌ها کاهش می‌یابد (Nilsen and Orcutt, 1996). بلوم (Blum, 1996) اظهار داشت که تنش خشکی یا کم‌آبی از طریق کاهش تعداد برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسید کربن را نیز کاهش می‌دهد. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر تعداد برگ ($P \leq 0.01$) بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین تعداد برگ در بوته را تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌همراه ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۳۴/۶۶ داشت که نسبت به شاهد ۲۸ درصد افزایش نشان داد (شکل 1b). به نظر می‌رسد در این آزمایش برای حصول تعداد برگ مطلوب، تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید جهت مقابله با شرایط کم‌آبی کافی بود و بیشتر از این مقدار تاثیر معنی‌داری بر افزایش تعداد برگ نداشت.

طول ساقه اصلی

سالیسیلیک اسید بر طول ساقه اصلی یا ارتفاع بوته تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). تیمار کم آبیاری بر طول ساقه اصلی تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ۱). افزایش آب آبیاری ارتفاع بوته را افزایش داد و تیمارهای

شد. به طوری که اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر تعداد گل در بوته ($p \leq 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۱). تیمار سالیسیلیک اسید ۱۰۰ میلی مولار و کم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین تعداد گل در بوته را با میانگین ۹ عدد داشت که نسبت به شاهد ۹۳ درصد افزایش نشان‌داد (شکل 1c). لقاء گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، تاثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس از نقش‌های مهم سالیسیلیک اسید به‌شمار می‌رود (Raskin, 1992).

سالیسیلیک اسید با میانگین ۶/۵ عدد بیشترین تعداد گل در بوته را داشت (جدول ۲). تحت تاثیر تیمارهای کم آبیاری تعداد گل در بوته معنی‌دار ($p \leq 0.01$) شد (جدول ۱)، به طوری که تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعداد گل در بوته را ۵۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). یکی از اثرات تنش در رابطه با گیاهان، زودرسی در مرحله گلدهی و تسریع در مراحل فنولوژی است، که نوعی گریز از خشکی می‌باشد (Kafi et al., 2009). سالیسیلیک اسید موجب تخفیف اثرات تنش کم آبی بر تعداد گل در بوته

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار تحت تاثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید و کم آبیاری در شرایط گلخانه‌ای

Table 1. ANOVA of growth attributes and yield of calendula as affected by salicylic acid and deficit irrigation treatments under greenhouse conditions

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	سطح برگ در بوته leaf area per plant	تعداد برگ در بوته leaves per plant	طول ساقه اصلی length of main stem	طول ساقه فرعی length of lateral stem	تعداد ساقه فرعی در بوته lateral branches per plant	تعداد گل در بوته flowers per plant	وزن تر بوته plant fresh weight
سالیسیلیک اسید	salicylic acid	2	8400.03**	78.11 *	4.92 ^{ns}	16.25 ^{ns}	4.92**	6.70*	12.48*
آبیاری	irrigation	2	20721.59**	393.44 **	125.14**	328.48**	7.25**	25.48**	66.70**
سالیسیلیک اسید × آبیاری	salicylic acid × irrigation	4	2027.64**	112.55 **	11.14 ^{ns}	30.09 ^{ns}	0.31 ^{ns}	7.25*	2.75 ^{ns}
خطای آزمایش	error	18	274.40	21.85	15.62	14.55	0.59	2.11	30.14
ضریب تغییرات (درصد)	CV(%)		14.82	20.12	24.42	25.56	29.27	24.82	24.69

Table 1. continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک بوته plant dry weight	وزن خشک گل در بوته flowers dry weight per plant	شاخص کلروفیل spad	هدایت روزنه‌ای stomatal conductance	عملکرد کوانتومی quantum yield	وزن خشک بذر seed dry weight	تعداد بذر در بوته seeds per plant
سالیسیلیک اسید	salicylic acid	2	0.50*	0.026**	208.05**	284.33**	0.022**	0.0054**	12.48**
آبیاری	irrigation	2	3.23**	0.031**	315.83**	172.89*	0.030**	0.0020**	57.81**
سالیسیلیک اسید × آبیاری	salicylic acid × irrigation	4	0.44**	0.060**	99.04*	3.03 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0006*	32.09**
خطای آزمایش	error	18	0.09	0.004	32.24	33.85	0.003	0.00017	1.00
ضریب تغییرات (درصد)	CV(%)		19.35	26.92	13.71	24.16	7.88	22.26	25.23

* و ** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ^{ns} عدم اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهند.

