نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۵۳-۱۴۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 1, Spring. 2016, p. 144-153

بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر برخی خصوصیات فتوسنتزی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)

فرانک طهماسبی[۱*]- پیمان حسیبی[۲]- موسی مسکرباشی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۲۷

چکیده

شوری یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که عملکرد گیاه زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور مطالعه تغییرات فرآیند تثبیت کربن و رنگدانه‌های فتوسنتزی سه ژنوتیپ کلزا تحت تنش شوری، آزمایشی در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل اول شامل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا (هایولا ۴۰۱، RGS0003 و شیرالی) و عامل دوم تیمار آبیاری با آب شور دارای چهار سطح شامل شاهد (آب معمولی)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار با استفاده از منابع کلریدسدیم و کلریدکلسیم به نسبت مساوی یک به یک بود. نتایج نشان داد که آبیاری با آب شور باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در هر سه ژنوتیپ شد. میزان کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها در هر سه ژنوتیپ تا سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش و در ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش یافت. با افزایش شوری تجمع منیزیم نسبت به شاهد بیشتر شد. میزان نشاسته برگ در ژنوتیپ شیرالی تا سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش معنی‌دار داشت. روند تغییرات هدایت روزنه‌ای در سطح ۵۰ میلی‌مولار تا اوایل گلدهی شبیه به شاهد بوده ولی در اواخر گلدهی کاهش شدید داشت. در سطوح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار هدایت روزنه‌ای کمتر از شاهد بود. به نظر می‌رسد ژنوتیپ شیرالی با استفاده از ساز و کارهای اجتناب از تنش مانند حفظ محتوای نسبی آب، همچنین افزایش محتوای کلروفیل‌های a و b تا سطح ۱۰۰میلی‌مولار و نیز تجمع منیزیم تا سطح ۱۵۰ میلی‌مولار، تنش شوری را تحمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، کلروفیل a و b، منیزیم، نشاسته، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی بوده و آثار منفی آن بر رشد گیاهان زراعی باعث افزایش تحقیقات در زمینه تحمل به شوری با هدف بهبود تحمل گیاهان شده است (۳۷). شوری از طریق کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک یا استرس آبی (۵ و ۲۲)، تأثیر ویژه یونی (۳ و ۱۶) و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی به دلیل افزایش غلظت Na^+ باعث آسیب به گیاه می‌شود. تأثیرات مضر املاح بر روی گیاهان نتیجه تلفیق عواملی می‌باشد که می‌توان آن را در گیاه به‌صورت کاهش رشد مشاهده کرد (۸). تحمل به شوری گونه‌های براسیکا به‌دلیل روابط ژنی موجود بسیار پیچیده می‌باشد (۷). روغن کلزا (*Brassica napus* L.) به دلیل پایین بودن میزان اسیداروسیک (کمتر از ۲درصد کل اسیدهای چرب) و گلوکزینولات (کمتر از ۳ میکرو مول بر گرم دانه) مصرف زیادی در دنیا دارد و از آنجا که کلزا پتانسیل مقابله با سمیت ناشی از شوری و املاح را دارد، رشد آن می‌تواند در خاک‌های شور با موفقیت انجام شود (۲۷). در مقایسه ارقام مختلف کلزا اعمال تیمار شوری، باعث کاهش وزن خشک (۱) و باعث کاهش میزان کلروفیل‌های a و b در هر دو رقم حساس و متحمل کلزا شد (۶). حسیبی و همکاران (۱۵) در بررسی فیزیولوژیکی اثر تنش سرما در مرحله‌ی گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف برنج (*Oryza sativa* L.) گزارش دادند در زمان بروز تنش انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک مختل شده و الکترون به مولکول اکسیژن منتقل می‌شود و در این زمان بالا بودن میزان کلروفیل تنها سطح گونه‌های اکسیژن واکنشگر را بالا می‌برد. یکی از راه‌های کاهش گونه‌های اکسیژن واکنشگر کاهش میزان کلروفیل برگ خصوصاً کلروفیل b است که در این زمان گیاه با افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز زنجیره خطی کلروفیل را از قسمت حلقوی جدا کرده که این زنجیره خطی همان پیش ماده تولید آنتی-

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: faranaktahmasbi@yahoo.com)

