نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان ۹۳
۱۶۱-۱۷۸
http://ejcp.gau.ac.ir

اثر سالیسیلیک‌اسید بر کلروفیل، برخی خصوصیات رشدی و عملکرد دو رقم کلزا

حامد کشاورز[۱] و *سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی[۲]

[۱و۲] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استاد گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹//۲

چکیده

تنظیم کننده‌های رشدی نقش حیاتی در طی مراحل رشد و نموی گیاهان ایفا می‌کنند و کاربرد آن‌ها می‌توانند باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاهان شوند. در این آزمایش، امکان بهبود رشد گیاه کلزا با سالیسیلیک‌اسید در طی دو مرحله محلول‌پاشی و تأثیر آن بر میزان کلروفیل، عملکرد و اجزا عملکرد مورد بررسی قرار گرفت. سالیسیلیک‌اسید در چهار غلظت صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرومول در دو مرحله (زمان محلول‌پاشی اول در پاییز و محلول‌پاشی دوم در اواخر زمستان) در دو رقم کلزا لیکورد و آر جی اس (به‌ترتیب مقاوم و حساس به سرما) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار محلول‌پاشی گردید. تمام غلظت‌های سالیسیلیک‌اسید باعث بهبود عملکرد کلزا شد، اما غلظت ۲۰۰ میکرومول در مقایسه با دیگر غلظت‌ها بیشترین تأثیر را داشت. بیشترین میزان کلروفیل کل در مرحله دوم محلول‌پاشی در رقم مقاوم با محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد. محلول‌پاشی با ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش عملکرد بذر شد. بیشترین ارتفاع بوته، وزن ۱۰۰ دانه و وزن خشک اندام هوایی در رقم مقاوم کلزا به‌دست آمد. بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد بذر در غلاف در رقم لیکورد با غلظت ۲۰۰ میکرومول سالیسیلیک‌اسید در مرحله اول محلول‌پاشی مشاهده شد. همچنین تیمار سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش ۱۳ درصدی عملکرد بذر شد. از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که سالیسیلیک‌اسید با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، سبب افزایش عملکرد گیاه کلزا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه‌های فتوسنتزی، سالیسیلیک‌اسید، عملکرد دانه، کلزا

*مسئول مکاتبه: Modaresa@modares.ac.ir

مقدمه

فتوسنتز فرآیندی است که نقش اساسی را در عملکرد گیاهان زراعی بازی می‌کند (فیویل و همکاران، ۱۹۹۹). وزن کل اندام هوایی و عملکرد گیاهان رابطه مستقیمی با میزان فتوسنتز دارد و افزایش کارایی فتوسنتز می‌تواند منجر به افزایش عملکرد شود. مکان اصلی فتوسنتز، برگ‌های سبز گیاهان می‌باشد که میزان تولید آن‌ها بستگی به فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی (به‌ویژه کلروفیل)، نور و توانایی گیاه در تثبیت CO_2 دارد (هیروس و همکاران، ۱۹۹۷). میزان عملکرد بالای رقم‌های اصلاح شده نسبت به رقم‌های قدیمی مربوط به توانایی آن‌ها در تولید و انتقال بهتر مواد پرورده از منبع به مخزن‌های گیاه می‌باشد (فیور و همکاران، ۱۹۹۷). به‌همین دلیل سال‌هاست که افزایش کارایی فتوسنتز از اصلی‌ترین برنامه‌های پژوهشگران در زمینه کشاورزی می‌باشد.

سالیسیلیک‌اسید از جمله ترکیبات فنولیکی است که نقش تنظیم‌کنندگی در فرآیندهای زیستی و بیوشیمیایی گیاهان دارد (خان و همکاران، ۲۰۰۳)، که از آن جمله می‌توان به تنظیم تعرق، بسته شدن روزنه‌ها، تراوایی غشاء، رشد و فتوسنتز اشاره کرد (خان و همکاران، ۲۰۰۳؛ شاکیرووا و همکاران، ۲۰۰۳). به‌طورکلی، یافته‌های پژوهش‌گران نشان می‌دهد که این ترکیب از جوانه‌زنی تا پیری گیاه، می‌تواند تأثیر گذار باشد و منجربه افزایش کارایی فتوسنتز و محصول نهایی می‌گردد. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از تأثیر غیر قابل انکار سالیسیلیک‌اسید و دیگر مشتقات سالیسیلات بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه می‌باشد. میزان این تغییرات بسیار متفاوت بوده و ممکن است در بعضی واکنش‌ها تحریک کننده، در بعضی تسریع کننده و در بعضی دیگر متوقف کننده باشد (راسکین، ۱۹۹۲). پژوهش‌های گذشته نشان داده است که استفاده از سالیسیلیک‌اسید در گیاهان زراعی باعث بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد می‌شود (زآو و همکاران، ۱۹۹۵)، که ناشی از تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه است. افزایش در تعداد غلاف در گیاهان سویا و باقلا و همچنین افزایش عملکرد در گندم از جمله این نتایج است (کریشنا و همکاران، ۲۰۰٤؛ تمام، ۲۰۰۳؛ کایدان و همکاران، ۲۰۰۷).