* and ** indicate a significant difference at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; ^{ns} means non-significant difference.

وزن تر بوته

وزن تر بوته تحت تاثیر تیمار سالیسیلیک اسید معنی‌دار شد (جدول ۱) و با افزایش سالیسیلیک اسید وزن تر بوته افزایش یافت، به طوری که در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین وزن تر بوته حاصل شد (جدول ۲). احتمالاً محلول‌پاشی برگ سالیسیلیک اسید از طریق افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ، منجر به حفظ تورم و حجم برگ شده و در نتیجه رشد و افزایش تعداد سلول‌ها نیز حفظ می‌شود. در یک تحقیق، گزارش شد که تیمار گندم با سالیسیلیک اسید میزان محتوای رطوبت نسبی را افزایش داد (Agarwal et al., 2005). تاثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر وزن تر بوته ($p \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش آب آبیاری وزن تر بوته افزایش یافت، به طوری که بیشترین وزن تر بوته به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تعلق داشت (جدول ۳). همان طور که محتوی آب برگ در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد، سلول‌ها چروک خورده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد، در نتیجه سطح و تعداد برگ‌ها نیز کاهش یافته و فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد (Tiaz and Zeiger, 1998)، و در نهایت رشد رویشی گیاه نیز در اثر کمبود آب کاهش پیدا می‌کند (Pereira and Chaves, 1995). اثر متقابل تیمارهای سالیسیلیک اسید و کم‌آبیاری بر وزن تر بوته معنی‌دار نبود (جدول ۱).

وزن خشک بوته

تاثیر سالیسیلیک اسید بر وزن خشک بوته ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۱)، به طوری که با افزایش میزان سالیسیلیک اسید وزن خشک بوته افزایش یافت. بیشترین وزن خشک را تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید داشت که نسبت به شاهد ۳۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). تیمار کم‌آبیاری تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک بوته ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ۱). با افزایش آب آبیاری وزن خشک بوته افزایش یافت (جدول ۳). با توجه به اینکه در این آزمایش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز در شرایط کم‌آبی کاهش یافتند، در نتیجه وزن خشک گیاه هم کاهش پیدا کرد. زمانی که در شرایط تنش خشکی ارتفاع گیاه و تعداد برگ کاهش می‌یابد، وزن خشک اندام‌هوایی نیز به دنبال آن کم می‌شود. در یک تحقیق انجام شده بر روی انواع گیاهان، روند نزولی وزن

خشک اندام‌هوایی طی پتانسیل‌های منفی‌تر گزارش شده است (Siddique et al., 1993). از طرفی بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، فراهمی دی‌اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی محدود ساخته و در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد (Ahmadi and baiker, 2000). تیمارهای سالیسیلیک اسید و کم‌آبیاری تاثیر متقابل معنی‌داری را بر وزن خشک بوته ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ۱). بیشترین وزن خشک را تیمارهای ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید داشتند (شکل ۱d). به‌طور کلی در شرایط تنش در سیستم فتوسنتزی گیاه اکسیژن‌های فعال تشکیل می‌شوند که این رادیکال‌های آزاد موجب تخریب لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شوند. سلول‌های گیاهی برای از بین بردن اکسیژن‌های فعال، آنتی‌اکسیدان‌ها را تولید کرده و بدین ترتیب تا حدودی در مقابل تنش مقاومت می‌کنند. در یک تحقیق که بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی دانه‌های خیار تحت شرایط تنش خشکی انجام شد، با افزایش میزان اسید سالیسیلیک از شاهد (۰ میلی‌مولار) تا یک میلی‌مولار، قطر ساقه ($4/3$ سانتی‌متر)، ارتفاع بوته ($12/1$ سانتی‌متر)، تعداد برگ ($4/5$ عدد)، وزن خشک شاخساره ($0/3$ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه ($0/28$ گرم در بوته)، بیوماس ($0/51$ گرم در بوته) و سطح برگ ($51/2$ سانتی‌متر مربع) افزایش یافت (Bayat et al., 2010).

شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل برگ تحت تاثیر تیمار سالیسیلیک اسید معنی‌دار ($p \leq 0.01$) شد (جدول ۱). با افزایش میزان سالیسیلیک اسید در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار، میزان نسبی کلروفیل برگ نسبت به شاهد ۲۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر میزان کلروفیل ($p \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش میزان آب آبیاری شاخص کلروفیل برگ تا سطح $45/49$ افزایش یافت (جدول ۳). میسرا و سریقاستاتوا (Misra and Sricastatva, 2000) گزارش کردند که تنش خشکی باعث تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. در اثر خشکی، تشکیل پلاستیدهای جدید کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتن، یولوگزانتین و نفوگزانتین کاهش می‌یابد (Kafi et al., 2009). اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم‌آبیاری بر میزان کلروفیل برگ

چسبناکی بر سطح برگ‌ها ایجاد کرد، و به نظر می‌رسد که احتمالاً تعدادی از روزنه‌های گیاه در اثر محلول‌پاشی بسته شدند و در نتیجه با افزایش میزان سالیسیلیک اسید میزان هدایت روزنه‌ای در بوته‌های همیشه بهار کاهش یافت. اثر تیمارهای کم آبیاری بر هدایت روزنه‌ای ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین هدایت روزنه‌ای را تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی داشت، به این ترتیب روزنه‌ها در شرایط کم آبی بسته‌تر شدند و این یکی از راه‌های گیاه برای مقابله با شرایط کم آبی است (جدول ۳). تنش رطوبتی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای برگ می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت مزوفیلی و غلظت کلروفیل ممکن است بر این موضوع دلالت داشته باشد که کاهش غلظت کلروفیل عامل مهمی در کاهش هدایت مزوفیلی است (Kafi et al., 2009). اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر هدایت روزنه‌ای برگ معنی‌دار نبود (جدول ۱).

($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به همراه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میانگین شاخص کلروفیل را داشت (شکل 1f). همچنین گزارش شد که تیمار بذور لوبیا چشم بلبلی با سالیسیلیک اسید موجب افزایش محتوای کلروفیل گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Pak Mehr, 2009). کاربرد سالیسیلیک اسید (۲۰ میلی‌گرم در لیتر) به قسمت‌های برگ گیاه کلزا (*Brassica napus*) میزان کلروفیل را افزایش داد (Ghani et al., 2002).

هدایت روزنه‌ای

تاثیر سالیسیلیک اسید بر هدایت روزنه‌ای ($p \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سالیسیلیک اسید میزان هدایت روزنه‌ای نسبت به شاهد ۳۵ درصد کاهش یافت (جدول ۲). با توجه به این‌که تیمارهای سالیسیلیک اسید در طی دوره تیماردهی روی بوته و برگ‌های بوته محلول‌پاشی شدند، این ماده در اواخر فصل رشد حالت

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار تحت تاثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید در شرایط گلخانه‌ای

Table 2. Means comparisons of growth attributes and yield of calendula as affected by salicylic acid treatments in greenhouse conditions

وزن تر بوته (گرم)	تعداد گل در بوته	تعداد ساقه فرعی در بوته	طول ساقه فرعی (سانتی‌متر)	طول ساقه اصلی (سانتی‌متر)	تعداد برگ در بوته (سانتی‌مترمربع)	سطح برگ در بوته (سانتی‌مترمربع)
plant fresh weight (gr)	flowers per plant	lateral branches per plant	length of lateral stem (cm)	length of main stem (cm)	leaves per plant	leaf area per plant (cm ²)
6.11 ^b	4.88 ^b	1.77 ^b	13.88 ^a	15.33 ^a	20.66 ^b	79.11 ^c
7.00 ^{ab}	6.55 ^a	3.00 ^a	16.44 ^a	16.66 ^a	26.44 ^a	139.66 ^a
8.44 ^a	6.11 ^{ab}	3.11 ^a	14.44 ^a	16.55 ^a	22.55 ^{ab}	116.44 ^b

