

## آماده انتشار

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

حامد کشاورز

**Hamed Keshavarz**

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی-دانشگاه تربیت مدرس

E mail: [H.keshavarz@modares.ac.ir](mailto:H.keshavarz@modares.ac.ir)

موبایل: ۰۹۱۹-۲۰۲۲۲۰۴ تلفن: ۰۲۱-۶۵۵۱۴۸۰۸

Keshavarz, Hamed. M. Sc. Graduted Student, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

\*سید علی محمد مدرس ثانوی

**Seyed Ali Mohammad Modarres Sanavy**

استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی-دانشگاه تربیت مدرس

Email: [Modaresa@modares.ac.ir](mailto:Modaresa@modares.ac.ir)

موبایل: ۰۹۱۲۱۴۸۱۶۳۷ تلفن: ۰۲۱-۴۸۲۹۲۰۹۵ دورنگار: ۰۲۱-۴۸۲۹۲۲۰۰

Modarres Sanavy, Seyed Ali Mohammad. Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

## چکیده

تنظیم کننده‌های رشدی نقش حیاتی در طی مراحل رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند و کاربرد آنها می‌تواند باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاهان شوند. در این آزمایش، امکان بهبود رشد گیاه کلزا با سالیسیلیک اسید در طی دو مرحله محلول‌پاشی و تأثیر آن بر میزان کلروفیل، عملکرد و اجزا عملکرد مورد بررسی قرار گرفت. سالیسیلیک اسید در چهار غلظت صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومول در دو مرحله (زمان محلول‌پاشی اول در پاییز و محلول‌پاشی دوم در اواخر زمستان) در دو رقم کلزا لیکورد و آر جی اس (به ترتیب مقاوم و حساس به سرما) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار محلول‌پاشی گردید. تمام غلظت‌های سالیسیلیک اسید 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 سالیسیلیک اسید بدست آمد. محلول‌پاشی با ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید موجب افزایش عملکرد بذر شد. بیشترین ارتفاع بوته، وزن ۱۰۰ دانه و وزن خشک اندام هوایی در رقم مقاوم کلزا بدست آمد. بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد بذر در غلاف در رقم لیکورد با غلظت ۲۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در مرحله اول محلول‌پاشی مشاهده شد. همچنین تیمار سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۱۳ درصدی عملکرد بذر شد. از نتایج بدست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که سالیسیلیک اسید با تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، سبب افزایش عملکرد گیاه کلزا می‌شود.

**کلمات کلیدی:** سالیسیلیک اسید، رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه، کلزا

فتوسنتز فرآیندی است که نقش اساسی را در عملکرد گیاهان زراعی بازی می‌کند (فیویل و همکاران، ۱۹۹۹). وزن کل اندام هوایی و عملکرد گیاهان رابطه‌ی 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 (به ویژه 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). به همین دلیل سال‌هاست که افزایش کارایی فتوسنتز از اصلی‌ترین برنامه‌های پژوهشگران در زمینه‌ی کشاورزی می‌باشد.

سالیسیلیک اسید 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). به‌طور کلی، یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که این ترکیب از جوانه‌زنی تا پیری گیاه، می‌تواند تأثیر گذار باشد و منجر به افزایش کارایی فتوسنتز و محصول نهایی می‌گردد. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از تأثیر غیر قابل انکار سالیسیلیک اسید 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 تحریک‌کننده، در بعضی تسریع‌کننده و در بعضی دیگر متوقف‌کننده باشد (راسکین، ۱۹۹۲). پژوهش‌های گذشته نشان داده است که استفاده از سالیسیلیک اسید در گیاهان زراعی باعث بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد می‌شود (زآو و همکاران، ۱۹۹۵)، که ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید 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، ۲۰۰۴؛ تمام، ۲۰۰۳؛ کایدان و همکاران، ۲۰۰۷).

همچنین، زو و همکاران (۱۹۹۹) افزایش ۹ درصدی وزن دانه در اثر تیمار اسید سالیسیلیک 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 غیر فعال کردن آنتی اکسین‌ها) می‌باشد (رد و همکاران، ۱۹۹۸). از طرفی، اکسین با افزایش میزان فتوسنتز خالص، باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (زآو و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین، در سطح سلولی باعث افزایش میزان RNA، میزان سنتز پروتئین و آنزیم‌های مربوط به رشد می‌گردد. به‌علاوه، نقش سالیسیلیک اسید در فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز به اثبات رسیده است (شانکار و همکاران، ۲۰۰۱). بر اساس گزارش‌های موجود، غلظت ۱۰ میکرومول سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت نیترات‌ردوکتاز نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد (احمد و همکاران، ۲۰۰۱). این مساله نشان‌دهنده-ی تأثیر سالیسیلیک اسید در فرآیند جذب نیتروژن می‌باشد. شاید این شبه هورمون با تأثیر بر فعالیت دیگر هورمون‌ها (CI-IAA،