اکسیدان آلفاتوکوفرول است. در بررسی ارقام مختلف برنج غلظت نسبی کلروفیل (عدد SPAD) طی سطوح اولیه تنش افزایش و سپس کاهش یافت، زیرا با کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش غلظت پروتوپلاسم، تعداد کلروپلاست در واحد سطح افزایش یافت و این افزایش غلظت نسبی کلروفیل (عدد SPAD) به‌دلیل کاهش حجم و اندازه سلول‌ها در اثر تنش شوری گزارش شده است (۳۰). ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست‌ها به دلیل تنش شوری کاهش یافت، زیرا تنش شوری ساختار کلروپلاست‌ها را به‌هم زده، باعث عدم ثبات کمپلکس پروتئین رنگدانه‌ها، تخریب ساختار کلروفیل‌ها و تغییر در کمیت و ترکیب کاروتنوئیدها، افزایش کارتنوئیدها در کلزا (۱۹) گردید (۱۲). در شرایط شور گیاهان نیاز به مکانیزم‌های ویژه‌ای برای تنظیم شرایط اسمزی داخلی و تغییر فشار در محیط ریشه دارند، گیاهان تحت تنش از طریق اسیدهای آمینه آزاد، قندهای محلول و پروتئین‌ها پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهند و بدین طریق تنظیم اسمزی حاصل می‌شود (۲۳). با افزایش شوری تجمع منیزیم (۳۶) و (۱۷)، مقدار نشاسته کل (۲۵) و تجمع قندهای ساده نظیر گلوکز و فروکتوز به دلیل افزایش آنزیم اینورتاز در برگ‌های گیاهان تحت تنش کمبود آب (۲۶) افزایش یافته و محتوای نسبی آب برگ‌های گیاهچه‌های کلزا با افزایش تدریجی هدایت الکتریکی به‌تدریج کاهش یافت (۱۳ و ۲۸). در بررسی بعضی گونه‌های آمفی‌پلوئید براسیکا تحت تنش شوری، عنوان گردید که هدایت روزنه‌ای در همه گونه‌ها کاهش یافت (۴). با توجه به خشکسالی‌های اخیر و لزوم استفاده از آب آبیاری دارای کیفیت پایین برای محصولات زراعی استراتژیک مانند کلزا، هدف از اجرای این آزمایش ارزیابی تأثیر تنش شوری بر تغییرات فتوسنتزی و برخی مؤلفه‌های فیزیولوژیک ارقام کلزا تحت تنش شوری و نیز مشخص کردن ژنوتیپ متحمل به تنش شوری برای کشت در مناطق شور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عامل اول شامل سه ژنوتیپ کلزا (هایولا ۴۰۱، RGS0003 و شیرالی) و عامل دوم تیمار آبیاری با آب شور دارای چهار سطح شامل تیمار شاهد (آب معمولی)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب (۲/۱، ۶/۵، ۹/۱ و ۱۳دسی زیمنس بر متر) با استفاده از منابع کلریدسدیم و کلریدکلسیم به نسبت مساوی یک به یک بود به‌طوری‌که بیشترین شباهت با آب‌های دارای کیفیت پایین در منطقه حاصل گردد. تاریخ کشت ۲۸ آبان و زمان اعمال تنش حدود چهار هفته پس از کاشت (مرحله چهار برگی) در نظر گرفته شد. آبیاری با آب شور به‌صورت پلکانی طی یک دوره ۱۲ روزه و طی سه مرحله به این ترتیب که در مرحله اول تیمار نرمال با آب معمولی (با EC= ۲/۲ دسی زیمنس بر متر) و سه تیمار دیگر با آب شور۵۰ میلی‌مولار (EC= ۶/۵ دسی زیمنس بر متر) مرحله دوم تیمار نرمال با آب معمولی (EC = ۲/۲ دسی زیمنس بر متر) و تیمار دوم با آب شور ۵۰ میلی‌مولار (EC= ۶/۵ دسی زیمنس بر متر) و تیمارهای سوم و چهارم با آب شور ۱۰۰ میلی‌مولار (EC= ۹/۱ دسی زیمنس بر متر) مرحله سوم تیمار اول با آب معمولی (EC= ۲/۲ دسی زیمنس بر متر) و تیمار دوم با آب شور ۵۰ میلی‌مولار (EC= ۶/۵ دسی زیمنس بر متر) و تیمار سوم با آب شور ۱۰۰ میلی‌مولار (EC= ۹/۱ دسی زیمنس بر متر) و تیمار چهارم با آب شور ۱۵۰ میلی‌مولار (با EC= ۱۳ دسی زیمنس بر متر) آبیاری شدند. نمونه‌برداری در پایان مرحله گلدهی (مرحله ۴ فنولوژیکی) انجام گرفت و روند تغییرات هدایت روزنه‌ای در پنج مرحله مختلف شامل هفت برگی، ابتدای ساقه رفتن، پیدایش آغازه‌ها، گلدهی و اواخر گلدهی اندازه‌گیری شد. برای انجام این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی با حجم ۱۰ لیتر استفاده شد. برای هر تیمار ۳ گلدان و در هر تکرار ۱۲ تیمار و در کل ۱۴۴ گلدان مورد ارزیابی قرار گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش شامل ماده خشک بر حسب گرم بر بوته (تعداد چهار بوته در هر تیمار در مرحله پایان گلدهی بطور کامل کف بر شده و وزن خشک آنها پس از قرار دادن در آون $70^{o}C$ به‌مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد)، غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Unic ساخت آلمان) با استفاده از روش آرنون (۲)، غلظت منیزیم به‌وسیله بورت و ماده ورسین ۰/۰۱ نرمال، مقدار نشاسته به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Unic ساخت آلمان) به‌روش تغییر داده شده شلیگل (۳۲)، محتوای نسبی آب به روش ریچی و انگوین (۲۹) بود و هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل ELE ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای SAS (version 9.1)، EXCEL و MSTATC انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

میزان کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها در هر سه ژنوتیپ تا سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری افزایش و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل a در سطح شوری۱۰۰ میلی‌مولار در ژنوتیپ شیرالی به میزان ۲/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ و کمترین میزان کلروفیل a در سطح تنش ۱۵۰ میلی‌مولار در ژنوتیپ شیرالی به میزان ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۳).