جدول ۲. ادامه

Table 2. continued

تعداد بذر در بوته	وزن خشک بذر (گرم)	عملکرد کوانتومی	هدایت روزنه‌ای (مترمربع بر ثانیه)	شاخص کلروفیل	وزن خشک گل در بوته (گرم)	وزن خشک بذر در بوته (گرم)
seeds per plant	seed dry weight	quantum yield	Stomatal conductance (m ² s ⁻¹)	spad	flowers dry weight per plant (gr)	plant dry weight (gr)
2.88 ^b	0.03 ^c	0.66 ^b	30.39 ^a	37.05 ^b	0.19 ^b	1.33 ^b
5.22 ^a	0.08 ^a	0.72 ^{ab}	22.21 ^b	40.55 ^b	0.29 ^a	1.55 ^{ab}
3.77 ^b	0.06 ^b	0.76 ^a	19.62 ^b	46.56 ^a	0.28 ^a	1.80 ^a

در هر ستون اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

In each column, similar letters have no statistical difference based on Duncan test at ($P \leq 0.05$).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار تحت تاثیر سطوح مختلف کم آبیاری در شرایط گلخانه‌ای.

Table 3. Means comparisons of growth attributes and yield of calendula as affected by different deficit irrigation treatments in greenhouse conditions.

Irrigation level (% of field capacity)	leaf area per plant (cm ²)	leaves per plant	length of main stem (cm)	length of lateral stem (cm)	lateral branches per plant	flowers per plant	plant fresh weight (gr)
25	57.22 ^c	16.55 ^c	12.33 ^b	8.00 ^b	1.66 ^b	4.66 ^b	4.44 ^c
50	130.44 ^b	23.33 ^b	16.44 ^a	17.66 ^a	2.77 ^a	7.77 ^a	7.22 ^b
100	147.55 ^a	29.77 ^a	19.77 ^a	19.11 ^a	3.44 ^a	5.11 ^b	9.88 ^a

Table 3. continued

Irrigation level (% of field capacity)	flowers dry weight per plant (gr)	plant dry weight (gr)	spad	Stomatal conductance (m ² s ⁻¹)	quantum yield	seed dry weight	seeds per plant
25	0.20 ^b	1.05 ^c	34.60 ^b	20.02 ^b	0.65 ^b	0.04 ^b	2.44 ^b
50	0.25 ^{ab}	1.41 ^b	44.08 ^a	23.47 ^{ab}	0.73 ^a	0.07 ^a	6.88 ^a
100	0.31 ^a	2.22 ^a	45.49 ^a	28.72 ^a	0.76 ^a	0.05 ^b	2.55 ^b

در هر ستون اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

In each column, similar letters have no statistical difference ($p \leq 0.05$) based on Duncan test.