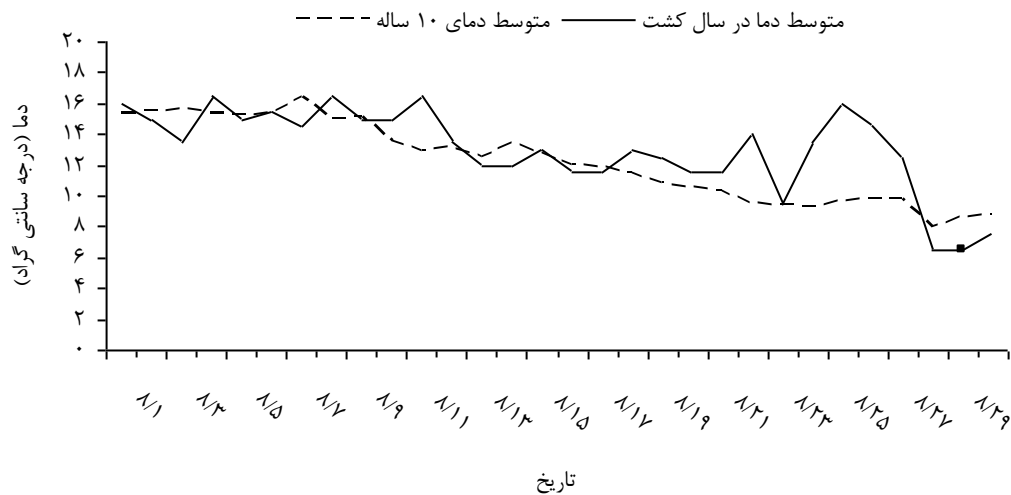
(IAA) موجب افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز در گیاهانی می‌شود که قادر به تثبیت نیتروژن نیستند و نیتروژن مورد نیاز خود را از خاک به شکل نیترات ( $\text{NO}_3$ ) یا آمونیم ( $\text{NH}_4^+$ ) جذب می‌کنند (شانکار و همکاران، ۲۰۰۱؛ احمد و همکاران، ۲۰۰۱).

گیاهان در تمام طول دوران زندگی خود با انواع مختلفی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی 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 موثری داشته باشد. سالیسیلیک اسید یکی از موادی می‌باشد که به عنوان یک شبه هورمون در گیاه شناخته شده است. اخیراً توجه زیادی به این شبه هورمون و نقش آن در تنش‌های غیر زیستی مانند ازون (کوچ و همکاران، ۲۰۰۰)، UV-B (سورپلاس و همکاران، ۱۹۹۸)، تنش‌های دمایی و حرارتی (کلارک و همکاران، ۲۰۰۴)، 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.

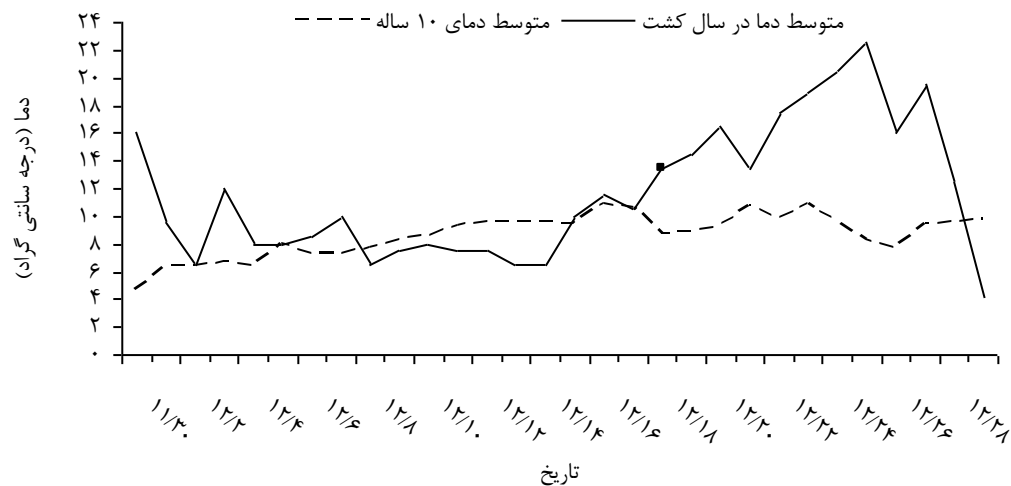
با توجه به گزارش‌های یاد شده، این پژوهش جهت بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و تغییرات احتمالی ناشی از تأثیر این شبه هورمون بر ظرفیت فتوسنتزی و توانایی تغییر در عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه در دو رقم کلزا با مقاومت متفاوت به سرما در شرایط مزرعه‌ای انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۹ - ۱۳۸۸ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، با موقعیت طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. آزمایش به صورت 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 سالیسیلیک اسید در ۴ سطح صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومول در دو زمان محلول پاشی گردید. زمان محلول پاشی اول (شکل ۱) با توجه به نزدیک شدن دما به محدوده دمایی ۷ - ۱۰ درجه سانتی‌گراد (مرحله روزت) و محلول پاشی دوم (شکل ۲) با نزدیک شدن دما به محدوده‌ی دمایی ۷ - ۱۰ درجه سانتی‌گراد در اواخر زمستان (همراه با ساقه رفتن گیاه) با توجه به آمار ۱۰ ساله منطقه و داده‌های ایستگاه هواشناسی واقع در دانشکده‌ی کشاورزی تعیین گردید.