بیشترین میزان کلروفیل b در ژنوتیپ شیرالی در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار به میزان ۱/۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ و کمترین میزان کلروفیل b در ژنوتیپ شیرالی و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به میزان ۰/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین میزان کارتنوئیدها در ژنوتیپ هایولا۴۰۱ و سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به میزان۰/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ و کمترین میزان کارتنوئیدها در ژنوتیپ هایولا۴۰۱ و تیمار شاهد به میزان ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ به‌دست آمد (جدول ۳). افزایش رنگدانه‌ها تا ۱۰۰ میلی‌مولار احتمالاً به‌واسطه افزایش غلظت استرومای کلروپلاست و همچنین کاهش حجم سلول حادث گردیده است. در نتیجه غلظت رنگیزه‌ها در واحد حجم سلول افزایش یافت. لازم به‌ذکر است آستانه تحمل به شوری گیاه کلزا ۱۱ دسی زیمنس بر متر می‌باشد (۱۴)، لذا با توجه به اینکه شوری ۱۰۰ میلی‌مولار (معادل ۹/۱ دسی زیمنس بر متر) در رنج آستانه تحمل گیاه کلزا قرار داشته، بنابراین نتایج این تحقیق آثار تخریبی در محتوای کلروفیل بافت کلرانشیم گیاه کلزا بر جای نگذاشته است. با افزایش شدت تنش، کاهش ظرفیت فتوسنتزی احتمالاً به‌علت کاهش سطح فتوسنتزکننده و ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست‌ها به‌واسطه اختلال در غشای تیلاکوئیدها، تخریب مولکول‌های کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم کلروفیلاز و عدم ثبات کمپلکس پروتئین – رنگدانه و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم، کلر و افزایش سطح گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) ناشی از آن بوده است. نتایج حاصله با گزارش جمیل و همکاران (۱۸)، دابی (۱۲)، دوگانلار و همکاران (۱۱) منطبق بود. سایر پژوهشگران به تغییر متابولیسم نیتروژن، در نتیجه وجود رقابت برای استفاده از پیش سازها بین مسیر سنتز کلروفیل و پرولین در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین که برای تنظیم اسمزی به‌کار می‌رود را اشاره دارند. به‌علاوه شوری نقش بازدارندگی روی بیوسنتز کلروفیل دارد (۲۱). کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم تأثیرگذار در ظرفیت فتوسنتزی می‌باشد. افزایش درجه شوری موجب ناکارآمدی برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید صدمات ناشی از تنش شد. بنابراین شوری نه تنها از طریق کاهش تعداد و سطح برگ سبب کاهش کل ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان گردید بلکه از طریق کاهش میزان کلروفیل در برگ‌ها سبب اختلال در سنتز مواد فتوسنتزی جهت رشد گیاه شد. وزن خشک گیاه تحت تأثیر شوری به موازات کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها کاهش یافت که با نتایج شمس الدین و فرحبخش (۳۱) منطبق بود. افزایش کاروتنوئیدها توان مقابله با شرایط تنش در گیاه را افزایش می‌دهد زیرا گیاه توانایی اتلاف انرژی مازاد الکترون‌های برانگیخته نشت کرده از غشای تیلاکوئید طی تنش شوری توسط چرخه زانتوفیل به‌صورت حرارت غیر تشعشعی و همچنین حذف گونه‌های اکسیژن‌های واکنشگر را خواهد داشت. میسرا و همکاران (۲۴) نتایج مشابهی را گزارش کردند. تنش شوری تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآزانتین را تشدید می‌کند، این فرآیندها در حفاظت از بازدارندگی نوری مؤثر هستند (۳۳). افزایش کلروفیل‌های a و b در ژنوتیپ شیرالی در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار می‌تواند علت تحمل بیشتر این رقم به شوری و ثبات بیشتر ساختارهای فتوسنتزی آن باشد. عدم آسیب‌پذیری رنگدانه‌های اصلی فتوسنتزی تا سطح شوری۱۰۰ میلی‌مولار می‌تواند علت بسیار مهمی برای بردباری به شوری در این سطح در ارقام مورد ارزیابی کلزا تلقی شود.

ماده خشک کل

بیشترین میزان ماده خشک در ژنوتیپ RGS0003 و تیمار شاهد به میزان ۲۹/۴۲ گرم در بوته و کمترین میزان ماده خشک در ژنوتیپ شیرالی و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به میزان ۱۶/۶۶ گرم در بوته مشاهده شد (جدول ۳). میزان ماده خشک ژنوتیپ شیرالی در تیمار شاهد (آب معمولی) (به میزان ۲۴/۵۲ گرم در بوته) پایین‌تر از دو ژنوتیپ دیگر (RGS0003 به میزان ۲۹/۴۲ گرم در بوته و هایولا۴۰۱ به میزان ۲۶/۲۹ گرم در بوته) (در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار) بود، ولی میزان کاهش ماده خشک این ژنوتیپ در سطوح مختلف شوری تدریجی بوده و در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت. لذا این ژنوتیپ ضمن دارا بودن پایداری مناسب در برابر شوری، در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر از کاهش کمتر ماده خشک نسبت به شاهد در سطوح بالای تنش برخوردار بود (جدول ۳). احتمالاً به‌دلیل کاهش جذب آب به‌واسطه تنش خشکی ناشی از شوری، جذب عناصر غذایی کاهش یافته و از طرفی مسمومیت کلر و سدیم سبب بازداری رشد گیاه و کاهش ماده خشک گردیده است. به‌نظر می‌رسد تنش شوری و تغییرات یونی حاصل از آن به همراه کاهش هدایت هیدرولیکی آب در خاک، اثر منفی شدیدی بر عملکرد فتوسنتزی گیاه داشته است. همچنین احتمالاً به‌دلیل شعاع یونی گسترده سدیم و خسارت وارده به غشاهای فیزیولوژیک و دستگاه فتوسنتزی و تجمع نمک همراه با کاهش تولید برگ در نهایت وزن خشک کل گیاه کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های اشرف و علی (۶) و احمدی و اردکانی (۱) منطبق بود.