همچنین، زو و همکاران (۱۹۹۹) افزایش ۹ درصدی وزن دانه در اثر تیمار اسیدسالیسیلیک نسبت به تیمار ساکارز و آب مقطر را ناشی از انتقال بیشتر آسیمیلات‌ها و مواد حاصل از فتوسنتز به دانه‌ها عنوان کردند. یکی دیگر از نقش‌های متعدد ترکیبات فنولیکی ممانعت از تجزیه هورمون اکسین (از طریق غیرفعال کردن آنتی‌اکسین‌ها) می‌باشد (رد و همکاران، ۱۹۹۸). از طرفی، اکسین با افزیش میزان

فتوسنتز خالص، باعث افزیش رشد گیاه می‌شود (زآو و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین، در سطح سلولی باعث افزیش میزان RNA، میزان سنتز پروتئین و آنزیم‌های مربوط به رشد می‌گردد. به‌علاوه، نقش سالیسیلیک‌اسید در فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز به اثبات رسیده است (شانکار و همکاران، ۲۰۰۱). بر اساس گزارش‌های موجود، غلظت ۱۰ میکرومول سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش فعالیت نیترات‌ردوکتاز نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد (احمد و همکاران، ۲۰۰۱). این مساله نشان‌دهنده تأثیر سالیسیلیک‌اسید در فرآیند جذب نیتروژن می‌باشد. شاید این شبه هورمون با تأثیر بر فعالیت دیگر هورمون‌ها (Cl-IAA, IAA) موجب افزیش فعالیت نیترات‌ردوکتاز در گیاهانی می‌شود که قادر به تثبیت نیتروژن نیستند و نیتروژن مورد نیاز خود را از خاک به شکل نیترات (NO_3) یا آمونیم (NH_4^+) جذب می‌کنند (شانکار و همکاران، ۲۰۰۱؛ احمد و همکاران، ۲۰۰۱).

گیاهان در تمام طول دوران زندگی خود با انواع مختلفی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند. یکی از روش‌های مقابله با این تنش‌ها استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی می‌باشد که از طرفی باعث فعالیت بیشتر مکانیسم‌های دفاعی گیاه و مقابله با تنش می‌شود و از طرف دیگر می‌تواند در بهبود خسارت‌های وارد شده به گیاه نقش مؤثری داشته باشد. سالیسیلیک‌اسید یکی از موادی می‌باشد که به‌عنوان یک شبه هورمون در گیاه شناخته شده است. اخیرا توجه زیادی به این شبه هورمون و نقش آن در تنش‌های غیرزیستی مانند ازون (کوچ و همکاران، ۲۰۰۰)، UV-B (سورپلاس و همکاران، ۱۹۹۸)، تنش‌های دمایی و حرارتی (کلارک و همکاران، ۲۰۰٤)، خشکی (ساین و اوشا، ۲۰۰۳) و تنش شوری (بورسانی و همکاران، ۲۰۰۱) شده است که حاکی از تأثیر مثبت آن بر رشد گیاه در شرایط بروز تنش‌های محیطی می‌باشد.

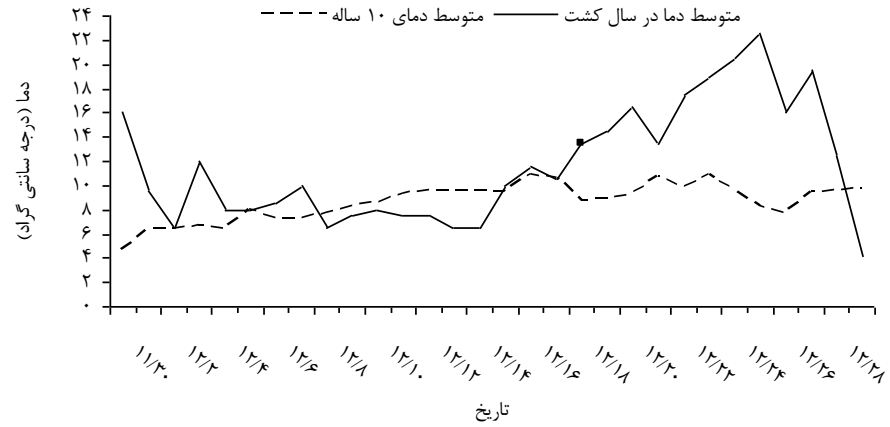
با توجه به گزارش‌های یاد شده، این پژوهش جهت بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و تغییرات احتمالی ناشی از تأثیر این شبه هورمون بر ظرفیت فتوسنتزی و توانایی تغییر در عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه در دو رقم کلزا با مقاومت متفاوت به سرما در شرایط مزرعه‌ای انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، با موقعیت طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤٤ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۱۲۱۵ مترارتفاع از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های

کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. رقم در دو سطح (آر جی اس: بهاره و حساس به سرما و لیکورد : پاییزه و مقاوم به سرما) و سالیسیلیک‌اسید در ٤ سطح صفر (شاهد)، ١٠٠، ٢٠٠ و ٤٠٠ میکرومول در دو زمان محلول‌پاشی گردید. زمان محلول‌پاشی اول (شکل ١) با توجه به نزدیک شدن دما به محدوده دمایی ٧-١٠ درجه سانتی‌گراد (مرحله روزت) و محلول‌پاشی دوم (شکل ٢) با نزدیک شدن دما به محدوده دمایی ٧-١٠ درجه سانتی‌گراد در اواخر زمستان (همراه با ساقه رفتن گیاه) با توجه به آمار ١٠ ساله منطقه و داده‌های ایستگاه هواشناسی واقع در دانشکده کشاورزی تعیین گردید.

شکل ١- متوسط دمای روزانه در فصل کشت و دمای ١٠ ساله کرج. نقطه مشخص شده زمان محلول‌پاشی می‌باشد.



شکل ٢- متوسط دمای روزانه در فصل کشت و دمای ١٠ ساله کرج. نقطه مشخص شده زمان محلول‌پاشی می‌باشد.