شکل ۱- متوسط دمای روزانه در فصل کشت و دمای ۱۰ ساله کرج. نقطه مشخص شده زمان محلول پاشی می باشد.



شکل ۱- متوسط دمای روزانه در فصل کشت و دمای ۱۰ ساله کرج. نقطه مشخص شده زمان محلول پاشی می باشد.

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 به میزان 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). فاصله بین

ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها حدود ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (نزدیک به ۷۲۰ هزار بوته در هکتار). مساحت هر کرت حدود ۸/۴ مترمربع (۲/۱×۴ متر) و هر کرت شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۵ متر بود. کرت‌ها ابتدا به صورت 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

| عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری | خصوصیات خاک                           |
|---------------------|---------------------------------------|
| ۱/۲۳                | هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)     |
| ۷/۴۵                | اسیدیته (pH)                          |
| ۱۷/۷۳               | آهک (درصد)                            |
| ۱/۵۸                | کربن آلی (درصد)                       |
| ۰/۱۵                | ازت (درصد)                            |
| ۷                   | رس (درصد)                             |
| ۱۳                  | لای (درصد)                            |
| ۸۰                  | ماسه (درصد)                           |
| لوم شنی             | بافت                                  |
| ۱۱۹/۲               | فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)   |
| ۹۰۸                 | پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) |
| ۱۷/۴۸               | آهن قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)    |
| ۳۸/۸                | روی قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)    |
| ۹/۰۷                | منگنز قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)  |

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 آلومینیومی پیچیده و درون نیتروژن مایع انداخته شدند و سپس تمام نمونه‌ها تا انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی درون فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. جهت تهیه عصاره، ۰/۲ گرم برگ در استون ۸۰٪ سائیده شد. سپس عصاره‌ی حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و تا رسیدن به حجم ۲۵ میلی‌لیتر و استخراج کامل کلروفیل، به آن استون اضافه گشت. جذب نوری کلروفیل a و b به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر خوانده شد و با استفاده از فرمول مربوطه (رابطه ۱)، غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (آرنون، ۱۹۴۹).

$$\text{کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)} = (A_{645} \times 0.0269) - (A_{663} \times 0.127)$$

کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر) =  $(A_{663}) \times (0.00468) - (A_{645}) \times (0.0229)$

کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر) =  $(A_{663}) \times (0.00802) + (A_{645}) \times (0.0202)$

رابطه ۱- فرمول محاسبه میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل

به منظور بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد، برداشت به صورت دستی و به کمک داس از فاصله‌ی ۴ تا ۵ سانتی متری سطح زمین، هنگامی که ۳۰ تا ۴۰ درصد بذور از حالت سبز به قهوه‌ای تا سیاه (BBCH 40) تغییر رنگ داده بودند، (۴ تیر ماه ۱۳۸۹) انجام گرفت (میر، ۲۰۰۱). مساحت برداشت شده‌ی هر کرت از ۴ ردیف میانی با لحاظ کردن اثر حاشیه، ۱ مترمربع بود. بوته‌های برداشت شده سپس به دانه و کاه تقسیم گردید و در آون ۶۰ درجه سانتی گراد برای مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۰ درصدی دانه محاسبه گردید. جهت تعیین اجزاء عملکرد از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت، ۸ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و سپس به ترتیب ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف در بوته اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در غلاف، از هر کرت ۴۰ غلاف به طور 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 ۱۰۰ دانه نیز دو نمونه ۵۰ تایی از بذره‌ای هر یک از کرت‌ها شمارش و وزن گردید و بر اساس آن، وزن ۱۰۰ 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<sup>۱</sup> مقدار روغن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. از نرم افزار SAS برای تجزیه واریانس داده‌ها و برای مقایسه میانگین‌ها داده‌ها از روش LSD (حداقل دامنه معنی دار) در سطح ۵ درصد استفاده شد. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تمامی مولفه‌های مورد بررسی (به جز تعداد شاخه جانبی، میزان روغن بذر و عملکرد کل بوته در هکتار) به طور معنی‌داری تحت تأثیر رقم قرار گرفته‌اند. این در حالی بود که تیمار زمان محلول-پاشی فقط در صفات کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار شد و در دیگر مولفه‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود؛ همچنین تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید نیز فقط در میزان رنگدانه‌ها، تعداد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد بذر در هکتار سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار شد (جدول ۲). 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