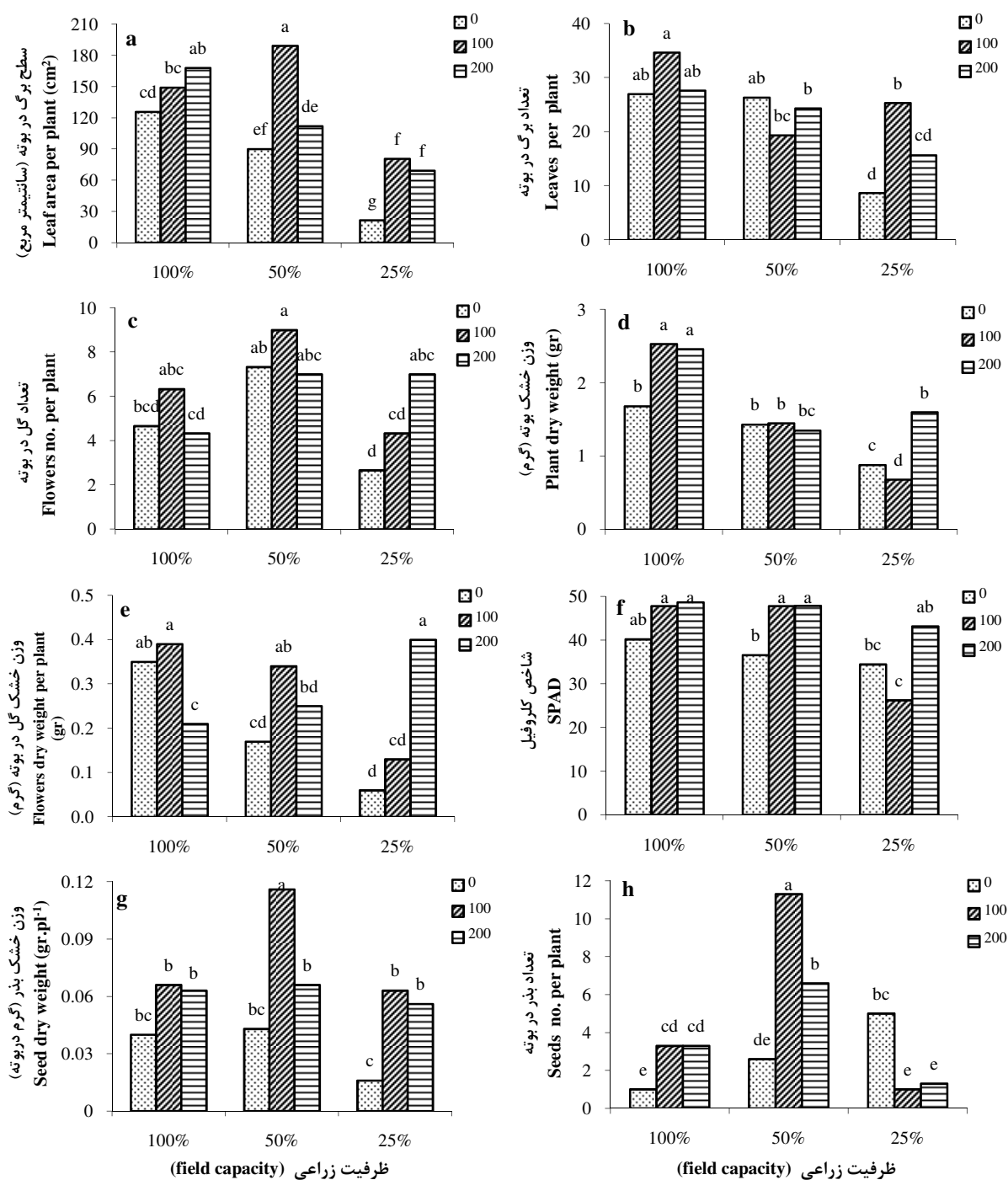
عملکرد کوانتومی

عملکرد کوانتومی و فتوسنتز تحت تاثیر سالیسیلیک اسید معنی‌دار ($p \leq 0.01$) شد (جدول ۱). با افزایش میزان سالیسیلیک اسید عملکرد کوانتومی افزایش یافت، به طوری که عملکرد کوانتومی در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد ۱۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). از آنجایی که در سنتز آنتی اکسیدان‌ها هورمونهای اتیلن، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید نقش دارند، به نظر می‌رسد در این بررسی سالیسیلیک اسید با تولید آنتی-اکسیدان‌ها، عملکرد کوانتومی را افزایش داد. تیمار کم آبیاری تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر عملکرد کوانتومی گیاه همیشه بهار داشت (جدول ۱)، به طوری که تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین عملکرد کوانتومی را داشت (جدول ۳). احتمالاً به دلیل نقش اساسی مولکول آب در فرآیند فتوسنتز، با کاهش آب آبیاری عملکرد کوانتومی و

فتوسنتز در گیاه همیشه بهار تا حدودی کاهش یافت. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر عملکرد کوانتومی معنی‌دار نبود (جدول ۱).

وزن خشک بذر

تاثیر سالیسیلیک اسید بر وزن خشک بذر در بوته معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین میانگین وزن خشک بذر در بوته را داشت و نسبت به شاهد تا ۱/۵ برابر افزایش نشان داد. تاثیر تیمارهای کم آبیاری بر وزن خشک بذر در بوته معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۱). تیمار کم آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میانگین وزن خشک بذر در بوته را داشت که نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) ۴۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).