قبل از اجرای آزمایش، برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ای از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری (جدول ۱) خاک تهیه و نیاز کودی گیاه بر اساس آن انجام شد. پس از اجرای عملیات شخم و ماله در زمین جهت کنترل علف‌های هرز، مزرعه با علفکش ترفلان (تری فلورالین به‌میزان ۳/۵ کیلوگرم در هکتار) تیمار شد و سپس به‌وسیله دیسک و فاروئر با خاک مخلوط گردید و بعد از یک هفته هر دو رقم در ۱۰ مهر ماه ۱۳۸۸ در کرت‌های آزمایشی کشت گردید. بذرهای مورد استفاده در کرت‌هایی به طول پنج و عرض دو متر در شش ردیف کشت گردید (سه پشته که کشت در هر دو طرف آن انجام شد). فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها حدود ٤ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (نزدیک به ۷۲۰ هزار بوته در هکتار). مساحت هر کرت حدود ۸/٤ مترمربع (٤×۲/۱ متر) و هر کرت شامل ٦ ردیف کاشت به طول ۵ متر بود. کرت‌ها ابتدا به‌صورت دستی و متراکم کشت شدند و سپس در مرحله ۵ برگی گیاهان تنک گردیدند. فاصله‌ای به اندازه ۱/۵ متر بین بلوک‌ها و ۷۵ سانتی‌متر بین کرت‌ها، به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای آزمایشی و سایر مراحل اجرای آزمایش محاسبه گردید.

جدول ۱- مشخصات عمومی خاک محل اجرای آزمایش.

خصوصیات خاک	عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۲۳
اسیدیته (pH)	۷/٤۵
آهک (درصد)	۱۷/۷۳
کربن آلی (درصد)	۱/۵۸
ازت (درصد)	۰/۱۵
رس (درصد)	۷
لای (درصد)	۱۳
ماسه (درصد)	۸۰
بافت	لوم شنی
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۱۹/۲
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۹۰۸
آهن قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۷/٤۸
روی قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۸/۸
منگنز قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۹/۰۷

برای سنجش غلظت کلروفیل، نمونه‌گیری از کرت‌ها هم‌زمان با ساقه رفتن گیاهان صورت گرفت. نمونه‌گیری از برگ‌های بالغ با موقعیت مشابه انجام شد. بلافاصله بعد از نمونه‌گیری، نمونه‌ها درون فویل آلمینیومی پیچیده و درون نیتروژن مایع انداخته شدند و سپس تمام نمونه‌ها تا انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی درون فریزر ٨٠- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردیدند. جهت تهیه عصاره، ٠/٢ گرم برگ در استون ٨٠ درصد سائیده شد. سپس عصاره حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و تا رسیدن به حجم ٢٥ میلی‌لیتر و استخراج کامل کلروفیل، به آن استون اضافه گشت. جذب نوری کلروفیل a و b به‌ترتیب در طول موج‌های ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر خوانده شد و با استفاده از فرمول مربوطه (رابطه ١)، غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (آرنون، ١٩٤٩).

کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) = (٠/٠١٢٧) × (A ٦٦٣) − (٠/٠٠٢٦٩) × (A ٦٤٥)

کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) = (٠/٠٢٢٩) × (A ٦٤٥) − (٠/٠٠٤٦٨) × (A ٦٦٣)

کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) = (٠/٠٢٠٢) × (A ٦٤٥) + (٠/٠٠٨٠٢) × (A ٦٦٣)

رابطه ١- فرمول محاسبه میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل.

به‌منظور بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد، برداشت به‌صورت دستی و به کمک داس از فاصله ٤ تا ٥ سانتی‌متری سطح زمین، هنگامی‌که ٣٠ تا٤٠ درصد بذور از حالت سبز به قهوه‌ای تا سیاه (BBCH 40) تغییر رنگ داده بودند، (٤ تیرماه ١٣٨٩) انجام گرفت (میر، ٢٠٠١). مساحت برداشت شده هر کرت از ٤ ردیف میانی با لحاظ کردن اثر حاشیه، ١ مترمربع بود. بوته‌های برداشت شده سپس به دانه و کاه تقسیم گردید و در آون ٦٠ درجه سانتی‌گراد برای مدت ٧٢ ساعت قرار داده شدند. عملکرد دانه بر اساس رطوبت ١٠ درصدی دانه محاسبه گردید. جهت تعیین اجزاء عملکرد از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت، ٨ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و سپس به‌ترتیب ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف در بوته اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در غلاف، از هر کرت ٤٠ غلاف به‌طور تصادفی انتخاب و پس از بوجاری و شمارش تعداد بذرهای موجود در آن‌ها، متوسط تعداد دانه در غلاف برای هر واحد آزمایشی مشخص شد. برای تعیین وزن ١٠٠ دانه نیز دو نمونه ٥٠ تایی از بذرهای هر یک از کرت‌ها شمارش و وزن گردید و بر اساس آن، وزن ١٠٠ دانه محاسبه شد. جهت تعیین درصد روغن، پس از خشک کردن دانه‌ها، نمونه‌های مربوط به هر تیمار آسیاب شده و با استفاده از دستگاه

اینفراماتیک[1] مقدار روغن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. از نرم‌افزار SAS برای تجزیه واریانس داده‌ها و برای مقایسه میانگین‌ها داده‌ها از روش LSD (حداقل دامنه معنی‌دار) در سطح ۵ درصد استفاده شد. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تمامی مؤلفه‌های مورد بررسی (به‌جز تعداد شاخه جانبی، میزان روغن بذر و عملکرد کل بوته در هکتار) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رقم قرار گرفته‌اند. این در حالی بود که تیمار زمان محلول‌پاشی فقط در صفات کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار شد و در دیگر مولفه‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود؛ همچنین تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید نیز فقط در میزان رنگدانه‌ها، تعداد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد بذر در هکتار سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار شد. اثر متقابل رقم در زمان تنها در صفت کلروفیل b معنی‌دار شد و در بقیه صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. همچنین اثر متقابل رقم در غلظت نیز فقط در تعداد غلاف در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲)؛ این در حالی بود که بر هم کنش زمان در غلظت و نیز اثر متقابل رقم در زمان در غلظت به‌جز رنگدانه‌ها، تعداد غلاف و تعداد بذر در غلاف، در سایر متغیرها اختلاف معنی-داری نشان نداد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان کلروفیل a در رقم مقاوم در مرحله دوم محلول‌پاشی و با غلظت ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد اگرچه سایر تیمارهای از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند اما تیمار مذکور دارای بیشترین میزان کلروفیل a بود (جدول ۵)؛ اما میزان کلروفیل b در رقم حساس و در مرحله دوم محلول‌پاشی با غلظت ۲۰۰ میکرومول بیشترین میزان را نشان داد (جدول ۵) و مجموع این دو رنگدانه در رقم مقاوم و در مرحله دوم محلول‌پاشی با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول بیشترین غلظت را داشت، اگرچه با افزایش غلظت از ۱۰۰ به ۲۰۰ از میزان کلروفیل کل کاسته شد اما این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۵). بیشترین ارتفاع بوته در رقم مقاوم به‌دست آمد به طوری‌که رقم مقاوم دارای ارتفاعی حدود ۱۵ درصد بیشتر از رقم حساس بود و این در حالی بود که این صفت تحت تأثیر غلظت سالیسیلیک‌اسید و زمان محلول‌پاشی قرار نگرفت (جدول ۳). کمترین