<sup>۱</sup>-Inframatic 8620 Percor (Germany)

کنش زمان در غلظت و نیز اثر متقابل رقم در زمان در غلظت به جز رنگدانه‌ها، تعداد غلاف و تعداد بذر در غلاف، در سایر متغیرها اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین میزان کلروفیل a در رقم مقاوم در مرحله دوم محلول‌پاشی و با غلظت ۱۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید بدست 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 غلظت-های 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 معنی دار نبود (جدول ۵). بیشترین ارتفاع بوته در رقم مقاوم بدست آمد به طوری که رقم مقاوم دارای ارتفاعی حدود ۱۵ درصد بیشتر از رقم حساس بود و این در حالی بود که این صفت تحت تأثیر غلظت سالیسیلیک اسید و زمان محلول‌پاشی قرار نگرفت (جدول ۳). کمترین تعداد غلاف مربوط به رقم حساس و محلول‌پاشی همزمان با شروع ساقه رفتن گیاه (زمان دوم محلول-پاشی) در غلظت ۴۰۰ میکرومول مشاهده شد (جدول ۵).

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 ۲۰۰ میکرومول در زمان محلول‌پاشی اول بود که البته با وجود داشتن اختلاف با سایر تیمارهای رقم مقاوم، این اختلاف معنی‌دار نبود. (جدول ۵). وزن ۱۰۰ دانه در رقم مقاوم نسبت به رقم حساس بیشتر بود (جدول ۳) که این اختلاف به حدود ۷/۵ درصد می‌رسید. همچنین، غلظت سالیسیلیک اسید در وزن ۱۰۰ دانه موثر بود. به طوری که مصرف سالیسیلیک اسید در مقایسه با عدم مصرف آن سبب افزایش ۱۷/۵ درصدی وزن ۱۰۰ دانه شد، اما از نظر آماری بین غلظت‌های تیمار شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). تیمار ۱۰۰ میکرومول بیشترین میزان عملکرد بذر را داشت و باعث افزایش حدود ۱۳ درصدی عملکرد آن در مقایسه با تیمار عدم مصرف سالیسیلیک اسید شد. با این توصیف، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید باعث کاهش عملکرد بذر شد. به طوری که غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومول با تیمار عدم مصرف اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). وزن خشک اندام‌های هوایی فقط تحت تأثیر تیمار رقم قرار گرفت و رقم مقاوم کلزا با اختلاف ۱۵/۵۲ درصدی نسبت به رقم حساس کلزا دارای بیشترین وزن خشک اندام هوایی بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت تأثیر رقم، زمان محلول پاشی و غلظت سالیسیلیک اسید

