علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۳ (ص ۴۸۷-۴۷۳)

تعدیل تأثیرات شوری بر فتوسنتز و برخی صفات ارقام کلزا با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا

عباس ده‌شیری[۱] و سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی[۲*]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استاد، گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۴/۵)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا بر تحمل شوری گیاه کلزا (*Brassicc napus*) تأثیر سطوح مختلف شوری (آبیاری با آب شور با هدایت الکتریکی معادل ۵ ، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر همراه با شاهد بدون شوری) در سه محیط با سه سطح غلظت دی‌اکسید کربن هوا (شامل غلظت معمولی (۳۵۰ppm) و غلظت‌های دو و سه‌برابر) بر سه رقم کلزا شامل اکاپی (زمستانه)، RGS003 (بهاره) و زرفام (بینابین) در گلخانهٔ دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال‌های زراعی ۱۳۸۸-۸۹ و ۱۳۸۹-۹۰ مطالعه شد. هر سطح تیمار دی‌اکسید کربن، یک محیط در نظر گرفته شد و دو تیمار دیگر به‌صورت فاکتوریل در طرح پایهٔ کاملاً تصادفی و با سه تکرار، در هر محیط اعمال شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا سطح ppm ۱۰۵۰، میزان فتوسنتز افزایش پیدا کرد (حدود سه‌برابر) و با افزایش سطح شوری تا ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، میزان فتوسنتز ۲۱ درصد کاهش یافت. غلظت سه‌برابر دی‌اکسید کربن سبب کاهش تأثیر شوری بر فعالیت فتوسنتز شد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن با افزایش فتوسنتز، کاهش تعرق و افزایش کارایی مصرف آب توانست آثار منفی شوری را کاهش دهد. کارایی مصرف آب با افزایش دی‌اکسید کربن افزایش و با افزایش شوری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: **دی‌اکسید کربن هوا، شوری، فتوسنتز، کلزا.**

مقدمه

شوری آب و خاک از محدودیت‌های اصلی کشت در مناطق گرم و خشک از جمله ایران محسوب می‌شوند. حدود ۳۶ درصد (۶/۸ میلیون هکتار) از اراضی کشاورزی ایران دارای خاک‌های مبتلا به درجات مختلف شوری است (Moumeni, 2005). افزایش روزافزون جمعیت و لزوم تأمین امنیت غذایی و محدودیت منابع آب مناسب، استفاده از آب‌های کم‌کیفیت از جمله آب‌های شور را ایجاب می‌کند (Mohammad *et al*., 1998). بنابراین مطالعات گسترده به‌منظور دستیابی به راهکارهای کاهش خسارات شوری و افزایش بهره‌وری از منابع آب و خاک دچار محدودیت شوری ضرورت دارد. تحمل گیاهان به شوری، هم در بین گونه‌ها و هم در بین ارقام مختلف هر گونه تفاوت دارد (Taize & Ziger, 2003). کلزا از دانه‌های روغنی مهم در جهان است که بعد از سویا و نخل روغنی سومین منبع مهم تولید روغن خوراکی محسوب می‌شود. حدود ۹۰ درصد روغن خوراکی مصرفی در ایران، از محل واردات تأمین می‌شود. گیاه کلزا با ویژگی‌های خاص خود در اغلب اقلیم‌های کشور امکان کشت‌وکار دارد و تناوب مناسبی برای غلات است که حدود ۷۰ درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی را شامل می‌شود (Dehshiri, 1998).

* تلفن: ۰۹۱۲۱۴۸۱۶۳۷
E-mail: modaresa@modares.ac.ir

کلزا در برخی منابع جزو گیاهان متحمل به شوری محسوب شده است. از جمله Francois (1994) حد آستانهٔ تحمل به شوری کلزا را در آزمایش مزرعه‌ای ۹ دسی‌زیمنس بر متر و درصد کاهش عملکرد در بالای حد آستانه را ۱۲ درصد به‌ازای افزایش هر واحد شوری به‌دست آورد که بر این اساس باید کلزا را جزو گیاهان متحمل محسوب کرد. از طرفی غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر به‌دلیل فعالیت‌های بشری در حال افزایش است. محققان پیش‌بینی می‌کنند که غلظت CO_2 جو از ۳۷۰ppm کنونی به ۵۵۰ppm در هوا تا اواسط قرن حاضر افزایش پیدا کند (Ainaworth *et al*., 2004) و در پایان قرن حاضر به ۷۰۰ppm برسد (Mirwais, Qaderi & Reid, 2005). افزایش غلظت CO_2 بر وضعیت رشد گیاهان تأثیرگذار است. از آنجا که رابیسکو (RUBPC- ase) در جو کنونی از CO_2 اشباع نشده است، این افزایش در گیاهان سه‌کربنه پتانسیل جذب CO_2 فتوسنتزی خالص برگ را تا حد زیادی افزایش خواهد داد (Drake *et al*., 1997). نتایج تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده که با افزایش غلظت CO_2، کارایی مصرف آب، فتوسنتز خالص، تولید زیست‌توده و عملکرد در اغلب گیاهان افزایش می‌یابد (Kimball *et al*., 2002). این موارد ممکن است بر سامانه‌های تولید کشاورزی تأثیرات مهمی داشته باشد.

گزارش‌های متعددی دربارهٔ کاهش کلی فتوسنتز بر اثر انواع شوری در گیاهانی نظیر پنبه، پیاز، حبوبات، گوجه‌فرنگی، گندم، جو، ارزن مرواریدی، ذرت، نخود، چغندرقند، برنج و بسیاری از گیاهان دیگر موجود است (Boyer, 1965; Dounton, 1997; Papp *et al*., 1983; McGree, 1986).

در شرایط شور، تراوش غشای پلاسمایی در گلیکوفیت‌ها افزایش می‌یابد. در حقیقت رابطهٔ مستقیمی بین شوری محیط و مقدار تراوش وجود دارد. Gibon *et al*. (2000) با آزمایش روی دیسک‌های برگ کلزا در محیط شور مشاهده کردند که با افزایش شوری محیط دیسک‌های برگ، پایداری غشای سلولی کاهش یافت. گزارش‌های زیادی در مورد افزایش و کاهش مقدار کلروفیل در گونه‌های مختلف گیاهی بر اثر شوری وجود دارد. به‌طور کلی، شوری مقدار کلروفیل گیاهان را کم می‌کند (Garg & Lahiri, 1986; Garg & Garg, 1980) درحالی که مطالعات دیگر بیان می‌دارند که شوری، مقدار کلروفیل را افزایش می‌دهد؛ از جمله افزایش کلروفیل در محیط‌های شور در گوجه‌فرنگی، پنبه و دیگر گیاهان غیرنمک‌دوست مشاهده شده است (Strogonov, 1974).

افزایش CO_2 نه‌تنها رشد و عملکرد گیاهان زراعی سه‌کربنه را بهبود می‌بخشد، بلکه روابط آبی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به‌طوری که تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش و کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Tubaz *et al*.,1994; Donnelly *et al*., 2000; Ward & Strain, 1999). محققان افزایش حدود ۱۰۰ درصدی فتوسنتز خالص تمام برگ‌های گندم از جمله برگ پرچم گندم بهاره در پاسخ به CO_2 زیاد (۶۸۰ قسمت در میلیون) را گزارش کردند (Donnelly *et al*., 2000). تأثیرات متقابل شوری (NaCl) و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری بر رشد، فتوسنتز، روابط آبی و ترکیبات شیمیایی گیاه هالوفیت *Aster tripolium* L. (Geissler *et al*., 1988) نشان داد که افزایش گاز کربنیک اتمسفر تا سطح ۵۲۰ppm به افزایش معنی‌دار فتوسنتز و کارایی مصرف آب منجر شد.