محتوای نسبی آب

محتوای نسبی آب در اندام هوایی تحت شرایط تنش همواره کمتر از شاهد بود. با افزایش شوری محتوای نسبی آب کاهش یافت. در ژنوتیپ شیرالی با اینکه محتوای نسبی آب طی تنش کاهش یافت ولی توانست در سطوح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار محتوای نسبی آب را در سطح بالاتری از ژنوتیپ‌های هایولا۴۰۱ و RGS0003 حفظ کند، هرچند که در ۱۵۰ میلی‌مولار این تحمل از بین رفته و

محتوای نسبی آب کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین درصد محتوای نسبی آب در ژنوتیپ شیرالی در تیمار شاهد به میزان ۹۲/۲۶ درصد و کمترین درصد محتوای نسبی آب در ژنوتیپ RGS0003 در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار به میزان ۸۵/۷۱ درصد مشاهده شد (جدول ۳). بنابراین به‌نظر می‌رسد با توجه به روند تدریجی کاهش ماده خشک ژنوتیپ شیرالی در مقایسه با شیب تند کاهش آن در دو ژنوتیپ دیگر تحت تنش، این ژنوتیپ در تنظیم اسمزی کارآمدتر بوده و احتمالاً با کاهش پتانسیل اسمزی، جذب آب را افزایش و در نتیجه آن وضعیت آبی در بافت‌های تحت تنش بهبود یافته است. نتایج جمیل و همکاران (۱۸)، ژو (۳۸) و فرانکویس (۱۳) با نتایج حاصل از این آزمایش مشابه بود.

منیزیم

درصد منیزیم در اندام هوایی هر سه ژنوتیپ تحت شرایط تنش بیشتر از شاهد بود. با افزایش شوری درصد منیزیم به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین درصد منیزیم برگ در تیمار شاهد در ژنوتیپ RGS0003 به میزان ۰/۱۱۸ درصد و کمترین درصد منیزیم برگ در ژنوتیپ شیرالی به میزان ۰/۰۷۲ درصد مشاهده شد (جدول ۳). با افزایش شوری علی‌رغم افزایش درصد منیزیم به‌عنوان عنصر کلیدی در بیوسنتز کلروفیل، زیست ساخت کلروفیل افزایش نیافت زیرا به‌شدت متأثر از شوری گردید (وجود همبستگی منفی بین منیزیم و کلروفیل b مؤید این مطلب است) (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد عنصر منیزیم با تجمع در سلول‌های محافظ روزنه و ایفای نقش در بیوسنتز ترکیبات آلی کاهش‌دهنده پتانسیل اسمزی مانند گلوتامیک اسید سبب گردید که علی‌رغم بسته شدن روزنه‌ها ناشی از مکانیسم عمل هورمون ABA روزنه‌های گیاه، حتی به مقادیر جزیی بازمانده تا فتوسنتز به‌طور کامل قطع نگردد. احتمالاً عنصر منیزیم در گیاه کلزا تحت تنش شوری دارای یک نقش کلیدی در تداوم فتوسنتز می‌باشد (۱۰). احتمالاً منیزیم در فعالیت ATP- ase و تأمین انرژی واکنش‌های انرژی خواه همچون تولید ال- گلوتامات به‌عنوان پیش ماده پرولین نقش حائز اهمیتی را دارا می‌باشد. از طرفی ممکن است که به‌واسطه کاهش اندازه سلول‌ها و حجم بافت‌های گیاهی طی تنش شدید، از آنجا که مقدار منیزیم در اندام مورد مطالعه ثابت می‌باشد ولی با کوچکتر شدن بافت‌ها طی تنش ۱۵۰ میلی‌مولار مقدار ثابتی از منیزیم در حجم کمتر بافت مورد بررسی سبب افزایش درصد آن نسبت به شاهد شده باشد (۳۴). نتایج حاصله با نتایج کیشیموتو و همکاران (۲۰) مطابقت داشت.

نشاسته

میزان نشاسته در دو ژنوتیپ هایولا۴۰۱ و RGS0003 تا سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌دار افزایش و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش یافت. اما در ژنوتیپ شیرالی تا سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۳). بیشترین میزان نشاسته برگ در ژنوتیپ RGS0003 در سطح تنش ۱۰۰ میلی‌مولار به میزان ۳۴۹/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان نشاسته در ژنوتیپ RGS0003 در تیمار شاهد به میزان ۱۳۵/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد افزایش تجمع نشاسته به‌دلیل کاهش تبدیل نشاسته کلروپلاست‌ها به تریوز فسفات (قند سه ۱۱-کربنه) و خروج آن از کلروپلاست به سیتوزول به سبب کاهش فراهمی Pi (فسفات غیرآلی) و یا اختلال در کارآیی ناقل‌های تریوز فسفات باشد (۱۵). کاهش تجمع نشاسته در سطوح بالای تنش ناشی از اختلال در کارآیی آنزیم‌های درگیر در سنتز نشاسته مانند نشاسته سنتاز و ADP-گلوکزپیروفسفریلاز است (۱۵). ولی در ژنوتیپ شیرالی عدم کاهش بیوسنتز نشاسته در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده نشد که احتمالاً ناشی از عدم اختلال در فعالیت‌های آنزیمی درگیر در تولید نشاسته می‌باشد. نتایج پیشین آزمایش (۳۵) نشان داد که در شرایط تنش همبستگی معنی‌داری بین مقادیر نشاسته با قندهای محلول وجود نداشت. لذا علی‌رغم افزایش تجمع نشاسته در کلروپلاست، طی تنش، مقادیر قندهای محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. از طرفی افزایش تجمع قندهای محلول سبب کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش محتوای نسبی آب شده، همانگونه که Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+} و پرولین این اثر را نشان دادند (۳۴).