| منابع تغییر         | درجه آزادی | کلروفیل a           | کلروفیل b            | کلروفیل کل         | ارتفاع بوته          | تعداد شاخه<br>فرعی | تعداد غلاف           | تعداد دانه در<br>غلاف | وزن ۱۰۰ دانه           | میزان<br>روغن بذر  | عملکرد بذر<br>در هکتار | وزن خشک<br>اندام هوایی |
|---------------------|------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| تکرار               | ۲          | ۰/۰۰۲ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۱ <sup>ns</sup> | ۴۰۱/۷۸ <sup>ns</sup> | ۱۹/۵۲**            | ۱۷۰۵/۱۸**            | ۳۱۱/۰۶ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۰۰۹ <sup>ns</sup>   | ۱۷/۹۶**            | ۰/۱۲ <sup>ns</sup>     | ۴/۴۱ <sup>ns</sup>     |
| رقم                 | ۱          | ۰/۲۹**              | ۰/۴۶**               | ۱/۴۹**             | ۳۳۰۶/۷۲**            | ۲/۴۲ <sup>ns</sup> | ۹۰۷۵/۰۰**            | ۷۱۰۷۱/۰**             | ۰/۰۱۲*                 | ۶/۹۷ <sup>ns</sup> | ۰/۳۴ <sup>ns</sup>     | ۲۹/۵۶*                 |
| زمان                | ۱          | ۰/۴۹**              | ۰/۰۰۰۶ <sup>ns</sup> | ۰/۵۲**             | ۲۲/۴۱ <sup>ns</sup>  | ۴/۴۴ <sup>ns</sup> | ۳۳/۳۳ <sup>ns</sup>  | ۹/۱۸ <sup>ns</sup>    | ۰/۰۰۰۰۲ <sup>ns</sup>  | ۶/۶۷ <sup>ns</sup> | ۰/۱۹ <sup>ns</sup>     | ۱۱/۶۹ <sup>ns</sup>    |
| غلظت                | ۳          | ۰/۱۷**              | ۲/۸۲**               | ۴/۰۲**             | ۱۴۰/۸۱ <sup>ns</sup> | ۱/۲۰ <sup>ns</sup> | ۶۶۷/۸۶*              | ۴۷/۹۶ <sup>ns</sup>   | ۰/۰۱۵**                | ۰/۶۸ <sup>ns</sup> | ۰/۳۶*                  | ۴/۰۷ <sup>ns</sup>     |
| رقم × زمان          | ۱          | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۰/۱**                | ۰/۰۳ <sup>ns</sup> | ۱۹/۷۶ <sup>ns</sup>  | ۲/۲۵ <sup>ns</sup> | ۱۸۴/۰۸ <sup>ns</sup> | ۳۰۵/۰۲ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۰۰۵۷ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۷ <sup>ns</sup> | ۰/۰۹ <sup>ns</sup>     | ۲/۳۷ <sup>ns</sup>     |
| رقم × غلظت          | ۳          | ۰/۰۲ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>   | ۰/۰۲ <sup>ns</sup> | ۲۰۰/۴۳ <sup>ns</sup> | ۲/۵۹ <sup>ns</sup> | ۱۶۶۳/۷۷**            | ۱۵۹/۲۴ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۰۰۵۱ <sup>ns</sup>  | ۷/۵۱ <sup>ns</sup> | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>     | ۰/۳۳ <sup>ns</sup>     |
| زمان × غلظت         | ۳          | ۰/۱۸**              | ۰/۰۵**               | ۰/۳۲**             | ۱۵۹/۳۷ <sup>ns</sup> | ۱/۵۹ <sup>ns</sup> | ۱۵۱۴/۷۷**            | ۱۲۵۱/۲۹*              | ۰/۰۰۰۰۵۷ <sup>ns</sup> | ۱/۰۴ <sup>ns</sup> | ۰/۱۵ <sup>ns</sup>     | ۰/۶۹ <sup>ns</sup>     |
| رقم × زمان × غلظت   | ۳          | ۰/۰۵**              | ۰/۰۵**               | ۰/۱۶**             | ۲۱۲/۹۳ <sup>ns</sup> | ۱/۰۹ <sup>ns</sup> | ۱۳۱۰/۷۵**            | ۱۱۵۲/۹*               | ۰/۰۰۰۰۷ <sup>ns</sup>  | ۳/۹۷ <sup>ns</sup> | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>     | ۹/۰۷ <sup>ns</sup>     |
| 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 به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۱، ۰/۰۵ و عدم وجود اختلاف معنی دار می باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی رقم بر صفات مورد بررسی

| رقم             | ارتفاع بوته<br>(سانتی متر) | وزن هزار دانه<br>(گرم) | وزن خشک اندام هوایی<br>(تن در هکتار) |
|-----------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| آر جی اس (حساس) | ۹۳/۷ <sup>b</sup>          | ۳/۷ <sup>b</sup>       | ۸/۵۴ <sup>b</sup>                    |
| لیکورد (مقاوم)  | ۱۱۰/۳۰ <sup>a</sup>        | ۴/۰ <sup>a</sup>       | ۱۰/۱۱ <sup>a</sup>                   |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD .

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی غلظت بر صفات مورد بررسی

| غلظت<br>(میکرومول) | وزن هزار دانه<br>(گرم) | عملکرد بذر در هکتار<br>(تن در هکتار) |
|--------------------|------------------------|--------------------------------------|
| ۰                  | ۳/۳۲ <sup>b</sup>      | ۱/۶۸ <sup>ab</sup>                   |
| ۱۰۰                | ۴/۰۳ <sup>a</sup>      | ۱/۹۳ <sup>a</sup>                    |
| ۲۰۰                | ۴/۰۰ <sup>a</sup>      | ۱/۶۳ <sup>b</sup>                    |
| ۴۰۰                | ۴/۰۸ <sup>a</sup>      | ۱/۵۲ <sup>b</sup>                    |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD ندارند