یافته‌های مذکور احتمال کاهش تأثیرات شوری بر گیاه کلزا را تقویت می‌کند، بنابراین بررسی تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر واکنش ارقام کلزا در شرایط شور ضرورت دارد و می‌تواند وضعیت کشت کلزا در اراضی دچار محدودیت شوری را با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن هوا روشن کند. این تحقیق به همین هدف انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و داخل گلدان‌هایی همسان انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل رقم با سه تیپ رشد متفاوت [سه رقم کلزا شامل اکاپی (زمستانه)، RGS003 (بهاره) و زرفام (بینابین)]، غلظت شوری (آبیاری با آب شور دارای EC معادل ۵ ، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر همراه با شاهد بدون شوری) و غلظت CO_2 هوا [سه مقدار غلظت معمول CO_2 (۳۵۰ میکرومول بر مول) و

غلظت های دو و سه‌برابر مقدار غلظت فعلی اتمسفر] بود. هر سطح تیمار CO_2، یک محیط (کرت اصلی) در نظر گرفته شد و دو تیمار دیگر به‌صورت فاکتوریل در طرح پایهٔ کاملاً تصادفی و در سه تکرار، در هر محیط (سطح تیمار CO_2) اعمال شد. با توجه به سرباز بودن اتاقک‌ها، دما و رطوبت داخل آنها تحت تأثیر شرایط هوای بیرون قرار داشت. شدت نور داخل اتاقک در ساعت ۱۲ معادل ۴۵۰ وات بر مترمربع بود. بذور سه رقم کلزا (رقم اکاپی با تیپ رشد زمستانه، رقم زرفام با تیپ رشد بینابین و رقم RGS003 با تیپ رشد بهاره)، تولیدی سال ۱۳۸۸ از شرکت های تولیدکنندهٔ بذر داخلی دریافت شد. گلدان‌های بیست‌کیلویی سیاه با ابعاد: قطر دهانه ۲۸ سانتی متر، قطر کف ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد. ته گلدان پنج سوراخ هر یک به قطر۱۰ میلی‌متر ایجاد شد. گلدان‌ها با خاک زراعی با بافت سیلتی لوم (۵۸ درصد شن، ۲۸ درصد سیلت و ۱۴ درصد رس) پر شد تا وزن نهایی به ۱۸ کیلوگرم رسید. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. پس از پر کردن گلدان‌ها دو بار آبیاری انجام گرفت تا خاک گلدان‌ها اشباع شود. پس از ۴۸ ساعت، کاشت (در اواخر مهر) صورت گرفت و سپس آبیاری به اجرا درآمد. پس از سبز شدن تا مرحلهٔ خروج از روزت (شروع به ساقه رفتن-نیمهٔ اسفند) هر هفته یک بار آبیاری انجام گرفت. در مرحلهٔ پنج‌برگی بوته‌ها تنک شدند و نُه بوته در هر گلدان باقی ماند. براساس آزمون خاک به غیر از کود نیتروژن‌دار بقیهٔ عناصر به‌مقدار کافی در خاک مورد استفاده موجود بود. بنابراین کود نیترژون در سه قسمت قبل از کشت، خروج از روزت، و شروع گلدهی بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه و به گلدان‌ها اضافه شد. برای تهیهٔ شوری‌های مختلف از نمک طبیعی دریاچهٔ قم و آب شهری با هدایت الکتریکی معادل ۵۸۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متراستفاده شد. ترکیب آب شور مورد استفاده با EC معادل $10 ds.m^{-1}$ در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

ترکیبات	فسفر قابل استفادهP	پتاسیم قابل استفادهK	درصد رطوبت اشباع SP	هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع EC	اسیدیتهٔ گل اشباعpH	کربن آلیOC
واحدها	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	%(w/w)	$ds.m^{-1}$		%
مقادیر	۲۴/۶	۲۴۰	۲۸	۱/۷۶	۷/۷۲	۶/۱
ترکیبات	نیتروژن کلN	آهن قابل جذبFe	منگنز قابل جذبMn	روی قابل جذبZn	مس قابل جذبCu	کربنات کلسیم معادل $Ca(CO_3)_2$
واحدها	%	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	$Mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	(%)
مقادیر	۰/۱۷	۷/۵۶	۱۰/۴۶	۲/۸۶	۰/۶۲	۸/۹۶

جدول ۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب آبیاری (تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس)

ترکیبات	نسبت جذب سدیم (SAR)	هدایت الکتریکیEC	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سولفات SO_4	اسیدیته pH
واحدها		$\mu S.cm^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	
مقادیر	۳۸/۱	۱۰۴۹۶	۱۱۲	۵۴/۸	۱۳۲۴/۶	۷/۵
ترکیبات	بی‌کربنات HCO_3	پتاسیم K	کلراید Cl	کربنات CO_3	سدیم Na	برB
واحدها	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$
مقادیر	۷۳/۲	۳/۱۳	۲۴۳۲/۶	۰	۱۹۹۸/۷	۰/۴۸

آبیاری تا مرحلهٔ شروع به ساقه رفتن با آب معمولی و بر حسب نیاز گیاه انجام گرفت. با انتقال گلدان‌ها به داخل اتاقک‌ها و شروع اعمال تیمارها، آبیاری به‌نحوی انجام گرفت که بوته‌ها در معرض تنش خشکی قرار نگیرند، بدین صورت که درصد وزنی آب موجود در خاک در مرحلهٔ ظرفیت زراعی خاک (با اندازه‌گیری وزن خاک در نقطهٔ ظرفیت مزرعه و سپس خشکاندن در آون و اندازه‌گیری وزن خشک آن) محاسبه شد و با کاهش ۳۵

درصد مقدار آن، آبیاری انجام گرفت. مقدار آب در هر گلدان یکسان و حدود ۳۰ درصد بیشتر از مقدار مورد نیاز رسیدن به نقطهٔ ظرفیت زراعی درنظر گرفته شد.

به‌منظور اعمال تیمار گاز CO_2 اتاقک‌های رشد در داخل گلخانه به ابعاد ۹ متر طول، ۲ متر عرض و ارتفاع ۲/۵ متر ایجاد شد که روی آن با نایلون شفاف با قطر ۰/۱۵ میلی‌متر پوشانده شد. کف اتاقک‌ها به گونه‌ای طراحی شد که گلدان‌ها به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گیرند. سقف اتاقک‌ها با نایلون و با فاصلهٔ حدود ۲۰ سانتی‌متر از بالای دیواره پوشانده شد. به‌طوری‌که ضمن امکان برقراری تبادل آزاد رطوبت و دما، هوای داخل اتاقک به‌نسبت ساکن باشد و از تلاطم آن جلوگیری شود. گاز CO_2 با استفاده از کپسول تأمین شد. انتقال گاز به اتاقک‌ها با نصب مانومتر CO_2 روی کپسول و استفاده از شیلنگ پنوماتیک ۸×۱۰ میلی‌متر اجرا شد. شیلنگ اصلی به ترمینال وصل شد و از ترمینال برای هر اتاقک دو انشعاب گرفته و در طول گلخانه کشیده شد. انتهای شیلنگ مسدود شد و در طول شیلنگ سوراخ‌هایی تعبیه گردید و سعی شد سوراخ‌های ابتدایی کوچک باشد و به‌تدریج بر قطر سوراخ‌ها افزوده شود. غلظت گاز در اتاقک‌ها اندازه‌گیری و متناسب با آن گاز CO_2 تزریق شد. تیمار غلظت CO_2 به‌مدت دو ماه (از مرحلهٔ شروع به ساقه رفتن تا رسیدن دانه-مصادف با نیمهٔ اسفند تا نیمهٔ اردیبهشت) و روزانه ۸ ساعت ادامه یافت. گلدان‌ها تا مرحلهٔ شروع ساقه رفتن بیرون از گلخانه نگهداری شد تا در معرض سرمای لازم قرار گیرد و نیاز سرمایی تأمین شود. با شروع مرحلهٔ ساقه رفتن گیاه (کد ۲ در سیستم سیلوستر-برادلی و میکپیس)، گلدان‌ها به اتاقک‌ها منتقل شدند و تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی (شوری و CO_2) قرار گرفتند.

اندازه‌گیری‌ها

شاخص‌های فتوسنتزی شامل میزان فتوسنتز، تعرق، مقاومت روزنه‌ای و غلظت CO_2 بین‌سلولی در سال دوم آزمایش با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز LI-COR 6400 و در مرحلهٔ شروع گلدهی اندازه‌گیری شد. از هر کرت سه بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و روی جوان‌ترین برگ‌های بالغ و تحت شرایط رطوبت نسبی (۱۶ درصد) و درجهٔ حرارت طبیعی (۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) در اتاقک‌های سرباز اندازه‌گیری انجام گرفت. محتوای نسبی آب برگ (RWC) با روش Ritchie *et al.* (1990) اندازه‌گیری شد. سبزینگی برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر (Cholorophyll Meter, Minolta, SPAD-520, Japan) اندازه‌گیری شد. به‌منظور افزایش دقت در اندازه‌گیری، سبزینگی برگ از سه بوته و از سه مکان روی برگ موردنظر از هر بوته اندازه‌گیری و میانگین آنها به‌عنوان عدد نهایی یادداشت شد. نشت یونی غشا با روش Tobita & Dionisio-Sese (1998) اندازه‌گیری شد. پرولین با روش معرفی‌شده توسط Bates *et al.* (1973) اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب به‌صورت مادهٔ خشک تولیدشده بر واحد آب مصرف‌شده در سال دوم آزمایش محاسبه شد. شاخص برداشت به‌صورت نسبت دانهٔ تولیدی به کل مادهٔ خشک تولیدی محاسبه شده است.

روش‌ها و محاسبات آماری

تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) صورت گرفت. شکل‌ها و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار WORD رسم شد. نتایج به‌علت معنی‌دار بودن آزمون بارتلت به‌صورت سالیانه ارائه شده است.