هدایت روزنه‌ای

روند تغییرات هدایت روزنه‌ای در تیمار شاهد و سه سطح شوری تمام ژنوتیپ‌ها از نظر آماری مشابه بود. در تمام تیمارهای مورد مطالعه از مرحله هفت برگی تا ابتدای ساقه رفتن (مرحله روزت) هدایت روزنه‌ای کاهش یافت و به کمترین میزان خود رسید، سپس در مرحله پیدایش آغازه‌های گل افزایش نشان داد (جدول ۴). در ۵۰ میلی‌مولار روند تغییرات هدایت روزنه‌ای تا اوایل گلدهی شبیه به شاهد بود ولی در اواخر گلدهی کاهش یافت. در ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار همواره هدایت روزنه‌ای از مقدار کمتری از شرایط شاهد و تیمار ۵۰ میلی‌مولار برخوردار بود. همچنین رقم هایولا۴۰۱ از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بوده، در صورتی‌که رقم شیرالی در شرایط ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را در اواخر گلدهی نشان داد. با شروع تنش (در مرحله هفت برگی)، گیاه تا مدتی هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه داشته ولی با تداوم دوره تنش اقدام به بستن روزنه‌های خود نموده است. از آنجا که تداوم باز بودن روزنه به آماس سلول‌های محافظ روزنه وابسته است، لذا کاهش در

میزان محتوای نسبی آب برگ می‌تواند دلیل دیگر تفاوت هدایت روزنه‌ای میان سطوح مختلف تنش باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای مؤید این مطلب است (جدول۲). نتایج حاصله با نتایج چاوز و همکاران (۹) مشابه بود. از سوی دیگر گیاه برای اجتناب از تنش و استفاده بهتر از مقدار آب محدودی که در اختیار دارد، روزنه‌هارا می‌بندد تا از اتلاف بیشتر آب جلوگیری شود (۴، ۹ و ۲۷).

وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ماده خشک و محتوای نسبی آب (جدول ۲) بیانگر اهمیت حفظ محتوای نسبی در افزایش ماده خشک در شرایط تنش می‌باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کلروفیل b و نشاسته و نیز کلروفیل b و محتوای نسبی آب برگ اشاره به نقش کلروفیل در فتوسنتز و بیوسنتز پلیمرهای ذخیره‌ای و در نتیجه تحمل خشکی دارد. بین کلروفیل a با کلروفیل b و کاروتنوئیدها همبستگی مثبت و معنی‌دار دیده شد، یعنی با افزایش کاروتنوئیدها و کلروفیل b، کلروفیل a در مراکز شیمیایی واکنش سیستم‌های نوری، افزایش یافت.

جدول ۱- میانگین مربعات ماده خشک، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، منیزیم، نشاسته، RWC و هدایت روزنه‌ای

Table 1- Mean squares for dry matter, chlorophyll a and b, carotenoids, magnesium, starch, RWC, and stomatal conductance

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	ماده خشک Dry matter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Clorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids	منیزیم Magnesium	نشاسته Starch	RWC	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
ژنوتیپ Genotypes	2	41.18 *	0.099 ns	0.146 **	0.0070 *	0.0068 **	3561.88 **	29.18 *	0.005 **
شوری Salinity	3	189.3 **	0.58 **	0.64 **	0.041 **	0.0075 **	25137.58 **	91.4 *	0.024 **
ژنوتیپ×شوری Genotypes*Salinity	6	7.88 ns	0.077 ns	0.062 **	0.006 *	0.001 **	10667.04 **	7.76 ns	0.00038 ns
خطا Error	22	12.76	0.051	0.0091	0.0019	0.000059	550.51	3.7	0.0005
CV	-	16.44	13.55	9.14	16.18	7.06	9.72	2.17	18.09

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

* and ** in significant at the P<0.05 and P<0.01 levels respectively. ns not significant

جدول۲- ضرایب همبستگی صفات ماده خشک، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، منیزیم، نشاسته، RWC، و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش شوری

Table 2- Correlations cofficients between dry matter, chlorophyll a and b, carotenoids, magnesium, starch, RWC, and stomatal conductance under salt stress

	ماده خشک Dry matter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Clorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids	منیزیم Magnesium	نشاسته Starch	RWC	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
ماده خشک Dry matter	1							
کلروفیل a Chlorophyll a	0.177	1						
کلروفیل b Clorophyll b	0.155	0.805 **	1					
کاروتنوئیدها Carotenoids	0.093	0.572 **	0.572 **	1				
منیزیم Magnesium	-0.238	-0.212	-0.476 **	0.031	1			
نشاسته Starch	0.170	0.311	0.455 **	0.272	0.012	1		
RWC	0.518 **	0.245	0.387 *	-0.198	-0.544 **	-0.00047	1	
هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	0.33 *	0.529 **	0.666 **	0.444 **	-0.588 **	0.399 *	0.505 **	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

* and ** in significant at the P<0.05 and P<0.01 levels respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ماده خشک، کلروفیل a، کلروفیلb، کارتنوئیدها، منیزیم، نشاسته و RWC در ارقام مختلف کلزا

Table 3- Mean comparison of dry matter, chlorophyll a and b, carotenoids, magnesium, starch, RWC, and stomatal conductance under salt stress in different Canola species

RWC (٪)		نشاسته Starch (mg/g dry weight)		منیزیم Magnesium (percent)		کاروتنوئیدها Cartenoids (mg/g fresh weight)		کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g fresh weight)		کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g fresh weight)		ماده خشک Dry matter (g/plant)		تیمار Treatment
92.11	a	245.4	cd	0.072	e	0.2	cd	0.97	cd	1.73	abcd	26.29	ab	V1S1
91.83	a	293.4	abc	0.079	de	0.26	bcd	1.32	b	1.75	abcd	24.78	abc	V1S2
86.33	b	332.5	ab	0.106	bc	0.42	a	1.41	ab	2.03	ab	18.18	bc	V1S3
86.14	b	172.6	ef	0.108	bc	0.26	bcd	0.92	de	1.58	abcd	17.02	bc	V1S4
89.98	ab	135.5	f	0.118	b	0.17	d	0.89	de	1.35	cd	29.42	a	V2S1
89.19	ab	246.9	cd	0.119	b	0.3	bc	0.91	de	1.51	bcd	22.81	abc	V2S2
86.08	b	349.1	a	0.146	a	0.35	ab	1.19	bc	1.94	abc	21.99	abc	V2S3
85.71	b	186.6	ef	0.162	a	0.33	ab	0.69	e	1.58	abcd	19.39	bc	V2S4
92.26	a	186.6	ef	0.032	f	0.2	cd	0.99	cd	1.56	abcd	24.52	abc	V3S1
90.15	ab	200.5	de	0.094	cd	0.27	bcd	1.02	cd	1.71	abcd	21.03	abc	V3S2
89.92	ab	254.7	cd	0.124	b	0.3	bc	1.59	a	2.14	a	18.59	bc	V3S3
86.25	b	290.3	bc	0.146	a	0.2	cd	0.7	e	1.2	d	16.66	c	V3S4