شکل ۱. اثرات متقابل معنی‌دار سالیسیلیک اسید و کم آبی بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula Officinalis* L.) در شرایط گلخانه‌ای. (a) سطح برگ در بوته؛ (b) تعداد برگ در بوته؛ (c) تعداد گل در بوته؛ (d) وزن خشک بوته؛ (e) وزن خشک گل در بوته؛ (f) شاخص کلروفیل؛ (g) وزن خشک بذر؛ (h) تعداد بذر در بوته.

Figure 1. Significant interactions between salicylic acid and deficit irrigation on growth parameters and yield of calendula (*Calendula Officinalis* L.) in greenhouse conditions. (a) leaf area per plant; (b) leaves per plant; (c) flowers no per plant; (d) plant dry weight; (e) flowers dry weight plant; (f) SPAD; (g) seeds dry weight; and (h) seeds no. per plant.

بنابراین نسبت به شرایط مزرعه، بوته‌ها از فضای کمتری برای گسترش ریشه برخوردار بودند و شرایط مطلوبی برای رشد و نمو نداشتند، در نتیجه تعداد بذر کمتری تولید شد، همچنین منظور از اجرای این آزمایش مشاهده تاثیر سطوح مختلف سالیسیلیک اسید و کم آبی بر شاخص‌های رشد گیاه همیشه بهار بود. در یک بررسی که روی گیاه همیشه بهار انجام گرفت، با افزایش آب تبخیر شده از سطح تشتک و قرارگرفتن گیاه در معرض تنش خشکی، عملکرد دانه تا ۳ برابر، وزن هزار دانه تا ۲ برابر و تعداد دانه در طبق کاهش یافتند (Rahmani et al., 2008).

نتیجه گیری

به‌کارگیری سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت گیاه همیشه بهار در مقابل کم آبیاری در بیشتر خصوصیات گیاه به‌طور یکسان تاثیر نداشت. به‌طور کلی سالیسیلیک اسید باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی (تعداد گل در بوته، تعداد برگ و سطح برگ) و فیزیولوژیکی (شاخص کلروفیل، وزن خشک و وزن تر بوته و عملکرد کوانتومی) گیاه همیشه بهار در شرایط کم آبیاری شد، اما هدایت روزنه‌ای را کاهش داد. به‌نظر می‌رسد با به‌کارگیری سالیسیلیک اسید در شرایط کم‌آبی، به‌دلیل توانایی سالیسیلیک اسید در تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در زمان تنش و بر ضد اکسیژن‌های فعال، فتوسنتز گیاه بهبود یافت و در نتیجه مقاومت گیاه در مقابل شرایط کم آبیاری افزایش یافت. بدین ترتیب با بهبود رشد و نمو گیاه تولید بذر افزایش پیدا کرد، به طوری که به‌کارگیری میزان ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطح کم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، موجب تولید بیشترین تعداد گل در بوته، تعداد بذر و وزن خشک بذر شد.

اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بر وزن خشک بذر در بوته داشت (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میانگین را داشت که نسبت به شاهد تا ۱/۹ برابر افزایش نشان‌داد (شکل 1g). از آنجایی که تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز در برگ‌ها می‌شود، مواد فتوسنتزی کمتری در بذرهای گیاه نیز ذخیره شده و در نتیجه وزن خشک بذرهای کاهش می‌یابد، احتمالاً در این آزمایش سالیسیلیک اسید با کاهش اثرات تنش بر شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی تا حدودی مانع کاهش فتوسنتز و تولید و وزن خشک بذر شده بود.