1- Inframatic 8620 Percor (Germany)

تعداد غلاف مربوط به رقم حساس و محلول‌پاشی همزمان با شروع ساقه رفتن گیاه (زمان دوم محلول‌پاشی) در غلظت ٤٠٠ میکرومول مشاهده شد (جدول ٥).

تعداد بذر در غلاف تحت تأثیر اثر متقابل سه تیمار اعمال شده قرار گرفت و رقم مقاوم نسبت به رقم حساس دارای بیشترین تعداد بذر در غلاف بود. اگرچه بین زمان محلول‌پاشی و غلظت‌های تیمار شده در رقم مقاوم، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما بیشترین میزان این صفت مربوط به تیمار رقم مقاوم با غلظت ٢٠٠ میکرومول در زمان محلول‌پاشی اول بود که البته با وجود داشتن اختلاف با سایر تیمارهای رقم مقاوم، این اختلاف معنی‌دار نبود. (جدول ٥). وزن ١٠٠ دانه در رقم مقاوم نسبت به رقم حساس بیشتر بود (جدول ٣) که این اختلاف به حدود ٧/٥ درصد می‌رسید. همچنین، غلظت سالیسیلیک‌اسید در وزن ١٠٠ دانه مؤثر بود. به طوری‌که مصرف سالیسیلیک‌اسید در مقایسه با عدم مصرف آن سبب افزایش ١٧/٥ درصدی وزن ١٠٠ دانه شد، اما از نظر آماری بین غلظت‌های تیمار شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). تیمار ١٠٠ میکرومول بیشترین میزان عملکرد بذر را داشت و باعث افزایش حدود ١٣ درصدی عملکرد آن در مقایسه با تیمار عدم مصرف سالیسیلیک‌اسید شد. با این توصیف، افزایش غلظت سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش عملکرد بذر شد. به طوری‌که غلظت‌های ٢٠٠ و ٤٠٠ میکرومول با تیمار عدم مصرف اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ٤). وزن خشک اندام‌های هوایی فقط تحت تأثیر تیمار رقم قرار گرفت و رقم مقاوم کلزا با اختلاف ١٥/٥٢ درصدی نسبت به رقم حساس کلزا دارای بیشترین وزن خشک اندام هوایی بود (جدول ٣).

جدول ٣- مقایسه میانگین اثر اصلی رقم بر صفات مورد بررسی.

رقم	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن هزار دانه (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (تن در هکتار)
آر جی اس (حساس)	٩٣/٧^{b}	٣/٧^{b}	٨/٥٤^{b}
لیکورد (مقاوم)	١١٠/٣٠^{a}	٤/٠^{a}	١٠/١١^{a}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد آزمون LSD.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت تأثیر رقم، زمان محلول‌پاشی و غلظت سالیسیلیک‌اسید.

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد غلاف	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه	میزان روغن بذر	عملکرد بذر در هکتار	وزن خشک اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۱ ns	۴۰۱/۷۸ ns	۱۹/۵۲**	۱۷۰۵/۱۸**	۳۱۱/۰۶ ns	۰/۰۰۹ ns	۱۷/۹۶**	۰/۱۲ ns	۴/۴۱ ns
رقم	۱	۰/۲۹**	۰/۴۶**	۱/۴۹**	۳۳۰۶/۷۲**	۲/۴۲ ns	۹۰۷۵/۰۰**	۷۱۰۷۱/۰**	۰/۰۱۲*	۶/۹۷ ns	۰/۳۴ ns	۲۹/۵۶*
زمان	۱	۰/۴۹**	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۵۲**	۲۲/۴۱ ns	۴/۴۴ ns	۳۳/۳۳ ns	۹/۱۸ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۶/۶۷ ns	۰/۱۹ ns	۱۱/۲۹ ns
غلظت	۳	۰/۱۷**	۲/۸۲**	۴/۰۲**	۱۴۰/۸۱ ns	۱/۲۰ ns	۶۶۷/۸۶**	۴۷/۹۶ ns	۰/۰۱۵**	۰/۶۸ ns	۰/۳۶*	۴/۰۷ ns
رقم × زمان	۱	۰/۰۱ ns	۰/۱**	۰/۰۳ ns	۱۹/۲۶ ns	۲/۲۵ ns	۱۸۴/۰۸ ns	۳۰۵/۰۲ ns	۰/۰۰۰۵۷ ns	۰/۰۷ ns	۰/۰۹ ns	۲/۳۷ ns
رقم × غلظت	۳	۰/۰۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۲ ns	۲۰۰/۴۳ ns	۲/۵۹ ns	۱۶۳/۷۷**	۱۵۹/۲۴ ns	۰/۰۰۰۵۱ ns	۷/۵۱ ns	۰/۰۸ ns	۰/۳۳ ns
زمان × غلظت	۳	۰/۱۸**	۰/۰۵**	۰/۳۲**	۱۵۹/۳۷ ns	۱/۵۹ ns	۱۵۱۴/۷۷**	۱۲۵۱/۲۹*	۰/۰۰۰۰۵۷ ns	۱/۰۴ ns	۰/۱۵ ns	۰/۶۹ ns
رقم × زمان × غلظت	۳	۰/۰۵**	۰/۰۵**	۰/۱۶**	۲۱۲/۹۳ ns	۱/۰۹ ns	۱۳۱۰/۷۵**	۱۱۵۲/۹*	۰/۰۰۰۷ ns	۳/۹۷ ns	۰/۰۸ ns	۹/۰۷ ns
خطای آزمایشی	۳۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۱۲۵/۳۰	۱/۸۲	۱۵۷/۸۹	۳۱۲/۸۴	۰/۰۰۲۸	۲/۶۷	۰/۱	۴/۹۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۰۶	۸/۰۶	۴/۸۴	۱۰/۹۷	۲۳/۳۲	۲۰/۹۸	۹/۵۵	۱۳/۷۷	۳/۷۱	۱۹/۱۶	۲۳/۷۷