میانگین‌های در هر ستون، که دارای حروف مشابه می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in each column, followed by the same letters are not significantly different at the 1% probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح مختلف تنش شوری بر روند هدایت روزنه‌ای بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه

Table 4- Mean comparison of different salinity levels interaction on stomatal conductance ($cm.s^{-1}$)

اواخر گلدهی Late Flowering		گلدهی FLowering		پیدایش آغازه گل‌ها Flower initiation		ابتدای ساقه رفتن Early stem elongation		مرحله هفت برگی 7 leaves stage		تیمار Treatment
0.15	a	0.2	a	0.22	b	0.12	a	0.25	a	V1S1
0.06	cd	0.16	abc	0.18	bcd	0.09	ab	0.22	ab	V1S2
0.04	cd	0.16	abc	0.14	def	0.07	abcd	0.19	bc	V1S3
0.07	cd	0.08	de	0.09	fg	0.05	bcd	0.14	cde	V1S4
0.09	bc	0.17	ab	0.21	bc	0.06	bcd	0.18	bcd	V2S1
0.04	cd	0.11	cde	0.16	cde	0.04	bcd	0.15	cde	V2S2
0.07	cd	0.11	cde	0.11	ef	0.03	cd	0.13	de	V2S3
0.06	cd	0.07	de	0.03	h	0.02	d	0.11	e	V2S4
0.13	ab	0.18	a	0.28	a	0.08	abc	0.18	bcd	V3S1
0.04	cd	0.12	bcd	0.21	bc	0.05	bcd	0.17	bcd	V3S2
0.03	d	0.12	bcd	0.14	def	0.03	cd	0.15	cde	V3S3
0.04	cd	0.06	e	0.05	gh	0.02	d	0.13	de	V3S4

V1 ژنوتیپ هایولا 401

V2 ژنوتیپ RGS0003

V3 ژنوتیپ شیرالی

S1 شاهد (آب معمولی)

S2 شوری 50میلی‌مولار

S3 شوری 100 میلی‌مولار

S4 شوری 150 میلی‌مولار

میانگین‌های در هر ستون، که دارای حروف مشابه می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in each column, followed by the same letters are not significantly different at the 1% probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

به‌نظر می‌رسد عنصر منیزیم با تجمع در سلول‌های محافظ روزنه و ایفای نقش در بیوسنتز ترکیبات آلی کاهش‌دهنده پتانسیل اسمزی مانند گلوتامیک اسید سبب کاهش بیشتر هدایت روزنه‌ای به‌منظور جلوگیری از تلفات رطوبتی تحت تنش گردیده است. به‌نظر می‌رسد انباشت نشاسته در کلروپلاست و ایجاد فشار مکانیکی گرانول‌های درشت نشاسته به دستگاه فتوسنتزی، باعث محدودیت در فعالیت دستگاه فتوسنتزی طی تنش شده است. بین هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب و کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها و ماده خشک همبستگی مثبت و معنی‌داری دیده شد، که نشانگر اهمیت کلروفیل‌های a، b و کارتنوئیدها در زیست ساخت کربوهیدرات‌ها، حفظ میزان بالای محتوای نسبی آب و حفظ آماس و تداوم باز بودن سلول‌های روزنه و افزایش هدایت روزنه‌ای و درنتیجه افزایش ماده

خشک بوده است.

نتیجه‌گیری

با افزایش شدت تنش شوری، روند کاهش ماده خشک در ژنوتیپ شیرالی با شیب کندتری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر صورت گرفت. با توجه به همبستگی مثبت ماده خشک با محتوای نسبی آب و نظر به اینکه ژنوتیپ شیرالی در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار از بالاترین میزان محتوای نسبی آب برخوردار بوده، نشانگر نقش حائز اهمیت حفظ محتوای نسبی آب در ممانعت از کاهش هرچه بیشتر ماده خشک می‌باشد. افزایش رنگدانه‌های کلروفیل‌های a، b و کارتنوئیدها تا شوری ۱۰۰ میلی‌مولار می‌تواند نشان‌دهنده افزایش غلظت کلروپلاست به‌دلیل کاهش محتوای نسبی آب و کاهش حجم سلول ناشی از تنش باشد. در نتیجه غلظت رنگیزه‌ها در واحد حجم سلول افزایش یافت. با افزایش شدت تنش، کاهش ظرفیت فتوسنتزی احتمالاً به‌دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده و ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست‌ها به‌علت اختلال در غشای تیلاکوئید، تخریب مولکول‌های کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم کلروفیلاز و عدم ثبات کمپلکس پروتئین – رنگدانه و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم، کلر و ROS[1] ناشی از آن بوده است. ژنوتیپ شیرالی اگرچه در سطح شاهد کمترین درصد منیزیم در این ژنوتیپ به شدت افزایش یافته و در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به ژنوتیپ RGS0003 در سطح پایین‌تری قرار گرفت هرچند افزایش بسیار زیاد آن نسبت به شرایط شاهد قابل تأمل است. میزان هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ شیرالی در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار در پایین‌ترین سطح نسبت به دو ژنوتیپ دیگر قرار داشت. احتمالاً ژنوتیپ شیرالی در این سطوح با کاهش هدایت روزنه‌ای و بستن روزنه‌ها محتوای نسبی آب را در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار در بالاترین میزان نگهداشته و در ۱۵۰میلی‌مولار از افت شدید آن جلوگیری نموده است لذا کاهش ماده خشک نیز با شیب بسیار ملایمی صورت پذیرفت. به نظر می‌رسد ژنوتیپ شیرالی با استفاده از مکانیزم‌های اجتناب از تنش همانند کاهش سطح برگ، حفظ محتوای نسبی آب و همچنین افزایش محتوای کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار به مقابله با خشکی ناشی از تنش شوری پرداخته است. به‌نظر می‌رسد محتوای نسبی آب یکی از مؤلفه‌های فیزیولوژیک کارآمد برای ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های کلزا تحت تنش شوری محسوب می‌گردد. با توجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که در شرایط استفاده از آب‌های دارای کیفیت پایین، ژنوتیپ شیرالی از پاسخ فیزیولوژیکی مناسب‌تری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر برخوردار بوده است.