نتایج و بحث

میزان فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه) تحت تأثیر غلظت دی‌اکسید کربن هوا قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا، میزان فتوسنتز افزایش یافت، به‌طوری‌که با دوبرابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن، میزان فتوسنتز حدود دوبرابر؛ و با سه‌برابر شدن آن، میزان فتوسنتز حدود سه‌برابر شد. میزان فتوسنتز در هوای معمولی ۲/۸۶ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بود که در غلظت ۱۰۵۰ppm دی‌اکسید کربن هوا به ۸/۱۰ میکرومول رسید (جدول ۴). محققان افزایش حدود ۱۰۰ درصدی را در میزان فتوسنتز خالص تمام برگ‌های گندم از جمله برگ پرچم گندم بهاره در پاسخ به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (۶۸۰ قسمت در میلیون) گزارش کرده‌اند (Donnelly *et*

al., 2000). پژوهش‌های آزمایشگاهی نشان داده که با افزایش دی‌اکسید کربن، اغلب کارایی مصرف آب، فتوسنتز خالص، تولید زیست‌توده و عملکرد افزایش می‌یابد (Kimball *et al*., 2002). بررسی‌های Qaderi & Reid (2008) نیز نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، تعرق را کاهش و اسمیلاسیون خالص دی‌اکسید کربن و بازده مصرف آب را افزایش داد.

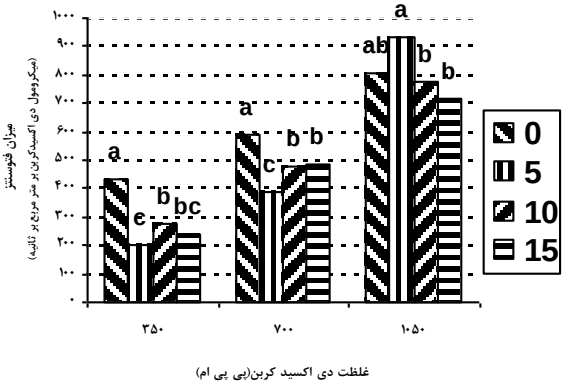
با افزایش سطح شوری میزان فتوسنتز کاهش یافت. با افزایش سطح شوری به ۵ دسی‌زیمنس، کاهش فتوسنتز معنی‌دار شد، اما اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس مشاهده نشد (جدول ۵). گزارش‌های متعددی دربارهٔ کاهش کلی فتوسنتز بر اثر انواع شوری در گیاهانی نظیر پنبه، پیاز، حبوبات، گوجه‌فرنگی، گندم، جو، ارزن مرواریدی، ذرت، نخود، چغندرقند، برنج و بسیاری از گیاهان دیگر موجود است (Boyer, 1965; Dounton, 1997; Papp *et al*., 1983; McGree, 1986). اولین اثر شوری بر گیاه کلزا، اثر اسمزی آن است. کلزا با بستن روزنه‌های خود به‌منظور کاهش تعرق و از دست دادن آب با این اثر کنار می‌آید. برگ‌های در معرض شوری دارای ویژگی‌هایی چون توسعهٔ عمودی سلول‌های مزوفیل و لایه‌های بیشتر سلول‌های مزوفیل و کاهش در فضاهای بین‌سلولی‌اند. دو فاکتور آخر، به مقاومت بیشتر مزوفیلی برای دی‌اکسید کربن می‌انجامد که همراه با افزایش مقاومت روزنه‌ای سبب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی می‌شود. این موضوع واکنش اکسیژناز رابیسکو را تقویت می‌کند، بنابراین به تنفس نوری بیشتر با هزینهٔ فتوسنتز منجر می‌شود (Geissler *et al*., 1988). در بسیاری از موارد عوامل کاهش‌دهندهٔ فتوسنتز بررسی شده‌اند، اما هیچ سازوکار واضحی برای جلوگیری از عمل فتوسنتز مشخص نشده است.

Iyengar & Reddy (1996) گزارش کردند که بسته شدن روزنه‌ها، از دست رفتن آب از طریق تعرق را به حداقل می‌رساند و بر دریافت دی‌اکسید کربن توسط کلروپلاست و سیستم‌های تبدیل انرژی اثر می‌کند و بنابراین به اختلال در فعالیت کلروپلاست می‌انجامد. هدایت روزنه‌ایِ بیشتر در گیاهان به‌عنوان عامل افزایش نفوذ دی‌اکسید کربن به داخل برگ‌ها و ازاین‌رو مقادیر بیشتر فتوسنتز مطلوب شناخته شده است. تنظیم اسمزی ضعیف، به هدررفت فشار روزنه‌ای و بسته شدن روزنه‌ها منجر می‌شود که آن نیز می‌تواند سبب کاهش تبادل گازها و فتوسنتز شود (Shannon, 1997).

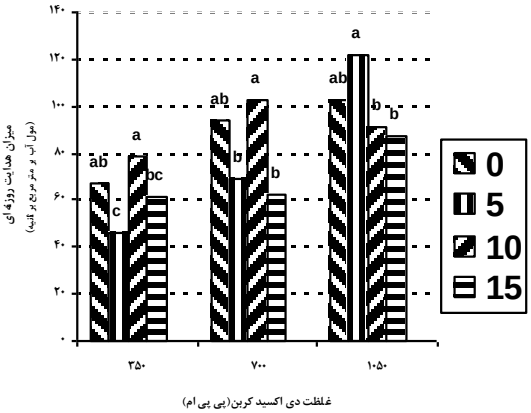
نتایج ارائه‌شده برای میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای برای شش گونه براسیکا هیچ نوع ارتباط معنی‌داری را بین این دو صفت نشان نداد (Ashraf, 2001). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر بازدارندگی غیرروزنه‌ای فتوسنتز تحت تنش شوری وجود دارد. گزارش شده است که این بازدارندگی غیرروزنه‌ای به‌علت افزایش مقاومت به انتشار دی‌اکسید کربن در فاز مایع از دیوارهٔ مزوفیل به محل احیای دی‌اکسید کربن در کلروپلاست و کاهش بازده رابیسکو (RUBPC-ase) است (Iyengar & Reddy, 1996).

در این بررسی اثر متقابل شوری و غلظت دی‌اکسید کربن هوا نیز کاملاً معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین معنا که هرچند با افزایش شوری میزان فتوسنتز در تمام سطوح غلظت دی‌اکسید کربن هوا کاهش یافت، کاهش در غلظت سه‌برابر، بسیار کمتر از غلظت معمول هوا بود. غلظت سه‌برابر دی‌اکسید کربن سبب کاهش تأثیر شوری بر فعالیت فتوسنتز شد یا همان‌طور که در شکل ۱ مشهود است، هرچند افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن هوا سبب افزایش شدید میزان فتوسنتز در تمام سطوح شوری شده است، در محیط دارای ۳۵۰ میکرومول دی‌اکسید کربن، اختلاف بین میزان فتوسنتز در سطوح مختلف شوری به‌نسبت زیاد است و این اختلاف در محیط دارای ۱۰۵۰ppm دی‌اکسید کربن کاهش یافته که بیانگر آن است که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن توانسته است اثر منفی شوری بر فتوسنتز را تا حدی خنثی کند. میزان هدایت روزنه‌ای روند مشابهی با میزان فتوسنتز داشت (شکل ۲) که بیانگر متناسب بودن میزان هدایت روزنه‌ای با میزان فتوسنتز است. برخلاف شوری، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن سبب بهبود فتوسنتز از طریق کاهش مقاومت روزنه‌ای می‌شود (Geissler *et al*., 1988). با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن میزان تعرق در تمام سطوح شوری افزایش یافت. در محیط دارای ۳۵۰ppm دی‌اکسید کربن میزان تعرق تا سطح ۱۰ دسی‌زیمنس شوری افزایش و سپس کاهش یافت، اما در

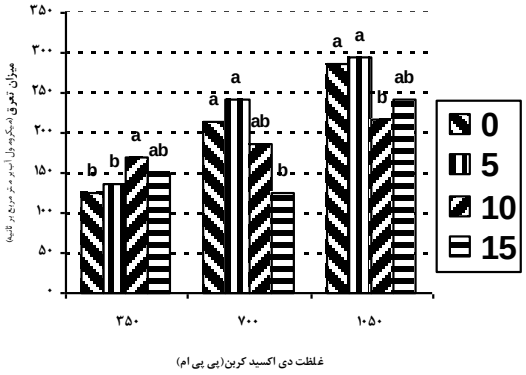
محیط‌های دارای ۷۰۰ppm و ۱۰۵۰ ppm دی‌اکسید کربن تعرق تا سطح ۵ شوری بدون تغییر ماند و سپس کاهش یافت (شکل ۳)، که ممکن است به‌علت باز ماندن روزنه‌ها در سطح ۳۵۰ppm به‌علت نیاز به دی‌اکسید کربن و بسته شدن تدریجی روزنه‌ها در سطوح بالاتر دی‌اکسید کربن به‌علت فراوانی دی‌اکسید کربن تفسیر شود. بررسی آثار متقابل سه‌جانبه نشان می‌دهد در رقم اکاپی میزان فتوسنتز با افزایش سطح شوری در غلظت معمولی دی‌اکسید کربن هوا کاهش یافته، اما در غلظت‌های ۷۵۰ppm و ۱۰۵۰ppm دی‌اکسید کربن هوا میزان فتوسنتز ثابت مانده است. بدین معنا که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا حدی توانسته است اثر منفی افزایش شوری بر میزان فتوسنتز را تعدیل کند. این وضعیت در رقم زرفام نیز مشاهده شده است، اما در رقم RGS003 وجود ندارد (جدول ۶).