تعداد بذر در بوته

تعداد بذر در بوته تحت تاثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۱). تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین میانگین تعداد بذر در بوته را داشت که نسبت به شاهد ۸۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). تعداد بذر در بوته تحت تاثیر تیمارهای کم آبیاری ($p \leq 0.01$) نیز قرار گرفت (جدول ۱). تیمار کم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین میانگین تعداد بذر در بوته را داشت که نسبت به شاهد تا ۱/۷ برابر افزایش نشان داد (جدول ۳). اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری بر تعداد بذر در بوته معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۱). تیمارهای ۱۰۰ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین تعداد بذر در بوته را با میانگین ۱۱/۳ داشت (شکل 1h). با در نظر گرفتن این که در این آزمایش تعداد گل در بوته در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میانگین را داشت، در نتیجه احتمالاً بیشترین تعداد بذر را به همراه داشته است. با توجه به این نکته که آزمایش در گلخانه انجام شد،

منابع

- Abdel-Wahed, M.S.A., Amin, A.A., Rashed, M., 2006. Physiological effect of some chemical constituents of yellow maize plants. *World J. Agri. Sci.* 2(2), 149-155.
- Agarwal, S., Sairam, R.K., Srivastava G.C., Meena, R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plant.* 49, 541-550.
- Ahmadi, A., Baiker, A., 2000. Stomatal and nonsatomatic limitation of photosynthesis under water stress condition in Wheat plant. *Iranian J. Agric. Sci.* 31(4), 813-825. [In Persian with English summary].
- Aldesuquy, H. S., Ibrahim, A. H., 2001. Interactive effect of seawater and growth bio-regulators on water relations, abscisic acid concentration, and yield of wheat plants. *J. Agron. Crop Sci.* 187, 185-193.
- Bayat, H., Aroyi, H., Mardani, H., Selahvarzi, Y., 2010. Effect of Seed application of salicylic acid on morphological and physiological properties cucumber seedling (*Cucumis sativus*) under drought stress conditions. Proceeding of the first National Conference on Sustainable Agriculture and Cleaner Products. 11-12 Nov. Isfahan Research Center of Agriculture and Natural Resources. [In Persian].
- Blum, A., 1996. Crop response to drought and the interpretation adaptation. *Plant Growth Regul.* 20, 135-148.
- Borsani, O., Valpuesta, V., 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 Physiol.* 126, 1024-1030.
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C.P.P., Osorio, M.L., Carvalho, I., Faria, T., Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.* 89, 907-916.
- Dat, J.F., Lopez-Delgado, H., Foyer, C.H., Scott, I.M., 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiol.* 116, 1351-1357.
- Ghaderi, N., Talayi, A., Ebadi, A., Lesani, H., 2010. Effect of drought stress and reirrigation on some physiological properties of grape varieties Sahany, Farokhi and white currants. *Iranian J. Hortic. Sci.* 41(2), 179-188. [In Persian with English summary].
- Ghani N., Setia R.C., Setia, N., 2002. Effects of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL 1). *Phytomorphol.* 52, 83-87.
- Glass, A.D.M., 1975. Inhibition of phosphate uptake in barley roots by hydroxy-benzoic acids. *Phytochem.* 14, 2127-2130.
- Glass, A.D.M., Dunlop, J., 1974. Influence of phenolic acids on phosphate uptake. IV Depolarization of membrane potentials. *Plant Physiol.* 54, 855-858.
- Gutierrez-Coronado, M., Trejo, C.L., Larque-Saavedra, A., 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 36, 563-565.
- Kafi, M., Borzooe, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., Nabati, J., 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants (translated). Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) Press, Mashhad.