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت اثر متقابل رقم، زمان محلول پاشی و غلظت سالیسیلیک اسید

| رقم             | زمان | غلظت<br>(میکرومول) | کلروفیل a<br>(میلی گرم بر گرم وزن تر) | کلروفیل b<br>(میلی گرم بر گرم وزن تر) | کلروفیل کل<br>(میلی گرم بر گرم وزن تر) | تعداد غلاف در<br>بوته | تعداد بذر در<br>غلاف |
|-----------------|------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| آر جی اس (حساس) | ۱    | ۰                  | ۰/۸۶ <sup>g</sup>                     | ۰/۳۷ <sup>h</sup>                     | ۱/۳۳ <sup>d</sup>                      | ۴۴/۰۰ <sup>ed</sup>   | ۱۵/۳۳ <sup>cd</sup>  |
| آر جی اس        | ۱    | ۱۰۰                | ۱/۵۳ <sup>bcd</sup>                   | ۱/۳۸ <sup>bc</sup>                    | ۲/۵۸ <sup>abc</sup>                    | ۲۵/۶۷ <sup>ef</sup>   | ۱۳/۴۳ <sup>de</sup>  |
| آر جی اس        | ۱    | ۲۰۰                | ۱/۴۳ <sup>ed</sup>                    | ۱/۳۶ <sup>c</sup>                     | ۲/۴۶ <sup>abc</sup>                    | ۶۷/۶۷ <sup>bc</sup>   | ۱۳/۳۰ <sup>e</sup>   |
| آر جی اس        | ۱    | ۴۰۰                | ۱/۴۴ <sup>ed</sup>                    | ۰/۵۶ <sup>g</sup>                     | ۲/۸۴ <sup>abc</sup>                    | ۴۲/۶۷ <sup>de</sup>   | ۱۵/۷۳ <sup>cd</sup>  |
| آر جی اس        | ۲    | ۰                  | ۱/۵۶ <sup>bcd</sup>                   | ۰/۷۰ <sup>ef</sup>                    | ۲/۲۶ <sup>abcd</sup>                   | ۵۲/۶۷ <sup>cd</sup>   | ۱۳/۹۰ <sup>cde</sup> |
| آر جی اس        | ۲    | ۱۰۰                | ۱/۶۴ <sup>abc</sup>                   | ۱/۱۸ <sup>d</sup>                     | ۲/۳۳ <sup>abcd</sup>                   | ۳۸/۶۷ <sup>def</sup>  | ۱۶/۸۳ <sup>c</sup>   |
| آر جی اس        | ۲    | ۲۰۰                | ۱/۴۲ <sup>ed</sup>                    | ۱/۶۵ <sup>a</sup>                     | ۲/۶۱ <sup>abc</sup>                    | ۷۸/۰۰ <sup>b</sup>    | ۱۶/۵۰ <sup>c</sup>   |
| آر جی اس        | ۲    | ۴۰۰                | ۱/۲۹ <sup>ef</sup>                    | ۰/۵۱ <sup>gh</sup>                    | ۱/۹۳ <sup>dc</sup>                     | ۱۹/۶۷ <sup>f</sup>    | ۱۲/۲۳ <sup>e</sup>   |
| لیکورد (مقاوم)  | ۱    | ۰                  | ۱/۲۲ <sup>f</sup>                     | ۰/۸۲ <sup>e</sup>                     | ۲/۲۸ <sup>abcd</sup>                   | ۴۲/۳۳ <sup>de</sup>   | ۲۲/۶۶ <sup>ab</sup>  |
| لیکورد          | ۱    | ۱۰۰                | ۱/۴۸ <sup>cd</sup>                    | ۱/۵۲ <sup>ab</sup>                    | ۲/۰۰ <sup>bcd</sup>                    | ۷۹/۳۳ <sup>b</sup>    | ۲۱/۴۶ <sup>ab</sup>  |
| لیکورد          | ۱    | ۲۰۰                | ۱/۵۱ <sup>cd</sup>                    | ۱/۶۲ <sup>a</sup>                     | ۲/۵۰ <sup>abc</sup>                    | ۱۰۳/۳۳ <sup>a</sup>   | ۲۳/۴۶ <sup>a</sup>   |
| لیکورد          | ۱    | ۴۰۰                | ۱/۵۲ <sup>bcd</sup>                   | ۰/۸۳ <sup>e</sup>                     | ۳/۰۰ <sup>ab</sup>                     | ۸۰/۶۷ <sup>b</sup>    | ۲۳/۰۰ <sup>ab</sup>  |
| لیکورد          | ۲    | ۰                  | ۱/۶۲ <sup>abc</sup>                   | ۰/۷۲ <sup>ef</sup>                    | ۳/۰۱ <sup>ab</sup>                     | ۷۰/۶۷ <sup>bc</sup>   | ۲۲/۰۳ <sup>ab</sup>  |
| لیکورد          | ۲    | ۱۰۰                | ۱/۷۶ <sup>a</sup>                     | ۱/۵۲ <sup>ab</sup>                    | ۳/۱۵ <sup>a</sup>                      | ۷۶/۶۷ <sup>b</sup>    | ۲۲/۴۳ <sup>a</sup>   |
| لیکورد          | ۲    | ۲۰۰                | ۱/۶۹ <sup>ab</sup>                    | ۱/۵۸ <sup>a</sup>                     | ۲/۶۷ <sup>abc</sup>                    | ۸۳/۶۷ <sup>ab</sup>   | ۲۰/۴۰ <sup>b</sup>   |
| لیکورد          | ۲    | ۴۰۰                | ۱/۶۳ <sup>abc</sup>                   | ۰/۶۴ <sup>fg</sup>                    | ۲/۳۳ <sup>abcd</sup>                   | ۵۲/۳۳ <sup>cd</sup>   | ۲۲/۳۶ <sup>ab</sup>  |