شکل ۱. تأثیر شوری بر فتوسنتز در غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن (۱۳۹۰)



شکل ۲. تأثیر شوری بر هدایت روزنه‌ای در غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن (۱۳۹۰)



شکل ۳. تأثیر شوری بر تعرق در غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن (۱۳۹۰)

غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی در هر سه رقم در غلظت معمولی دی‌اکسید کربن هوا با افزایش شوری متغیر بود و ثبات نشان نداد، اما در غلظت‌های افزایش‌یافتهٔ دی‌اکسید کربن هوا، غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی در سطوح مختلف شوری ثابت ماند (جدول۶). تحقیقات Geissler *et al*. (1988) نشان داد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا موجب افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی و میزان اسیمیلاسیون خالص بالاتر معنی‌دار شد و بهبود کارایی مصرف آب در تیمارهای در معرض شوری را به دنبال داشت.

Dugas *et al.* (1997) دریافتند که مقدار تعرق با افزایش دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد و این کاهش برای گیاهان سه‌کربنه بیشتر است. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، میزان هدایت روزنه‌ای و در نتیجه مقدار تعرق کاهش یافت و کارایی مصرف آب گیاه افزایش پیدا کرد (Tubaz *et al*., 1994; Donnelly *et al*., 2000). بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و تابش فرابنفش بر کلزا نشان داد غلظت زیاد دی‌اکسید کربن، فتوسنتز خالص و کارایی مصرف آب و مقدار واکس اپی‌کوتیکول را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Mirwais, Qaderi & Reid, 2005). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، فتوسنتز خالص برگ دو گونه گیاه شور را تحریک کرد، در حالی که هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. این اثر با تیمارهای شوری یا غرقابی تغییر نیافت (Lenssen *et al*., 1995). افزایش دی‌اکسید کربن نه‌تنها رشد و عملکرد گیاهان زراعی سه‌کربنه را بهبود می‌بخشد، بلکه روابط آبی گیاه را نیز تحت تأثیر قرارمی‌دهد و تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش و توزیع آب افزایش می‌یابد (Ward & Strain, 1999).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس برخی شاخص‌های فتوسنتزی ارقام کلزا در تیمارهای شوری و دی‌اکسید کربن

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات			
		میزان فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای	غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی	میزان تعرق
گاز کربنیک	۲	۲۵۱/۴۶**	۰/۰۱۲۸**	۱۰۸۷۷۰**	۱۲/۱۰**
خطای اول	۶	۲/۱۰	۰/۰۰۰۱	۷۶۲۰	۰/۰۸
رقم	۲	۳/۵۹*	۰/۰۰۵۶**	۳۱۲۲۰**	۰/۹۴*
شوری	۳	۸/۸۸**	۰/۰۰۲۵**	۵۵۰۳^{ns}	۱/۳۱**
دی‌اکسید کربن × رقم	۴	۲/ ۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۱۴^{ns}	۱۱۴۹۳**	۰/۵۴^{ns}
دی‌اکسید کربن × شوری	۶	۷/۱۳**	۰/۰۰۲۵**	۱۴۲۵۲**	۱/۲۳**
شوری × رقم	۶	۵/۷۳**	۰/۰۰۱۷*	۱۵۵۴۶**	۰/۵۰^{ns}
دی‌اکسید کربن × رقم × شوری	۱۲	۷/۸۵**	۰/۰۰۴۹**	۱۱۳۵۵**	۰/۸۰**
خطای آزمایش	۶۶	۱/۰۱	۰/۰۰۰۷	۲۸۷۳	۰/۳۲
ضریب تغییرات		۱۹/۰۸	۲۳/۴۴	۱۸/۶۷	۲۸/۳۶

ns ، * و ** به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین برخی شاخص‌های فتوسنتزی در سطوح تیمار غلظت دی‌اکسید کربن در کلزا

نوع تیمار	سطوح دی‌اکسید کربن (ppm)	میزان فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (مول H_2O بر مترمربع بر ثانیه)	غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی (میکرومول بر مول)	میزان تعرق (میکرومول H_2O بر مترمربع بر ثانیه)
غلظت گاز کربنیک	۳۵۰	۲/۸۶^{c}	۰/۰۶^{c}	۳۳۹/۲۶^{a}	۱/۴۴^{c}
	۷۵۰	۴/۸۴^{b}	۰/۰۸^{b}	۲۹۲/۱۲^{a}	۱/۹۲^{b}
	۱۰۵۰	۸/۱۰^{a}	۰/۱۰^{a}	۲۲۹/۶۸^{b}	۲/۶۰^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین برخی شاخص‌های فیزیولوژیک در سطوح تیمار شوری در کلزا

نوع تیمار	سطوح شوری ($dS.m^{-}$)	میزان فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (مول آب بر مترمربع بر ثانیه)	غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی (میکرومول بر مول)	مقدار تعرق (میکرومول آب بر مترمربع بر ثانیه)
شوری	شاهد	۶/۱۰^{a}	۰/۰۸۸^{a}	۲۶۶/۰۵^{b}	۲/۰۸^{ab}
	۵	۵/۵۸^{b}	۰/۰۷۹^{ab}	۲۹۶/۳۵^{a}	۲/۲۴^{a}
	۱۰	۵/۰۶^{b}	۰/۰۹۱^{a}	۲۹۵/۷۴^{a}	۱/۹۱^{bc}
	۱۵	۴/۸۰^{b}	۰/۰۷۰^{b}	۲۸۹/۹۶^{ab}	۱/۷۲^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

صفات فیزیولوژیک

شوری بر تمام صفات مورد بررسی تأثیر کاملاً معنی‌دار داشت (جدول ۷). اثر غلظت دی‌اکسید کربن هوا و ارقام کلزا نیز بر اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول۷).

سبزینگی برگ که با دستگاه کلروفیل‌متر SPAD اندازه‌گیری شد، نشان داد که با افزایش شوری، سبزینگی افزایش یافته و در تیمار ۱۵ دسی‌زیمنس بیشترین مقدار را داشته است (جدول ۹). این موضوع در مشاهدهٔ ظاهری تیمارها نیز کاملاً مشهود و واضح بود. براساس تحقیقات برخی از پژوهشگران، شوری مقدار کلروفیل گیاهان را کم می‌کند (Garg & Lahiri, 1986; Garg & Garg, 1980) درحالی‌که مطالعات متعدد دیگر حاکی از آن است که شوری مقدار کلروفیل را افزایش می‌دهد (Strogonov, 1974). افزایش کلروفیل در محیط‌های شور در گوجه‌فرنگی، پنبه و دیگر گیاهان غیرنمک‌دوست مشاهده شده است. Strogonov (1974) نشان داد که کلروفیل a و b هر دو در شرایط شوری در تعدادی از گیاهان افزایش چشمگیری داشت.

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین تأثیرات متقابل صفات گیاهی در سطوح مختلف تیمارهای رقم، شوری و غلظت دی‌اکسید کربن در کلزا