**، * و ns به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار می‌باشند.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلی غلظت بر صفات مورد بررسی.

غلظت (میکرومول)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد بذر در هکتار (تن در هکتار)
۰	٣/٣٢ b	١/٦٨ ab
١٠٠	٤/٠٣ a	١/٩٣ a
٢٠٠	٤/٠٠ a	١/٦٣ b
٤٠٠	٤/٠٨ a	١/٥٢ b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد آزمون LSD ندارند.

فتوسنتز فرآیندی فیزیولوژیک است که تأثیر به‌سزایی در رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد. از طرفی تنظیم‌کننده‌های رشد از طریق بهبود کارایی فرآیند فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و همچنین افزایش انتقال آسیمیلات‌ها از منبع به مخزن منجر به افزایش وزن خشک گیاه می‌شود. تأثیرات منفی که دمای پایین بر کلروپلاست و فتوسنتز دارد سبب کاهش توان دستگاه فتوسنتزی در تولید انرژی و آسمیلاسیون CO_2 در چرخه کالوین فتوسنتز گردیده و باعث کاهش تولید کربوهیدرات می‌شود (آلن و اُرت، ٢٠٠١)، که کاهش وزن خشک اندام هوایی در رقم حساس این موضوع را اثبات می‌کند. در زمان بروز تنش سرما انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک که گیرنده اصلی الکترون است ($NADP^+$) مختل شده و الکترون به مولکول اکسیژن منتقل می‌شود و در این زمان بالا بودن میزان کلروفیل باعث افزایش میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (دولت‌آبادیان و همکاران، ٢٠٠٨)، که یکی از راهکارهای گیاهان برای کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیمی به نام کلروفیلاز می‌باشد که باعث تجزیه کلروفیل می‌شود (حسیبی و همکاران، ١٣٨٦). از طرفی توانایی حفظ کلروفیل توسط گیاه تحت تنش می‌تواند سبب بهبود وضعیت رویش گیاهچه شود. همان‌طوری که در جدول مقایسه میانگین بعد از محلول‌پاشی اول (جدول ٥) نشان داده شده است، میزان کلروفیل در ارقام کلزای مورد مطالعه کاهش یافت اما در ارقام مقاوم کاهش کمتری در میزان کلروفیل مشاهده شد که نشان می‌دهد رقم مقاوم توانسته است که با مقدار کلروفیل بیشتر و با استفاده از مکانیسم دفاعی بهتر نسبت به رقم حساس، از تولید و اثرات منفی رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و با داشتن فتوسنتز و انرژی بیشتر باعث افزایش تحمل نسبت به تنش سرما شوند. همچنین، تیمار گیاهان با سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش میزان رنگدانه‌ها شد که احتمالاً به‌دلیل تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر میزان تولید رادیکال‌های آزاد می‌باشد که در نتیجه از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌شود. پوپووا و همکاران (١٩٩٧) نیز گزارش کردند که سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش مقدار کلروفیل در گیاه عدسک آبی[1] شد.

1- *Spirodela polyrhiza*

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت اثر متقابل رقم، زمان محلول‌پاشی و غلظت سالیسیلیک‌اسید.