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

فتوسنتز فرآیندی فیزیولوژیک است که تأثیر به‌سزایی در رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد. از طرفی تنظیم‌کننده‌های رشد از طریق بهبود کارایی فرایند فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و همچنین افزایش انتقال آسمیلات‌ها 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 آسمیلایون  $\text{CO}_2$  در چرخه کالوین فتوسنتز گردیده و باعث کاهش تولید کربوهیدرات می‌شود (آلن و آرت، ۲۰۰۱)، 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 ( $\text{NADP}^+$ ) 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، ۲۰۰۸)، 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، ۱۳۸۶). 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 ۵) 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 سالیسیلیک اسید باعث افزایش میزان رنگدانه‌ها شد که احتمالاً به دلیل تأثیر سالیسیلیک اسید بر میزان تولید رادیکال‌های آزاد می‌باشد که در نتیجه از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌شود. پوپووا و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار کلروفیل در گیاه عدسک آبی<sup>۱</sup> شد.

وزن ۱۰۰ دانه یکی از ارکان اصلی در بالا بردن عملکرد گیاهان می‌باشد و می‌توان افزایش وزن ۱۰۰ دانه را به دلیل بهبود در افزایش جذب عناصر غذایی، فرآیند فتوسنتز و انتقال بیشتر آسمیلات‌ها 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 سالیسیلیک اسید باعث افزایش عملکرد از طریق افزایش در تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه می‌شود (زو و همکاران، ۱۹۹۹). فیوویل و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که میزان فتوسنتز با عملکرد گیاهان زراعی رابطه‌ی مستقیمی دارد. با توجه به این گزارشات می‌توان این گونه استدلال کرد که احتمالاً به خاطر بیشتر بودن میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در رقم مقاوم، میزان

---

<sup>۱</sup> - *Spirodela polyrhiza*

فتوسنتز و در نتیجه تولید مواد حاصل از فتوسنتز افزایش یافته که منجر به افزایش عملکرد نهایی شده است. این نتایج با یافته‌های بدست آمده توسط شاتینگ و همکاران (۱۹۹۷) مطابقت دارد که گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه در ارقامی بدست می‌آید که دارای میزان فتوسنتز بیشتری بودند.

تفاوت در رابطه‌ی بین ظرفیت فتوسنتزی و میزان رشد و عملکرد در ارقام مختلف یک گونه در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته (اشرف و بشیر، ۲۰۰۳). از نتایج این تحقیق می‌توان این گونه استنباط نمود که اثرات محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید وابسته به نوع گونه و رقم و همچنین غلظت سالیسیلیک تیمار شده می‌باشد که مطابق با یافته‌های دیگر محققان می‌باشد. برای مثال، بزروکوا و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که ۰/۰۵ میلی مول سالیسیلیک اسید که به شکل آبیاری تیمار شد، باعث بهبود رشد گندم گردید. در صورتیکه همین مقدار سالیسیلیک اسید (۰/۰۵ میلی مول) در محلول غذایی گیاه جو اضافه شد که اثرات منفی بر رشد این گیاه داشت (متوالی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین، بر اساس گزارش محققان سالیسیلیک اسید 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، ۲۰۰۴)، افزایش میزان کارایی فتوسنتز در جو (پانچه‌وا و همکاران، ۱۹۹۶)، 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 سالیسیلیک اسید بر رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌باشد.

از جمله دلایل افزایش عملکرد در ارقام تیمار شده با اسید سالیسیلیک احتمالاً ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر تثبیت بیشتر  $CO_2$  می‌باشد که در غلظت ۲۰۰ میکرومول حاصل شد. نتایج تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از سالیسیلیک اسید منجر به افزایش تثبیت  $CO_2$  می‌شود که احتمالاً به علت تأثیر سالیسیلیک اسید در فرآیندهای مختلف فتوسنتز شامل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها، افزایش کارایی 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 اسید سالیسیلیک موجب افزایش عملکرد شد همخوانی داشت. به گزارش این محققان بیشتر بودن فعالیت کربنیک آنهیدراز (CA) و بطبع 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 دیواره‌ی سلولی باعث ترکیب  $CO_2$  با آب و تشکیل اسید کربنیک می‌شود و در محل کربوکسیلاسیون باعث تجزیه‌ی اسید کربونیک و آزاد شدن  $CO_2$  می‌شود. از آن جا که ماده‌ی اصلی و اولیه برای گیاهان  $C_3$  و آنزیم ربیسکو،  $CO_2$  است و تعادل بین  $CO_2$  و  $HCO_3^-$  به وسیله‌ی 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 به دلیل افزایش میزان فتوسنتز ناشی از استعمال سالیسیلیک اسید دور از انتظار نمی‌باشد. نتایج مشابهی، نظیر نتایج بدست آمده در این تحقیق را می‌توان یافت که حاکی از تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش میزان فتوسنتز می‌باشد که منجر به افزایش رشد و یا عملکرد در چندین گونه گیاهی دیگر می‌شود (کریشنا و همکاران، ۲۰۰۴؛ نگاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه استفاده از سالیسیلیک اسید در هر دو رقم باعث افزایش عملکرد دانه شد اما وزن خشک بوته در هکتار تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارها قرار نگرفت. تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر رقم، زمان محلول‌پاشی و غلظت سالیسیلیک اسید قرار گرفت که این نتایج با یافته‌های کریشنا و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی داشت. آن‌ها گزارش کردند که محلول‌پاشی ماش سیاه با سالیسیلیک اسید موجب افزایش تعداد غلاف در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد گردید. همچنین گزارش شده بیشترین عملکرد ذرت وقتی بدست آمد که گیاه ذرت با ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی شده است (شاتینگ و همکاران، ۱۹۹۷).

در این تحقیق، تیمار سالیسیلیک اسید منجر به افزایش 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 سالیسیلیک اسید منجر به بهبود روند رشدی گیاه ذرت می‌شود (نگاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش رشد در ریشه و اندام هوایی در سویا گردید (کریشنا و همکاران، ۲۰۰۴).

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 سالیسیلیک اسید دور از انتظار نمی‌باشد. همچنین، با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان چنین استنباط کرد که غلظت مفید و مناسب سالیسیلیک اسید 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 temperature on photosynthesis in warm climate plants. *Trends in plant science*, 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. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24(1): 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. European 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(2): 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, vol. 2, 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. 1992: 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(2):11.
- 15) Hirose, T., Ackerly, D. D., Traw, M. B., Ramseier, D., and Bazzaz, F. A. 1997. CO<sub>2</sub> elevation, canopy photosynthesis, and optimal leaf area index. Ecology. 78:2339-50.
- 16) Hassibi, P., F. Moradi and M. Nabipour. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress-using chlorophyll fluorescence. Iranian Journal of Crop Sciences. 9(1): 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(2): 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. and Ecology. 22(2): 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., Finkemeier, 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. Annual Plant Physiol. 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. *Annual Rev. Plant physiol. plant Mol. Bio.* 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 Agro. Scie.* 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 Agro. 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 Agro. 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. Agro. Crop Sci.* 183: 103-10.

**Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties (*Brassica napus* L.)**

**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 possible of promote growth of canola during two growth stages by exogenous application of salicylic acid on chlorophyll content, yield and yield components was investigated. A field experiment was conducted as factorial arrangement in the research farm of Tarbiat Modares University. The experiment was designed in randomized complete block with three replications. To improve above traits, salicylic acid was applied in four concentration (0, 100, 200 and 400  $\mu$ M) during two different stages (first time in autumn and second time at the end of winter) in two varieties (Licord and RGS). Although, all salicylic acid concentration improved the canola yield, the application of 200  $\mu$ M provided better effect compared to other concentrations. The total chlorophyll content was obtained in second stage of foliar application with 100  $\mu$ M salicylic acid in Locord cultivar. Foliar application with 100  $\mu$ M salicylic acid led to increase in seed yield. The highest plant high, 100 seed weight and plant biomass were obtained in Licord resistant variety. The highest pod number per plants and seed number per silique were observed from Licord which was treated with 200  $\mu$ M salicylic

acid at first time. Also, salicylic acid led to increase in seed yield by 13%. However, results revealed that application of salicylic acid increased canola yield and its component.

Keywords: *Brassica napus* L., grain yield, photosynthetic pigments, salicylic acid