رقم	دی‌اکسید کربن (ppm)	شوری ($dS.m^{-1}$)	میزان فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (مول H_2O بر مترمربع بر ثانیه)	غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی (میکرومول بر مول هوا)	میزان تعرق (میکرومول H_2O بر مترمربع بر ثانیه)
اکاپی	۳۵۰	۰	۴/۰۸^{a}	۰/۰۳۰^{a}	۱۹۶/۱۳^{a}	۰/۸۶^{a}
		۵	۲/۲۰^{c}	۰/۰۵۰^{a}	۳۹۹/۶۵^{a}	۱/۳۴^{a}
		۱۰	۳/۶۴^{ab}	۰/۰۵۷^{a}	۳۵۸/۱۳^{ab}	۱/۴۴^{a}
		۱۵	۲/۵۲^{c}	۰/۰۵۷^{a}	۲۹۲/۱۷^{b}	۱/۴۴^{a}
	۷۵۰	۰	۵/۵۴^{a}	۰/۰۵۷^{b}	۲۴۳/۲۴^{a}	۱/۵۵^{a}
		۵	۴/۷۲^{a}	۰/۰۴۷^{b}	۲۸۵/۳۲^{a}	۲/۹۱^{a}
		۱۰	۳/۸۴^{a}	۰/۱۸۳^{a}	۲۷۷/۳۸^{a}	۲/۲۳^{a}
		۱۵	۵/۶۴^{a}	۰/۰۷۰^{b}	۲۹۶/۶۹^{a}	۱/۳۵^{a}
	۱۰۵۰	۰	۱۰/۰۴^{a}	۰/۱۲۰^{a}	۲۲۵/۴۲^{a}	۲/۸۸^{a}
		۵	۸/۹۸^{a}	۰/۱۱۳^{a}	۲۳۹/۴۶^{a}	۲/۵۳^{ab}
		۱۰	۷/۱۳^{a}	۰/۰۴۰^{b}	۱۶۴/۴۹^{b}	۱/۳۶^{b}
		۱۵	۹/۱۸^{a}	۰/۰۷۷^{ab}	۲۱۲/۵۹^{ab}	۲/۳۲^{ab}
زرفام	۳۵۰	۰	۵/۹۹^{a}	۰/۱۰۳^{a}	۳۲۸/۷۶^{c}	۱/۳۲^{a}
		۵	۰/۵۷^{c}	۰/۰۴۳^{b}	۴۱۴/۶۵^{b}	۱/۷۱^{a}
		۱۰	۰/۹۸^{c}	۰/۱۲۰^{a}	۶۰۷/۸۴^{a}	۱/۹۵^{a}
		۱۵	۲/۴۷^{b}	۰/۰۶۰^{b}	۲۹۴/۰۴^{c}	۱/۵۱^{a}
	۷۵۰	۰	۶/۵۴^{a}	۰/۱۲۷^{a}	۳۰۰/۰۳^{a}	۲/۶۰^{a}
		۵	۲/۱۷^{c}	۰/۰۷۷^{a}	۳۵۷/۰۸^{a}	۱/۹۹^{a}
		۱۰	۷/۹۲^{a}	۰/۰۹۷^{a}	۲۶۷/۴۷^{a}	۲/۵۴^{a}
		۱۵	۴/۰۸^{b}	۰/۰۷۰^{a}	۳۱۲/۴۱^{a}	۱/۳۱^{a}
	۱۰۵۰	۰	۷/۱۰^{a}	۰/۰۹۷^{a}	۲۳۰/۵۸^{a}	۲/۴۶^{a}
		۵	۹/۴۵^{a}	۰/۱۱۷^{a}	۲۲۸/۳۱^{a}	۳/۰۵^{a}
		۱۰	۷/۷۱^{a}	۰/۱۱۷^{a}	۲۴۸/۴۴^{a}	۲/۵۱^{a}
		۱۵	۶/۷۵^{a}	۰/۱۳۰^{a}	۲۶۱/۳۰^{a}	۳/۰۶^{a}
RGS	۳۵۰	۰	۲/۹۶^{a}	۰/۰۶۷^{a}	۳۰۵/۳۹^{ab}	۱/۵۳^{a}
		۵	۳/۱۹^{a}	۰/۰۴۳^{a}	۲۱۵/۸۶^{b}	۱/۰۰^{b}
		۱۰	^{a}۳/۶۵	۰/۰۶۰^{a}	۲۷۱/۹۰^{b}	۱/۷۲^{a}
		۱۵	۲/۱۰^{a}	۰/۰۶۷^{a}	۳۸۶/۶۵^{a}	۱/۵۲^{a}
	۷۵۰	۰	۵/۵۵^{a}	۰/۱۰۰^{a}	۳۱۶/۰۶^{a}	۲/۳۰^{a}
		۵	۴/۷۳^{b}	۰/۰۸۳^{ab}	۲۸۹/۷۰^{a}	۲/۳۳^{a}
		۱۰	۲/۶۳^{c}	۰/۰۳۰^{b}	۲۶۰/۷۸^{a}	۰/۸۴^{b}
		۱۵	۴/۸۱^{b}	۰/۰۴۷^{ab}	۳۰۲/۲۶^{a}	۱/۱۴^{ab}
	۱۰۵۰	۰	۷/۱۴^{bc}	۰/۰۹۳^{ab}	۲۴۸/۸۳^{a}	۳/۲۳^{a}
		۵	۹/۵۶^{a}	۰/۱۳۷^{a}	۲۴۰/۱۳^{a}	۳/۲۹^{a}
		۱۰	۸/۴۳^{ab}	۰/۱۱۷^{a}	۲۰۵/۱۹^{a}	۲/۶۱^{a}
		۱۵	۵/۶۸^{c}	۰/۰۵۳^{b}	۲۵۱/۴۷^{a}	۱/۸۹^{b}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن ($P\leq۰/۰۵$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

میزان سبزینگی برگ در ارقام اکاپی و زرفام تفاوت معنی‌داری نداشت. اما در رقم RGS003 کمتر از دیگران بود (جدول۱۰). با افزایش سطح شوری، میزان سبزینگی در هر سه رقم افزایش یافت (جدول ۱۲). با توجه به اینکه با افزایش شوری سطح برگ کاهش یافته است (داده‌ها ارائه نشده است)، افزایش سبزینگی برگ می‌تواند ناشی از توسعه نیافتن سلول‌ها و تراکم بیشتر کلروفیل در واحد سطح برگ باشد، از طرفی محتوای نسبی آب برگ نیز با افزایش شوری کاهش یافت (جدول۹)، که می‌تواند سبب از دست رفتن آماس سلول

و تراکم بیشتر کلروفیل در واحد سطح برگ شود.

میزان سبزینگی برگ در سطوح مختلف دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری نداشت. در هر دو سال با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن مقدار سبزینگی کاهش جزیی داشت (جدول ۸). کاهش میزان سبزینگی می‌تواند ناشی از توسعهٔ سطح برگ در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باشد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن گاهی موجب کاهش میزان سبزینگی می‌شود. در واکنش به غلظت زیاد دی‌اکسید کربن و تحت شرایط غذایی کم، مقدار کلروفیل کاسیا *Cassia obtustifolia* بر حسب واحد سطح برگ کاهش یافت، ولی مقدار کلروفیل *Crotolaria spectabilis* در شرایط عرضهٔ کافی مواد غذایی هم تغییری نکرد.

جدول ۷. تجزیهٔ واریانس صفات فیزیولوژیک ارقام کلزا در تیمارهای شوری و دی‌اکسید کربن در سال اول (۱۳۸۹) و دوم (۱۳۹۰) آزمایش در کلزا

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	کارایی مصرف آب	سبزینگی برگ SPAD	تراوش الکترولیت	پرولین	محتوای نسبی آب برگ	شاخص برداشت
		میانگین مربعات سال اول (۱۳۸۹)					
دی‌اکسید کربن (C)	۲	-	۲۵/۱۸^{ns}	۱۲۲۰/۲**	۸×۱۰$^{-۷}$**	۵۷/۵۲^{ns}	۱۶۱/۴۰**
خطای اول	۶	-	۱۷/۷۲	۱۱۷/۹	۱×۱۰$^{-۷}$	۵۵/۹۱	۵/۸۲
رقم (V)	۲	-	۱۸۹/۲۳**	۱۰۹۹/۱**	۳۶×۱۰$^{-۷}$**	۲۷۶/۲۲^{ns}	۸۸۳/۱۸**
شوری (S)	۳	-	۹۲۷/۹۳**	۳۹۴۶/۱**	۱۳×۱۰$^{-۶}$**	۱۳۵۴/۲۸**	۶۲۹/۴۲**
(V× C)	۴	-	۵/۸۹^{ns}	۲۹۹/۹۷**	۳×۱۰$^{-۸}$^{ns}	۱۶۶/۶۶^{ns}	۱۳/۹۴^{ns}
(S × C)	۶	-	۲۸/۳۷^{ns}	۲۱۷/۲۳**	۱۲×۱۰$^{-۷}$*	۲۷۲/۲۸^{ns}	۵/۵۵^{ns}
(V× S)	۶	-	۱۹/۶۶^{ns}	۳۲۸/۹۹**	۱×۱۰$^{-۷}$^{ns}	۳۲۹/۲۵*	۸۷/۵۱**
(V× S× C)	۱	-	۲۰/۳۴^{ns}	۲۶۷/۵۴**	۲۴×۱۰$^{-۸}$^{ns}	۲۰۹/۷۵^{ns}	۱۸/۸۵^{ns}
خطای آزمایشی	۶	-	۱۵/۰۷	۴۱/۳۰	۵×۱۰$^{-۸}$	۱۳۹/۴	۱۲/۲۶
ضریب تغییرات		-	۷/۲۰	۱۹/۷۲	۷/۶۸	۱۷/۵۰	۱۳/۹۰
		میانگین مربعات سال دوم (۱۳۹۰)					
دی‌اکسید کربن (C)	۲	۰/۸۵۳۰**	۱۳۵/۴۰**	۱۲۵/۵۸**	۱۲×۱۰$^{-۶}$**	۱۶۸/۳۰**	۱۴۱/۱۴**
خطای اول	۶	۰/۰۳۱۵	۴۰/۰۹	۲۳/۷۲	۱×۱۰$^{-۷}$	۱۲/۳۱	۹/۲۵
رقم (V)	۲	۰/۷۲۶۵**	۲۸۸/۹۵**	۱۷۰/۴۰**	۲۳×۱۰$^{-۷}$*	۱۱۲۰/۳۷**	۱۶۳/۹۰**
شوری (S)	۳	۱/۹۹۳۳**	۱۰۵۷/۴۷**	۶۳۷/۴۵**	۱۵×۱۰$^{-۶}$**	۱۳۰۴/۱۴**	۲۵۳/۳۷**
(V× C)	۴	۰/۰۱۶۲^{ns}	۱/۹۹^{ns}	۱۸/۰۸^{ns}	۱۳×۱۰$^{-۷}$*	۲۲/۱۸^{ns}	۴۰/۶۸*
(S × C)	۶	۰/۰۲۵۳^{ns}	۵۱/۹۲*	۷۷/۲۴**	۱۲×۱۰$^{-۷}$^{ns}	۴۶/۲۶^{ns}	۲۳/۰۷^{ns}
(V× S)	۶	۰/۰۴۷۴^{ns}	۱۰/۳۵^{ns}	۹۸/۶۶**	۱۸×۱۰$^{-۷}$**	۴۲/۳۳^{ns}	۲۴/۵۳^{ns}
(V× S× C)	۱	۰/۰۲۴۸^{ns}	۲۶/۰۳^{ns}	۱۰۱/۱۳**	۸×۱۰$^{-۸}$^{ns}	۴۷/۱۴^{ns}	۹/۵۱^{ns}
خطای آزمایش	۶	۰/۰۲۷۱	۲۲/۲۱	۱۰/۶۱	۵×۱۰$^{-۸}$	۳۴	۱۴/۰۷
ضریب تغییرات		۸/۵	۸/۳۶	۱۶/۱۶	۶/۸	۷/۳۲	۱۱/۸۵