رقم	زمان	غلظت (میکرومول)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	تعداد غلاف در بوته	تعداد بذر در غلاف
آر جی اس (حساس)	۱	۰	۰/۸۶ ^{g}	۰/۳۷ ^{h}	۱/۳۳ ^{d}	۴۴/۰۰ ^{cd}	۱۵/۳۳ ^{cd}
آر جی اس	۱	۱۰۰	۱/۵۳ ^{bcd}	۱/۳۸ ^{bc}	۲/۵۸ ^{abc}	۲۵/۶۷ ^{ef}	۱۳/۴۳ ^{de}
آر جی اس	۱	۲۰۰	۱/۴۳ ^{ed}	۱/۳۶ ^{c}	۲/۴۶ ^{abc}	۶۷/۶۷ ^{bc}	۱۳/۳۰ ^{e}
آر جی اس	۱	۴۰۰	۱/۴۴ ^{cd}	۰/۵۶ ^{g}	۲/۸۴ ^{abc}	۴۲/۶۷ ^{de}	۱۵/۶۳ ^{cd}
آر جی اس	۲	۰	۱/۵۶ ^{bcd}	۰/۷۰ ^{ef}	۲/۲۶ ^{abcd}	۵۲/۶۷ ^{cd}	۱۳/۹۰ ^{cde}
آر جی اس	۲	۱۰۰	۱/۶۴ ^{abc}	۱/۱۸ ^{d}	۲/۳۳ ^{abcd}	۳۸/۶۷ ^{def}	۱۶/۸۳ ^{c}
آر جی اس	۲	۲۰۰	۱/۴۲ ^{ed}	۱/۶۵ ^{a}	۲/۶۱ ^{abc}	۷۸/۰۰ ^{b}	۱۶/۵۰ ^{c}
آر جی اس	۲	۴۰۰	۱/۲۹ ^{ef}	۰/۵۱ ^{gh}	۱/۹۳ ^{de}	۱۹/۶۷ ^{f}	۱۲/۳۳ ^{e}
لیکورد (مقاوم)	۱	۰	۱/۲۲ ^{f}	۰/۸۲ ^{e}	۲/۲۸ ^{abcd}	۴۲/۳۳ ^{de}	۲۲/۶۶ ^{ab}
لیکورد	۱	۱۰۰	۱/۴۸ ^{cd}	۱/۵۲ ^{ab}	۲/۰۰ ^{bcd}	۷۹/۳۳ ^{b}	۲۱/۴۶ ^{ab}
لیکورد	۱	۲۰۰	۱/۵۱ ^{cd}	۱/۶۲ ^{a}	۲/۵۰ ^{abc}	۱۰۳/۳۳ ^{a}	۲۳/۴۶ ^{a}
لیکورد	۱	۴۰۰	۱/۵۲ ^{bcd}	۰/۸۳ ^{e}	۳/۰۰ ^{ab}	۸۰/۶۷ ^{b}	۲۳/۰۰ ^{ab}
لیکورد	۲	۰	۱/۶۲ ^{abc}	۰/۷۲ ^{ef}	۳/۰۱ ^{ab}	۷۰/۶۷ ^{bc}	۲۲/۰۳ ^{ab}
لیکورد	۲	۱۰۰	۱/۷۶ ^{a}	۱/۵۲ ^{ab}	۳/۱۵ ^{a}	۷۶/۶۷ ^{b}	۲۲/۴۳ ^{a}
لیکورد	۲	۲۰۰	۱/۶۹ ^{ab}	۱/۵۸ ^{a}	۲/۶۷ ^{abc}	۸۳/۶۷ ^{ab}	۲۰/۴۰ ^{b}
لیکورد	۲	۴۰۰	۱/۶۳ ^{abc}	۰/۶۴ ^{fg}	۲/۳۳ ^{abcd}	۵۲/۳۳ ^{cd}	۲۲/۳۶ ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD می‌باشند.

وزن ۱۰۰ دانه یکی از ارکان اصلی در بالا بردن عملکرد گیاهان می‌باشد و می‌توان افزیش وزن ۱۰۰ دانه را به‌دلیل بهبود در افزایش جذب عناصر غذایی، فرآیند فتوسنتز و انتقال بیشتر آسیمیلات‌ها از منبع به مخزن دانست که با یافته‌های دیگر محققان هم‌خوانی دارد (زو و همکاران، ۱۹۹۹؛ عرفان و همکاران، ۲۰۰۷؛ گریو و همکاران، ۱۹۹۲). این مطالب بیان‌گر آن هستند که تیمار سالیسیلیک‌اسید باعث افزیش عملکرد از طریق افزیش در تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه می‌شود (زو و همکاران، ۱۹۹۹). فیویل و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که میزان فتوسنتز با عملکرد گیاهان زراعی رابطه مستقیمی دارد. با توجه به‌این گزارشات می‌توان این گونه استدلال کرد که احتمالاً به‌خاطر بیشتر بودن میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در رقم مقاوم، میزان فتوسنتز و در نتیجه تولید مواد حاصل از فتوسنتز افزایش یافته که منجر به افزایش عملکرد نهایی شده است. این نتایج با یافته‌های به‌دست آمده توسط شاتینگ و همکاران (۱۹۹۷) مطابقت دارد که گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه در ارقامی به‌دست می‌آید که دارای میزان فتوسنتز بیشتری بودند.

تفاوت در رابطه بین ظرفیت فتوسنتزی و میزان رشد و عملکرد در ارقام مختلف یک گونه در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است (اشرف و بشیر، ۲۰۰۳). از نتایج این تحقیق می‌توان این‌گونه استنباط نمود که اثرات محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید وابسته به نوع گونه و رقم و همچنین غلظت سالیسیلیک تیمار شده می‌باشد که مطابق با یافته‌های دیگر محققان می‌باشد. برای مثال، بزروکووا و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که ۰/۰۵ میلی‌مول سالیسیلیک‌اسید که به شکل آبیاری تیمار شد، باعث بهبود رشد گندم گردید. در صورتی‌که همین مقدار سالیسیلیک‌اسید (۰/۰۵ میلی‌مول) در محلول غذایی گیاه جو اضافه شد که اثرات منفی بر رشد این گیاه داشت (متوالی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین، بر اساس گزارش محققان سالیسیلیک‌اسید توانایی افزایش در تعداد گل و دیگر اجزاء عملکرد گیاهان را دارا می‌باشد. برای مثال افزایش تعداد گل در باقلا و سویا (تمام، ۲۰۰۳؛ کریشنا و همکاران، ۲۰۰٤)، افزیش میزان کارایی فتوسنتز در جو (پانچه‌وا و همکاران، ۱۹۹٦)، ذرت (زو و همکاران، ۱۹۹۹) و سویا (خان و همکاران، ۲۰۰۳) و افزایش تعداد غوزه در گیاه پنبه (همپتون و اوستریوس، ۱۹۹۰) مثال‌هایی از تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌باشد.

از جمله دلایل افزایش عملکرد در ارقام تیمار شده با اسیدسالیسیلیک احتمالاً ناشی از تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر تثبیت بیشتر CO_2 می‌باشد که در غلظت ۲۰۰ میکرومول حاصل شد. نتایج

تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از سالیسیلیک‌اسید منجر به افزیش تثبیت CO_2 می‌شود که احتمالاً به‌علت تأثیر سالیسیلیک‌اسید در فرآیندهی مختلف فتوسنتز شامل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها، افزایش کاریی PS II، غلظت و فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و در نهایت تأمین بیشتر ATP و NADPH برای تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیمیلات باشد (خان و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج این آزمایش با گزارشات فریدودین و همکاران (۲۰۰۳) که گزارش کردند محلول‌پاشی گیاه کلزا با ۱۰ میکرومول اسیدسالیسلیک موجب افزایش عملکرد شد، هم‌خوانی داشت. به گزارش این محققان بیشتر بودن فعالیت کربنیک آنهیدراز (CA) و به طبع آن فتوسنتز خالص برگ منجر به افزایش وزن خشک گیاه شد. CA آنزیمی است که تبدیل CO_2 به HCO_3 و بالعکس را کاتالیز می‌کند، یعنی این آنزیم در دیواره سلولی باعث ترکیب CO_2 با آب و تشکیل اسید کربنیک می‌شود و در محل کربوکسیلاسیون باعث تجزیه اسید کربونیک و آزاد شدن CO_2 می‌شود. از آن‌جا که ماده اصلی و اولیه برای گیاهان C_3 و آنزیم رابیسکو، CO_2 است و تعادل بین CO_2 و HCO_3 به وسیله این آنزیم تسهیل می‌شود، بنابر این می‌توان ارتباط مستقیمی که بین فعالیت کربنیک آنهیدراز با فتوسنتز خالص انتظار داشت.

اگرچه میزان کاری فتوسنتز II و فعالیت روبیسکو در این آزمایش مورد اندازه‌گیری قرار نگرفته، اما با استناد به نتایج تحقیقات گذشته، افزایش وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز ناشی از استعمال سالیسیلیک‌اسید دور از انتظار نمی‌باشد. نتایج مشابهی، نظیر نتایج به‌دست آمده در این تحقیق را می‌توان یافت که حاکی از تأثیر مثبت سالیسیلیک‌اسید در افزایش میزان فتوسنتز می‌باشد که منجربه افزایش رشد و یا عملکرد در چندین گونه گیاهی دیگر می‌شود (کریشنا و همکاران، ۲۰۰٤؛ نگاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه استفاده از سالیسیلیک‌اسید در هر دو رقم باعث افزایش عملکرد دانه شد اما وزن خشک بوته در هکتار تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها قرار نگرفت. تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر رقم، زمان محلول‌پاشی و غلظت سالیسیلیک‌اسید قرار گرفت که این نتایج با یافته‌های کریشنا و همکاران (۲۰۰٤) هم‌خوانی داشت. آن‌ها گزارش کردند که محلول‌پاشی ماش سیاه با سالیسیلیک‌اسید موجب افزیش تعداد غلاف در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد گردید. همچنین گزارش شده بیشترین عملکرد ذرت وقتی به‌دست آمد که گیاه ذرت با ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سالیسیلیک‌اسید محلول‌پاشی شده است (شاتینگ و همکاران، ۱۹۹۷).

در این تحقیق، تیمار سالیسیلیک‌اسید منجر به افزیش وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد بذر در هکتار نسبت به عدم مصرف، در هر دو رقم کلزا شد که این نتایج با نتایج تحقیقاتی که اخیراً گزارش شده است، مطابقت دارد و حاکی از آن است که استعمال سالیسیلیک‌اسید منجر به بهبود روند رشدی گیاه ذرت می‌شود (نگاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید باعث افزیش رشد در ریشه و اندام هویی در سویا گردید (کریشنا و همکاران، ۲۰۰٤).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، با توجه به این که ترکیبات فنولیکی موجب تسهیل در جذب عناصر غذایی می‌شوند و نقش مثبتی در فعالیت‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های مربوط با فتوسنتز دارند و از طرف دیگر باعث انتقال بهتر مواد پرورده از منبع به مخزن می‌شوند، رشد بهتر و عملکرد بیشتر گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید دور از انتظار نمی‌باشد. همچنین، با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان چنین استنباط کرد که غلظت مفید و مناسب سالیسیلیک‌اسید بسته به گونه گیاهی و سن گیاه متفاوت می‌باشد. با این توصیف، غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول می‌تواند برای کاهش خسارت اکسیداتیو قابل توصیه باشد.

منابع

1.Ahmad, A., Hayat, S., Fariduddin, Q., and Ahmad, I. 2001. Photosynthetic efficiency of plants of *Brassica juncea* treated with chlorosubstituted auxins. Photosynthetica., 39: 565-568.
2.Allen, D.J., and Ort, D.R. 2001. Impact of chilling tempreture on photosynthesis in warm climate plants. Trends in Plant Sci., 6:36-42.
3.Arfan, M., Athar, H.A., 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? Plant Physiol., 164: 685-694.
4.Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol., 24: 1-150.
5.Ashraf, M., and Bashir, A. 2003. Relationship of photosynthetic capacity at the vegetative stage and during grain development with grain yield of two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in yield. Eur. J. Agron., 19: 277-87.