References

1. Ahmadi, H., and Niazi Ardekani, J. 2006. The effect of water salinity on growth and physiological stages of eight Canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Irrigation Science 25: 11-20.
2. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
3. Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. CRC Critical. Review Plant Science, 13: 17-42.
4. Ashraf, M. 2001. Relationships between growth and gas exchange characteristics in some salt-tolerant amphidiploid Brassica species in relation to their diploid parents. Environmental and Experimental Botany 45: 55-163.
5. Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora Journal, 99: 361-376.
6. Ashraf, M., and Ali, Q. 2007. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany 63: 266-273.
7. Ashraf, M. and Mc Neilly, T. 2004. Salinity tolerance in some brassica oilseeds. Critical. Review Plant Science 23: 154-174.
8. Blumwald, E., Aharon, S. G., and Apse, M. P. 2000. Sodium Transport in Plant Cells. Biochimica et Biophysica Acta, 1465 (2000): 140-151.
9. Chaves, M. M., Maroco, J. P., and Pereira, J. S. 2003. Understanding plant response to drought: from genes to the whole plant. Plant Biology 30: 239-264.
10. Ding, Y., Luo, W., and Xu, G. 2006. Characterization of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. Annals of Applied Biology 149: 111-123.
11. Doganlar, Z. B., Demir, K., Basak, H., and Gul, I. 2010. Effects of salt stress on pigment and total soluble protein contents of three different tomato cultivars. African Journal of Agricultural Research 5: 2056-2065.
12. Dubey, R. S. 1997. Photosynthesis in plants under stressful conditions. In: P. M. page et al. (ed.) Handbook of photosynthesis. New York: Marcel Dekker, pp.859-875.

1- Reactive oxygen species

13. Francois, B. B. 2007. Effect of salinity on germination and seedling growth of canola. PhD thesis. Agricultural Sciences at the University of Stellenbosch p: 73.
14. Francois, L. E. 1994. Growth, seed yield, and oil content of canola grown under saline conditions. Agronomy Journal 86 (2): 233-237.
15. Hassibi, P., Nabipoor, M., and Moradi, F. 2010. Study of some cryoprotectives role to induce low temperature tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Electronic Journal of Crop Production 3 (1): 39-56. (in Persian with English abstract).
16. He, T., and Cramer, G. R. 1992. Growth and mineral nutrition of six rapid-cycling Brassica species in response to seawater salinity. Plant Soil Science 139: 285-294.
17. Irshad, M., Eneji, A. E., Khattak, R. A., and Khan, A. 2009. Influence of nitrogen and saline water on the growth and partitioning of mineral content in Maize. Journal of Plant Nutrition 32: 458-469.
18. Jamil, M., Rehman, S. H., and Rha, E. S. 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica Oleracea capitata* L.). Pakistan Journal of Botany 39: 753-760.
19. Kattab, H. 2007. Role of glutathione and polyadenylic acid on the oxidative defense systems of two different cultivars of canola seedlings grown under saline condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 1 (3): 323-334.
20. Kishimoto, K., Ishijima, S., and Ohnishi, M. 2003. Characterization of membrane ATP-ase activities of spinach chloroplasts. International journal of biological macromolecule 3 (2): 61-68.
21. Le-Dily, F., Billard, J. P., Le-Saos, J., and Huault, C. 1993. Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. Plant Physiology and Biochemistry 31: 303-310.
22. Maathuis, F. J. M., and Amtmann, A. 1999. K^+ nutrition and Na^+ toxicity. The basis of cellular K^+/Na^+ ratios. Annual Botany 84: 123-133.
23. Mahmood, S. S., and Athar, H. R. 2003. Intra specific variability in sesame (*sesamum indicum* L.) for various quantitive and qualitive attributes under differential salt regimes. Journal of Science Research 14 (2): 177-186.
24. Misra, A. N., Latowski, D., and Strzalka, K. 2006. The xanthophylls cycle activity in Kidney Bean and Cabbage leaves under salinity stress. Russian Journal of Plant Physiology 53: 102-109.
25. Pessarakli, M. M., Morgan, P. V., and Gilbert, J. J. 2005. Dry- Matter yield, protein synthesis, starch, and fiber content of barley and wheat plants under two irrigation regimes. Journal of Plant Nutrition 28 (7): 1227-1241.
26. Pinheiro, C., Chaves, M. M., and Ricardo, C. P. 2001. Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stems and leaves of (*Lupinus albus* L.). Journal of Experiment Botany 52: 1063-1070.
27. Qasim, M., Ashraf, M., Ashraf, M. U., Rehman, Y. S., and Rha, E. S. 2003. Salt induced changes in two canola cultivars differing in salt tolerance. Biologia Plantarum 46 (4): 629-632.
28. Qi-lin, D., Chen, C., Bin, F., Ting-ting, L., Xia, T., Yuan-ya, G., Ying-kun, S., Jin, W., and Shi-zhang, D. 2009. Effects of NaCl treatment on the antioxidant enzymes of oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedlings. African Journal of Biotechnology 20: 5400-5405.
29. Ritchie, S. W., and Nguyen, H. T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.
30. Saeedipour, S., Nabipour, M., and Moradi, F. 2007. Effect of salinity stress on some physiological mechanisms aspects of different Iranian Rice cultivar. PhD thesis. Shahid Chamran University. Ahvaz, Iran. p.116. (in Persian with English abstract).
31. Shamsoddin saied, M., and Farahbakhsh, H. 2009. Salt stress effect on yield and some agronomic and physiologic traits of two corn hybrid at Kerman region. The plant production 32 (1). 13-24. (in Persian).
32. Sheligl, H. Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal 47-51. (in Germani).
33. Singh, A., and Dubey, K. 1995. Changes in chlorophyll a and b contents and activities of photosystems I and II in rice seedlings induced by NaCl. Photosynthetica 31: 489-499.
34. Tahmasbi, F. 2010. Physiological investigation of saline water irrigation from NaCl and $CaCl_2$ sources on three genotypes of canola (*Brassica napus* L.) in Ahvaz climate condition. M.Se thesis. Shahid Chamran University. Ahvaz, Iran. p.114 (in Persian with English abstract).
35. Tahmasbi, F., Hassibi, P., and Meskarbashee, M. 2013. The evaluation of some physiological and biochemical variations of salt water irrigation tolerance in three canola genotypes. The Plant Production 36 (2): 75-86. (in Persian).
36. Valdez-Aguilar, L., Grieve, A. C. M., Poss, J., and Layfie, D. A. 2009. Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: II. Mineral Ion Relations. Hortscience 44 (6): 1726-1735.
37. Zhao, G. Q., Ma, B. L., and Ren, C. Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science 47: 123-131.
38. Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 53: 247-273.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 1, Spring. 2016, p. 144-153