ns، * و **: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

تراوش الکترولیت[1] شاخصی از میزان پایداری غشای سلولی نسبت به نشت مواد است و مقادیر زیادتر آن کاهش پایداری غشا تحت تأثیر تیمار خاص را نشان می‌دهد. مقدار تراوش الکترولیت در برگ به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر غلظت دی‌اکسید کربن قرار گرفت. همچنین شوری بر این صفت اثر معنی‌دار داشت. تراوش الکترولیت در ارقام مختلف نیز متفاوت بود و تأثیرات متقابل نیز معنی‌دار شد (جدول ۷). تراوش الکترولیت با افزایش شوری افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس و در سال اول آزمایش مشاهده شد (جدول ۹). Gibon *et al.* (2000) نیز با آزمایش روی دیسک‌های برگ کلزا در محیط شور مشاهده کردند که با افزایش شوری محیط دیسک‌های برگ، پایداری غشای سلولی کاهش می‌یابد. غلظت‌های زیاد

1. Electrolyte leakage

یونی ممکن است پایداری غشا و نقش‌های آن را مختل کند و در تداخل با تعادل مواد محلول و جذب مواد معدنی سبب علائم کمبود عناصر غذایی شبیه آنچه در غیاب شوری رخ می‌دهد، شود (Grattan & Graieve, 1999). در شرایط شور، تراوش غشای پلاسمایی در گلیکوفیت‌ها افزایش می‌یابد. در حقیقت رابطهٔ مستقیمی بین شوری خارجی و مقدار تراوش وجود دارد. سازوکار این افزایش تراوش عناصر، عوامل اسمزی نیست، زیرا تراوش غشا وقتی غلظت سوربیتول در محیط اطراف ریشه افزایش می‌یابد، تغییر نمی‌کند که دلیل آن ممکن است دهیدراسیون و تنش غیرمستقیم اکسیداتیو باشد. شوری سبب به‌هم‌ریختگی غشای سلولی می‌شود. این عمل توسط تأثیرات قدرت یونی بر بخش‌های دارای بار غشای سلولی، تبادل و جایگزینی کلسیم (Cramer *et al*., 1994) و تأثیرات خاص روی گیرنده‌های غشا انجام می‌گیرد.

تراوش الکترولیت با افزایش شوری در اکثر موارد در هر سه رقم افزایش یافت، اما این افزایش در سطوح غلظت سه‌برابر مقدار معمول دی‌اکسید کربن کمتر از غلظت معمول آن بود (جدول ۱۲).

تراوش الکترولیت در رقم RGS003 بیشترین و در رقم اکاپی کمترین مقدار را داشت و از این نظر ارقام تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۱۰). در شرایط حداکثر غلظت افزایش‌یافتهٔ دی‌اکسید کربن با افزایش شوری پایداری غشا در ارقام اکاپی و زرفام کاهش یافت و در رقم RGS003 ثابت ماند. غلظت سه‌برابر توانست از کاهش پایداری در اثر شوری در رقم RGS003 جلوگیری کند. اما این اثر در ارقام اکاپی و زرفام دیده نشد (جدول ۱۲). میزان کاهش رشد توسط شوری تا حد زیادی بسته به گونهٔ گیاهی و تا حد کمتری بسته به رقم متفاوت است. شدت پاسخ به شوری نیز با آثار متقابل عوامل محیطی از جمله رطوبت نسبی، درجهٔ حرارت، تابش و آلودگی هوا تغییر می‌کند (Omami, 2005).

مقدار پرولین در برگ (میکرومول پرولین در هر گرم مادهٔ تر برگ) با افزایش شوری افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۵ دسی‌زیمنس مشاهده شد (جدول۹). مقدار ساخت پرولین در برگ رقم RGS003 کمتر از بقیه ارقام بود (جدول ۱۰).

وجود نمک در محیط کشت اغلب سبب تجمع ترکیبات با وزن مولکولی کم یا به‌عبارتی محلول‌های سازگاری می‌شود که در واکنش‌های بیوشیمیایی معمول دخالت نمی‌کنند. این محلول‌های سازگاری شامل پرولین، گلایسین و بتائین هستند (Girija *et al*., 2002; Ghoulam *et al*., 2002). گزارش شده است که افزایش پرولین در چغندرقند به‌طور مثبت با سطح تحمل نمک مرتبط است. نقش‌های پیشنهادی پرولین تحت شرایط تنش شامل تنظیم اسمزی، حفاظت از آنزیم‌ها و غشاها، همچنین عمل کردن به‌عنوان ذخیره‌کنندهٔ انرژی و نیتروژن برای استفاده در زمان قرار گرفتن در معرض شوری است (Perez- Bandurska, 1993). Mattioni *et al*. (1997) با بررسی آثار تنش خشکی و شوری روی سوخت‌وساز پرولین در گیاهچه‌های گندم دوروم به این نتیجه رسیدند که در طی تنش‌های رطوبتی و شوری، فعالیت آنزیم دلتا پرولین-۵-کربوکسیلیک افزایش و فعالیت آنزیم پرولین دهیدروژناز کاهش می‌یابد که این مسئله به افزایش غلظت پرولین در گیاهچه‌های تحت تنش منجر می‌شود. بررسی اثر متقابل شوری و غلظت دی‌اکسید کربن (جدول ۱۱) نشان می‌دهد که روند تغییرات مقدار پرولین در سطوح مختلف شوری در غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن تقریباً یکسان بوده است. بررسی‌های Geissler *et al*. (1988) نیز نشان داد افزایش گاز کربنیک اتمسفری به افزایش معنی‌دار فتوسنتز و کارایی مصرف آب گیاه هالوفیت *Aster tripolium* L. منجر شد. ذخیرهٔ اضافی مواد آلی سرشار از انرژی برای تولید بیوماس بیشتر به‌کار گرفته نشد، اما برای حمایت از سازوکارهای تحمل به شوری از جمله برای افزایش ساخت پرولین، کربوهیدرات، و پروتئین‌ها استفاده شد. این سازوکارها به بقای بیشتر گیاه تحت شرایط شوری انجامید.

محتوای نسبی آب برگ[1] با افزایش شوری کاهش یافت. مقدار این صفت در سال اول در تیمار شاهد ۷۸ درصد بوده است که در تیمار ۱۵ دسی‌زیمنس به ۶۴/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۹ ادامه). محتوای نسبی آب برگ در سال اول آزمایش در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در سال دوم آزمایش این شاخص در رقم RGS003 کمتر از بقیه بود (جدول۱۰).

1. Relative water content

بررسی‌های Ashraf (2001) نشان داد کاهش پتانسیل آب برگ با افزایش غلظت نمک در هر شش گونه جنس براسیکا مشاهده شد. گونه‌های *B.campestris* و *B.carinata* به‌طور معنی‌داری پتانسیل آب برگ بالاتر نسبت به سایر گونه‌ها را حفظ کردند و بنابراین متحمل‌تر به تنش شوری شناخته شدند. کاهش در RWC، افت فشار تورم سلول را نشان می‌دهد که در نتیجه قابلیت دسترسی به آب برای فرایندهای توسعهٔ سلول را محدود می‌کند (Omami, 2005). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت.