- Khalida, K.A., Teixeira da Silva, J.A., 2010. Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. *Sci. Hort.* 126, 297-305.
- Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., Azizi, G., 2004. The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. *Iranian J. Field Crops Res.* 2(1), 89-105. [In Persian with English summary].
- Malamy, J., Klessig, D.F., 1992. Salicylic acid and plant disease resistance. *Plant J.* 2, 645-654.
- Mardani, H., Bayat, H., Selahvarzi, Y., Azizi, M., 2010. Effect of Foliar spray of salicylic acid on morphological and physiological properties cucumber seedling (*Cucumis sativus*) under drought stress conditions. *Proceeding of the first National Conference on Sustainable Agriculture and Cleaner Products.* 11-12 Nov. Isfahan Research Center of Agriculture and Natural Resources. [In Persian].
- Martin, R.J., Deo, B., 2000. Effect of plant population on *Calendula officinalis* flower production. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 28(1), 37-44.
- Medrano, H., Escolana, J.M., Bota, J., Gulias, J., Flexas, J., 2002. Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Ann. Bot.* 89, 895-905.
- Misra, A., Sricastatva, N.K., 2000. Influence of water stress on Japanese mint. *J. Herbs Spices Med. Plants.* 7, 51-58.
- Nilsen, E. T., Orcutt, R. M., 1996. *Physiology of Plants under Stress (Abiotic Factors)*. John Wiley and Sons. New York. pp. 322-361.
- Pak Mehr, A., 2009. Priming effect of salicylic acid on some morphological and physiological properties of cowpea under water stress. MSc thesis, Faculty of Agriculture, Zanzan University. [In Persian with English Summary].
- Pereira, J.S., Chaves, M.M., 1995. Plant responses to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystems. In: Moreno, J.M., Oechel, W.C. (eds). *Global Change and Mediterranean-type Ecosystems.* Ecology Studies. Vol. 117. Springer- veralge, Berlin, 140-160.
- Poor Akbar, L., Nojavan Asghari, M., 2004. Effect of salicylic acid in cold resistance in radish seedlings. *J. Sci. Tarbiat Moallem.* 4(3), 409-420. (In Persian)
- Rahmani, N., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., Bigdeli, M., 2008. The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian J. Med. Arom. Plants.* 24(1), 101-108. [In Persian with English Summary].
- Rahmani, N., Taherkhani, T., Daneshian, J., 2009. Effect of nitrogen application on physiological yield indexes under conditions of drought stress in calendula medicinal plants (*Calendula Officinalis* L.). *New Findings in Agriculture.* 4, 355-365. [In Persian with English Summary].
- Rajasekaran, L.R., Blake T.J., 1999. New plant growth regulators protect photosynthesis and enhance growth under drought of jack pine seedlings. *J. Plant Growth Reg.* 18, 175-181.
- Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43, 439-463.

- Sairam, R.K., Deshmukh, P.S., Shukla, D.S., 1997. Tolerance to drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 178, 171-177.
- Seghat Al-Eslami, M.J., Mousavi, Gh.R., 2008. Effect of sowing date and plant density on grain and flower yield of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian J. Field Crops Res.* 6(2), 263-269. [In Persian with English Summary].
- Shabani, L., Ehsanpour, A.A., 2009. Induction of antioxidant enzymes, phenolic and flavonoid compounds in *in vitro* culture of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) using methyl jasmonate and salicylic acid. *Iranian J. Biol.* 22(4), 691-703. [In Persian with English Summary].
- Shakirova, F., Sakhabutdinova, A., Bezrukova, M., Fatkhutdinova, R., Fatkhutdinova, D., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci.* 164, 317-322.
- Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C. L., Munjal, R., 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. *Biol. Planta.* 48(3), 445-448.
- Siddique, K. H. M., Walton, G. H., Seymour, M., 1993. Comparison of seed yields of winter grain legumes in Western Australia. *Aus. J. Express Agric.* 33, 915-922.
- Srivastava, M.K., Dwivedi, U.N., 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci.* 158, 87-96.
- Szepesi, Á., Csiszár, I., Bajkán, S., Gémes, K., Horváth, F., László, E., Deér, A.K., Simon, M.L., Tari, I., 2005. Role of salicylic acid pretreatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. *Acta Biol. Szegediensis.* 49, 123-125.
- Tiaz, L., Zeiger, E., 1998. *Plant Physiology*, (2nd). Sinauer Associates Inc., Massachusetts.
- Yalpani, N., Raskin, I., 1993. Salicylic acid: A systemic signal in plant disease resistance. *Trend Microbiol.* 1, 88-92.
- Yu, L.J., Lan, W.Z., Qin, W.M., Xu, H.B., 2001. Effects of salicylic acid on fungal elicitor induced membrane-lipid peroxidation and taxol production in cell suspension cultures of *Taxus chinensis*. *Process. Biochem.* 37, 477-82.
- Zabet, M., Hosein Zade, A.H., Ahmadi, A., Khialparast, F., 2003. Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). *J. Agric. Sci. Iran.* 34(4), 889-899. [In Persian with English Summary].