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۵۳-۱۴۴

Effect of Different Salinity levels on some Photosynthetic Characters of Canola (*Brassica napus* L.) Cultivars

F. Tahmasbi[1]- P. Hassibi[2]- M. Meskarbashi[3]

Received: 22-05-2014
Accepted: 17-05-2015

Introduction

Salinity is one of the most important factors limiting crop production in arid and semiarid regions of the world that affects crop yield. Salt tolerance of Brassica species are very complex due to genetic relationships. Because of low erucic acid (less than 2% of total fatty acids) and glucosinolates contents (less than 3 µmol g^{-1}), oil of Canola has many consumers around the world. Because Canola have tolerance potential against toxicity of salinity and its minerals, its growth can be successful in saline condition. According to the recent ongoing drought and the need to use low quality irrigation water for crops such as Canola, aim of this experiment was to evaluate the effect of salinity on changes in carbon fixation process and photosynthetic pigments of three Canola genotypes under salinity as well as determine most salt tolerant genotype for use in saline regions.

Material and Methods

An experiment was conducted in the greenhouse of Shahid Chamran University during 2007-2008 growing season in factorial test based on a completely randomized design with four replications. The first factor (genotype) included Hayola 401, RGS0003 and Shiraly and the second factor (salinity levels) had four levels of salinity (50, 100 and 150 mM NaCl) as well as distilled water as a control. Sources of salinity were NaCl and $CaCl_2$ with equal ratio as most resembles to lower water quality resources in the region. Date and time of stress were considered four weeks after planting (four-leaf stage). A Stepped irrigation method using saline water was done every 12 days over three steps period. To perform this study 10 liters volume pots were used. Three pots per each treatment, and totally 144 pots were used. SAS (version 9.1), Excel and MSTAT-C software's was used for statistical analysis. The comparison of means was done by Duncan method.

Results and Discussion

The results showed that content of chlorophyll a, b and carotenoids in all three genotypes increased to 100 mM, while decreased at 150 mM. Health and invulnerability of main photosynthetic pigments at 100 mM NaCl, can be considered as an important reason for salt tolerance in the evaluated canola cultivars. Reducing the absorption of water due to stress caused by salinity reduced nutrient uptake. Toxicity of chlorine and sodium also leads to inhibition of plant growth and dry matter. Magnesium concentration raised with increasing salinity compared to control. It seems that the magnesium concentration in stomatal guard cells decreased osmotic potential and play a role in the biosynthesis of organic compounds such as glutamic acid. So, despite ABA-induced stomatal closure, the stomatal openings, even in small amounts remain photosynthesis activities. Probably, magnesium has a key role in the continuing photosynthesis of Canola under salinity. The leaf starch in the genotype Shiraly significantly increased to 150 mM salinity level. Reduction of starch in high levels of salt stress interferes with enzymes efficiency involved in the starch biosynthesis, such as starch synthase and ADP-glucose pyrophosphorylase. The trend of variation in stomatal conductance was similar to 50 mM in the early flowering, but a sharp decrease was observed at late flowering compare to control. When stress started on the four-leaf stage, the plant for some time kept stomatal conductance at maximum level, but continuation stress period led to close stomata. Thus, reducing the amount of leaf relative water content can be considered as the reason of different stomatal conductance among the different levels of salt stress. A significant positive correlation between relative water content and stomatal conductance confirms this results. On the other hand to avoid stress and better use of the limited amount of available water, the plants closed stomata to prevent more water loss.

1- Former M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: faranaktahmasbi@yahoo.com)

Conclusions

It seems that genotype Shiraly using some mechanisms to avoid stress, such as maintaining relative water content, as well as increase the content of chlorophyll a and b up to 100 mM. Moreover, the concentration of magnesium up to 150 mM, has endured salinity.

Keywords: Chlorophyll a and b, Magnesium, Salinity, Starch, Stomatal conductance