جدول ۸. مقایسهٔ میانگین صفات در سطوح تیمار غلظت دی‌اکسید کربن در سال اول (۱۳۸۹) و دوم (۱۳۹۰) آزمایش در کلزا

نوع تیمار	سطوح غلظت گاز کربنیک (ppm)	سال	کارایی مصرف آب (گرم/ لیتر)	سبزینگی برگ (SPAD)	تراوش الکترولیت (درصد)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	شاخص برداشت (درصد)
غلظت گاز کربنیک	۳۵۰	۱۳۸۹		۵۴/۵۳^{a}	۲۶/۷۳^{b}	۶۸/۸۶^{a}	۲۷/۵۶^{a}
		۱۳۹۰	۱/۸۳^{b}	۵۸/۶۱^{a}	۱۸/۸۷^{b}	۸۰/۵۵^{a}	۳۳/۷۲^{a}
	۷۵۰	۱۳۸۹		۵۳/۶۰^{a}	۳۲/۶۴^{ab}	۶۶/۳۱^{a}	۲۳/۵۰^{b}
		۱۳۹۰	۱/۸۶^{b}	۵۵/۳۰^{a}	۲۲/۳۰^{a}	۸۱/۲۴^{a}	۳۱/۴۴^{b}
	۱۰۵۰	۱۳۸۹		۵۲/۸۶^{a}	۳۸/۳۷^{a}	۶۷/۴۲^{a}	۲۴/۴۷^{b}
		۱۳۹۰	۲/۱۱^{a}	۵۵/۲۲^{a}	۱۹/۳۱^{b}	۷۷/۱۹^{b}	۲۹/۷۸^{b}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۹. مقایسهٔ میانگین صفات فیزیولوژیک در سطوح تیمار شوری در سال اول (۱۳۸۹) و دوم (۱۳۹۰) آزمایش در کلزا

نوع تیمار	سطوح شوری ($dS.m^{-}$)	سال	تراوش الکترولیت (درصد)	سبزینگی برگ (SPAD)	پرولین (میکرومول/ گرم مادهٔ تر)
شوری	شاهد	۱۳۸۹	۱۷/۸۲^{d}	۴۵/۴۵^{d}	۰/۰۰۰۸۹^{b}
		۱۳۹۰	۱۳/۹۶^{c}	۴۸/۵۶^{d}	۰/۰۰۰۹۶^{b}
	۵	۱۳۸۹	۲۹/۰۵^{c}	۵۳/۶۷^{c}	۰/۰۰۰۹۰^{b}
		۱۳۹۰	۱۸/۶۴^{b}	۵۴/۵۱^{c}	۰/۰۰۰۹۷^{b}
	۱۰	۱۳۸۹	۴۶/۲۵^{a}	۵۶/۷۷^{b}	۰/۰۰۱۰۰^{a}
		۱۳۹۰	۲۳/۸۴^{a}	۵۶/۴۷^{b}	۰/۰۰۱۰۷^{a}
	۱۵	۱۳۸۹	۳۷/۱۸^{b}	۵۸/۷۷^{a}	۰/۰۰۱۰۰^{a}
		۱۳۹۰	۲۴/۲۲^{a}	۶۲/۹۷^{a}	۰/۰۰۱۱۰^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ادامه جدول ۹. مقایسهٔ میانگین صفات فیزیولوژیک در سطوح تیمار شوری در سال اول (۱۳۸۹) و دوم (۱۳۹۰) آزمایش در کلزا

نوع تیمار	سطوح شوری ($dS.m^{-}$)	سال	کارایی مصرف آب (گرم/ لیتر)	شاخص برداشت (درصد)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	نیتروژن کل برگ (درصد)
شوری	شاهد	۱۳۸۹	–	۲۹/۵۲^{a}	۷۸/۰۴^{a}	۲/۲۵^{b}
		۱۳۹۰	۲/۱۷^{a}	۳۲/۰۴^{b}	۸۹/۱۰^{a}	–
	۵	۱۳۸۹	–	۲۷/۷۸^{b}	۶۴/۶۹^{b}	۲/۲۴^{b}
		۱۳۹۰	۲/۱۴^{a}	۳۴/۴۱^{a}	۸۰/۱۲^{b}	–
	۱۰	۱۳۸۹	–	۲۴/۳۳^{c}	۶۲/۶۲^{b}	۲/۴۲^{a}
		۱۳۹۰	۱/۸۱^{b}	۳۲/۸۵^{ab}	۷۲/۸۸^{d}	–
	۱۵	۱۳۸۹	–	۱۸/۷۸^{d}	۶۴/۴۲^{b}	۲/۳۵^{ab}
		۱۳۹۰	۱/۶۱^{c}	۲۷/۲۹^{c}	۷۶/۵۴^{c}	–

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول ۱۰. مقایسهٔ میانگین برخی صفات فیزیولوژیک در سطوح تیمار رقم در سال اول (۱۳۸۹) و دوم (۱۳۹۰) آزمایش در کلزا

نوع تیمار	سطوح تیمار	سال	کارایی مصرف آب (گرم/ لیتر)	تراوش الکترولیت (درصد)	شاخص برداشت (درصد)	سبزینگی برگ (SPAD)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	پرولین (میکرومول/ گرم ماده تر)
ارقام	اکاپی	۱۳۸۹	-	۲۶/۷۶^{c}	۲۰/۹۲^{c}	۵۴/۷۶^{a}	۶۴/۳۶^{a}	۰/۰۰۰۹۹^{a}
		۱۳۹۰	۱/۸۶^{b}	۱۹/۲۸^{b}	۳۰/۳۶^{b}	۵۸/۶۷^{a}	۸۱/۸۹^{a}	۰/۰۰۱۰۱۷^{b}
	زرفام	۱۳۸۹	-	۳۳/۲۱^{b}	۲۴/۰۰^{b}	۵۵/۲۰^{a}	۶۹/۵۳^{a}	۰/۰۰۰۹۵^{b}
		۱۳۹۰	۱/۸۴^{b}	۱۸/۵۷^{b}	۳۰/۴۷^{b}	۵۷/۲۵^{a}	۸۳/۷۸^{a}	۰/۰۰۱۰۵۴^{a}
	RGS	۱۳۸۹	-	۳۷/۷۶^{a}	۳۰/۶۰^{a}	۵۱/۰۳^{b}	۶۸/۶۶^{a}	۰/۰۰۰۹۳^{b}
		۱۳۹۰	۲/۱۰^{a}	۲۲/۶۴^{a}	۳۴/۱۱^{a}	۵۳/۲۱^{b}	۷۳/۳۱^{b}	۰/۰۰۱۰۰۶^{b}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن ($P\leq$۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۱۱. مقایسهٔ میانگین برخی صفات فیزیولوژیک کلزا در سطوح مختلف شوری و در شرایط ازدیاد دی‌اکسید کربن در سال اول (۱۳۸۹) و دوم (۱۳۹۰) آزمایش در کلزا

دی‌اکسید کربن (ppm)	شوری	تراوش الکترولیت (درصد)		پرولین (میکرومول/ گرم مادهٔ تر)	
		۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۹۰
۳۵۰	۰	۱۶/۷۷^{b}	۱۳/۲۱^{c}	۰/۰۰۰۹۹۹^{ab}	۰/۰۰۰۸۶۵^{b}
	۵	۱۸/۷۵^{b}	۱۶/۸۳^{b}	۰/۰۰۰۹۲۶^{b}	۰/۰۰۰۹۰۸^{b}
	۱۰	۳۸/۶۱^{a}	۲۲/۱۸^{a}	۰/۰۰۱۰۵۷^{a}	۰/۰۰۱۰۱۷^{a}
	۱۵	۳۲/۷۷^{a}	۲۳/۲۷^{a}	۰/۰۰۱۰۵۳^{a}	۰/۰۰۱۰۵۲^{a}
۷۰۰	۰	۱۴/۴۶^{d}	۱۵/۰۰^{d}	۰/۰۰۰۸۱۴^{d}	۰/۰۰۱۰۲۵^{b}
	۵	۲۷/۲۳^{c}	۲۰/۱۱^{c}	۰/۰۰۰۸۷۸^{c}	۰/۰۰۱۰۳۵^{b}
	۱۰	۵۱/۵۰^{a}	۲۳/۷۲^{b}	۰/۰۰۰۹۴۷^{b}	۰/۰۰۱۰۶۵^{ab}
	۱۵	۳۶/۳۷^{b}	۳۰/۳۹^{a}	۰/۰۰۱۰۲۶^{a}	۰/۰۰۱۱۱۲^{a}
۱۰۵۰	۰	۲۱/۲۳^{c}	۱۳/۶۶^{c}	۰/۰۰۰۸۷۲^{b}	۰/۰۰۰۹۷۹^{b}
	۵	۴۱/۱۷^{b}	۱۸/۹۷^{b}	۰/۰۰۰۸۸۹^{b}	۰/۰۰۰۹۶۲^{b}
	۱۰	۴۸/۶۵^{a}	۲۵/۶۲^{a}	۰/۰۰۱۰۰۴^{a}	۰/۰۰۱۱۴۱^{a}
	۱۵	۴۲/۴۲^{b}	۱۹/۰۰^{b}	۰/۰۰۱۰۱۲^{a}	۰/۰۰۱۱۴۳^{a}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن ($P\leq$۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