6.Bezrukova, M.V., Kildibekova, A.R., Avalbaev, A.M., and Shakirova, F.M. 2004. Participation of wheat germ agglutinin in regulation of cell division in apical root meristem of wheat seedlings. Testologiya., 46: 35-38.
7.Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M.A. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. Plant Physiol., 126: 1024-30.
8.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*. Plant J., 38: 432-7.
9.Dolatabadian, A., Modares Sanavy, S.A.M., and Chashmi, N.A. 2008. The effects of foliar application of ascorbic acid (Vitamin C) on antioxidant enzymes activities, lipid peroxidation and proline accumulation of canola (*Brassica napus* L.) under conditions of salt stress. J. Agron. Crop. Sci., 194: 206-213.
10.Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica., 41: 281-284.
11.Faver, K.L., Gerik, T.J., and Percy, R.G. 1997. Modern Pima cotton cultivars have higher photosynthetic capacity than obsolete varieties. 1499-502 In: The proceedings of Beltwide cotton conference, New Orleans, LA, USA.
12.Faville, M., Silvester, W., Green, T., and Jermyn, W. 1999. Photosynthetic characteristics of three asparagus cultivars differing in yield. Crop Sci., 39: 1070-7.
13.Grieve, C.M., Lesch, S.M., Francois, L.E., and Maas, E.V. 1992. Analysis of main-spike yield components in salt-stressed wheat. Crop Sci., 32: 697-703.
14.Hampton, R.E., and Oosterhuis, D.M. 1990. Application of phenolic acids to manipulate boll distribution in cotton. Arkansas Farm Res., 39:11.
15.Hirose, T., Ackerly, D.D., Traw, M.B., Ramseier, D., and Bazzaz, F.A. 1997. CO_2 elevation, canopy photosynthesis, and optimal leaf area index. Ecology., 78: 2339-50.
16.Hassibi, P., Moradi, F., and Nabipour, M. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress-using chlorophyll flourescence. Iran. J. Crop Sci., 9: 14-31.
17.Kaydan, D., Yagmur, M., Okut, N. 2007. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi. 13: 114-119.
18.Khan, W., Prithiviraj, B., and Smith, D. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Plant Physiol., 160: 485-92.
19.Koch, J.R., Creelman, R.A., Eshita, S.M., Seskar, M., Mullet, J.E., and Davis, K.R. 2000. Ozone sensitivity in hybrid poplar correlates with insensitivity to

both salicylic acid and jasmonic acid. The role of programmed cell death in lesion formation. Plant Physiol., 123: 487-96.
20. Krishna, S., Surinder, K., Thind, S.K., and Gurpreet, K. 2004. Interactive effects of phenolics and light intensity on vegetative parameters and yield in soybean (*Glycine max* L. Merrill). Environ. Ecol., 22: 390-394.
21. Meier, U. 2001. Growth stages of mono and dicotyledonous plants. 2nd ed. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Berlin, Germany.
22. Metwally, A., Finkmemeier, I., Georgi, M., and Dietz, K.J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiol., 132: 272-81.
23. Nagasubramaniam, A., Pathmanabhan, G., and Mallika, V. 2007. Studies on improving production potential of baby corn with foliar spray of plant growth regulators. Annu. Plant Phsiol., 21: 154- 157.
24. Pancheva, T.V., Popova, L.P., Uzunova, A.N. 1996. Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. J Plant Physiol., 149: 57-63.
25. Popova, L., Pancheva, T., and Uzunova, A. 1997. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. Plant Physiol., 23: 85-93.
26. Raskin, K. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annu. Rev. Plant physiol., 43: 439-463.
27. Reed, R.C., Brady, S.R., and Muday, G.K. 1998. Inhibition of auxin movement from the shoot into the root inhibits lateral root development in arabidopsis. Plant Physiol., 118: 1369–1378
28. Shakirova, F.M., Sakhahutdinova, R.A., Berzukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., and Fatkhutdinova, D.R. 2003. Change in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci., 164: 317.
29. Shankar, N.K., Khan, S.R., and Srivastava, H.S. 2001. The response of nitrate reductase activity and nitrate assimilation in mize roots to growth regulators at acidic pH. Bio plant., 44: 599-601.
30. Shuting, D., Rongqi, G., Changltao, H., Qunying, W., and Koogjun, W. 1997. Study of canopy photosynthesis properties and high yield potential after anthesis in maize. Acta Agron. Sci., 23(3): 318-25.
31. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Reg., 39: 137-141.
32. Surplus, S.L., Jordan, B.R., Murphy, A.M., Carr, J.P., Thomas, B., and Mackerness, S.A.H. 1998. Ultraviolet-B-induced responses in Arabidopsis thaliana: Role of salicylic acid and reactive oxygen species in the regulation of transcripts encoding photosynthetic and acidic pathogenesis-related proteins. Plant Cell Environ., 21: 685-94.

33.Tammam, A.A. 2003. Response of Vicia faba plants to the interactive effect of sodium chloride salinity and salicylic acid treatment. Acta Agron. Hungarica., 51(3): 239-248.
34.Zhao, H.J., Lin, X.W., Shi, H.Z., and Chang, S.M. 1995. The regulating effect of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of soybeans. Acta Agron. Sci., 21: 351-5.
35.Zhou, X., Mackeuzie, A., Madramootoo, C., and Smith, D. 1999. Effect of some injected plant growth regulators with or without sucrose on grain production, biomass and photosynthetic activity of field grown corn plants. J. Agron. Crop Sci., 183: 103-10.

EJCP., Vol. 7 (4): 167-178
http://ejcp.gau.ac.ir

Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties

H. Keshavarz[1] and *S.A.M. Modarres Sanavy[2]
[1,2] M.Sc. Graduted, and Professor, Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Received: 23-11-2013 ; Accepted: 19-2-2014

Abstract

Growth regulators play a crucial role during plant growth and development and utilizing of them can a possible approach to improving plants economic grain yield. In this experiment, the possiblility of growth improvement of canola during two growth stages by exogenous application of salicylic acid on chlorophyll content, yield and yield components was investigated. Salicylic acid was applied in four concentration (0, 100, 200 and 400 µM) during two different stages (first time in autumn and second time at the end of winter) in two varieties (Licord and RGS tolerant and sensitive cultivar to cold stress, respectively) in randomized complete block design in three replications. Although, all salicylic acid concentration improved the canola yield, the application of 200 µM provided better effect compared to other concentrations. The total chlorophyll content was obtained in second stage of foliar application with 100 µM salicylic acid in tolerant cultivar. Foliar application with 100 µM salicylic acid led to increase seed yield. The highest plant high, 100 seed weight and plant biomass were obtained in tolerant variety. The highest pod number per plants and seed number per silique were observed from Licord which was treated with 200 µM salicylic acid at first time. Also, salicylic acid led to increase in seed yield by 13%. However, results revealed that application of salicylic acid by affecting physiological processes in plant increased canola yield and its component.

Keywords: *Brassica napus* L., Grain yield, Photosynthetic pigments, Salicylic acid

*Corresponding author; Modaresa@modares.ac.ir