رقم RGS003 با حداکثر شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک) معادل ۳۴/۱۱ درصد بیشترین شاخص برداشت را داشت. رقم زرفام در رتبهٔ دوم و رقم اکاپی در رتبهٔ سوم قرار گرفت (جدول ۱۰). شاخص برداشت با افزایش شوری روند نزولی داشت. در سال اول آزمایش این شاخص در تیمار شاهد معادل ۲۹/۵ درصد بود که در تیمار ۱۵ دسی‌زیمنس به ۱۸/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۹ ادامه). افزایش شوری سبب کاهش هر دو عامل دخیل در محاسبهٔ شاخص برداشت شد، اما تأثیر آن بر کاهش عملکرد دانه بیشتر بود، ازاین‌رو شاخص برداشت نیز با افزایش شوری کاهش یافت. شاخص برداشت با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا نیز کاهش یافت (جدول ۸). دلیل اصلی این موضوع ممکن است افزایش رشد رویشی و عدم افزایش عملکرد دانه در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باشد. شاخص برداشت در آزمایش‌های رید و همکاران برای کلزای زمستانه کمتر از ۴۰ درصد و در آزمایش‌های Franzaring *et al.* (2008) ۳۲ درصد به‌دست آمد و دی‌اکسید کربن نیز بر آن تأثیری نداشت.

سطوح مختلف شوری تأثیر معنی‌دار (سطح احتمال ۱ درصد) بر کارایی مصرف آب داشت (جدول ۷). با افزایش سطح شوری کارایی مصرف آب کاهش یافت. بیشترین بازده با مصرف آب معمولی و برابر ۲/۱۷ گرم بر لیتر و کمترین بازده با مصرف آب شور با هدایت الکتریکی معادل ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر معادل ۱/۶۱ گرم بر لیتر مشاهده شد. افزایش شوری تا سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر تأثیری بر کارایی مصرف آب نداشت.

اما تفاوت بین سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس معنی‌دار بود (جدول ۹ ادامه).

کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت دی‌اکسید کربن قرار گرفت. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن کارایی مصرف آب افزایش یافت (جدول ۸). افزایش آن تا سطح ۷۵۰ppm معنی‌دار نبود، اما با رسیدن غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۵۰ppm افزایش کارایی مصرف آب معنی‌دار شد. بیشترین مقدار آن معادل ۲/۱۱ گرم بر لیتر و در سطح ۱۰۵۰ppm دی‌اکسید کربن مشاهده شد. با افزایش غلظت به ۱۰۵۰ppm کارایی مصرف آب نسبت به وضعیت معمول هوا حدود ۱۵/۳ درصد افزایش یافت.

جدول ۱۲. مقایسهٔ میانگین صفات گیاهی در سطوح مختلف تیمارهای رقم، شوری و غلظت دی‌اکسید کربن در سال ۱۳۸۹ در کلزا

دی‌اکسید کربن (ppm)	رقم	شوری (ds/m)	تراوش الکترولیت (μscm^{-1})	سبزینگی برگ (SPAD)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)
۳۵۰	اکاپی	۰	۷۰۲d	۵۰/۰۰b	۶۵/۲۵a
		۵	۹۳۴b	۵۵/۴۷ab	۶۲/۲۵a
		۱۰	۷۶۷c	۵۹/۱۷a	۵۸/۱۸a
		۱۵	۱۲۰۸a	۶۰/۶۰a	۵۸/۹۹a
	زرفام	۰	۶۳۶d	۴۸/۱۷b	۹۱/۱۹a
		۵	۱۳۸۱a	۵۵/۸۰a	۶۰/۵۲a
		۱۰	۱۳۳۸b	۵۹/۴۷a	۶۰/۳۵a
		۱۵	۱۰۹۱c	۶۱/۴۳a	۷۵/۹۴a
	RGS	۰	۸۱۹d	۴۶/۷۰b	۶۶/۲۰a
		۵	۹۸۴c	۵۱/۲۰ab	۶۳/۹۲a
		۱۰	۱۰۷۲b	۴۸/۶۰ab	۸۲/۷۷a
		۱۵	۱۴۸۶a	۵۷/۷۳a	۸۰/۳۸a
۷۰۰	اکاپی	۰	۶۴۸b	۴۴/۷۷b	۸۳/۰۴a
		۵	۹۷۰ab	۵۶/۸۷a	۵۷/۵۷b
		۱۰	۹۳۹ab	۵۶/۷۷a	۵۷/۰۵b
		۱۵	۱۱۵۸a	۵۸/۷۰a	۶۰/۶۹b
	زرفام	۰	۶۳۰b	۴۷/۵۰b	۸۸/۳۱a
		۵	۱۱۰۶a	۵۸/۶۷a	۶۷/۷۱b
		۱۰	۷۷۱ab	۵۶/۲۳a	۶۱/۲۹b
		۱۵	۷۶۹ab	۵۸/۸۳a	۵۹/۴۹b
	RGS	۰	۷۷۰c	۴۱/۳۰b	۸۰/۵۰a
		۵	۹۳۷cb	۴۶/۷۰b	۶۷/۸۰ab
		۱۰	۱۱۹۷ab	۵۵/۳۷a	۵۵/۱۵b
		۱۵	۱۴۸۳a	۶۱/۵۳a	۵۷/۰۸b
۱۰۵۰	اکاپی	۰	۵۲۹b	۴۵/۳۰c	۹۱/۳۷a
		۵	۵۴۴b	۵۲/۱۷b	۶۷/۲۷b
		۱۰	۱۰۵۵ab	۵۸/۶۷a	۵۶/۳۴c
		۱۵	۱۱۴۳a	۵۸/۶۷a	۵۴/۲۷c
	زرفام	۰	۴۸۱b	۴۴/۵۳b	۷۵/۱۱a
		۵	۸۳۳b	۵۶/۵۰a	۶۴/۹۹a
		۱۰	۶۹۸b	۵۸/۹۰a	۶۵/۶۱a
		۱۵	۱۳۵۰a	۵۶/۳۷a	۶۳/۲۷a
	RGS	۰	۶۴۰a	۴۰/۸۰b	۶۰/۷۱a
		۵	۷۰۳a	۴۹/۶۳ab	۷۰/۲۲a
		۱۰	۸۵۳a	۵۷/۷۳a	۶۶/۸۰a
		۱۵	۷۸۷a	۵۵/۰۳a	۷۲/۳۳a

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

کارایی مصرف آب در ارقام مختلف متفاوت بود. بیشترین کارایی مصرف آب در رقم RGS003 مشاهده شد که برابر ۲/۱۰ گرم دانه به‌ازای هر لیتر آب مصرفی بود. کارایی مصرف آب در ارقام اکاپی و زرفام تقریباً مشابه بود. کارایی مصرف آب در رقم RGS003 حدود ۱۴ درصد بیشتر نسبت به دو رقم دیگر افزایش داشت (جدول ۱۰).

تأثیرات متقابل شوری با رقم، شوری با گاز کربنیک، و رقم با دی‌اکسید کربن بر کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود (جدول ۷). نتایج حاصل با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد از جمله Ward *et al*. (1999) کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب را در اثر افزایش دی‌اکسید کربن گزارش کردند. افزایش دی‌اکسید کربن نه‌تنها رشد و عملکرد گیاهان زراعی سه‌کربنه را بهبود می‌بخشد، بلکه روابط آبی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش و توزیع آب افزایش می‌یابد (Ward & Strain, 1999). به‌طور معمول افزایش غلظت دی‌اکسید کربن افزایش رشد گیاهان زراعی را نشان داده است. در گونه‌های گیاهی با هر دو مسیر فتوسنتزی سه‌کربنه و چهارکربنه به‌دلیل هدایت روزنه‌ای کمتر، تعرق کاهش می‌یابد و با افزایش کارایی مصرف آب تحریک رشد دیده می‌شود (Rogers *et al*., 1999).

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌مقدار دوبرابر غلظت معمول در اتمسفر، سبب افزایش کارایی استفاده از آب در تیمارهای شوری در گیاه گوجه‌فرنگی شد (Maggio *et al*., 2001).

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد میزان فتوسنتز کلزا در اثر شوری کاهش، و با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در هوا، افزایش می‌یابد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا، غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی کاهش‌یافته در اثر شوری را جبران می‌کند و فتوسنتز را افزایش می‌دهد. این اثر در ارقام اکاپی و زرفام مشاهده شد، اما در رقم RGS003 مشاهده نشد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا با کاهش تعرق، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش پرولین برگ تا حدی توانست تأثیرات شوری بر رشد کلزا را جبران کند.

REFERENCES

1. Ainaworth, E. A., Rogers, A., Nelson, R. & Long, S. (2004). Testing the source-sink hypothesis of down-regulation of photosynthesis in elevated CO_2 in the field with single gene substitutions in *Glycine max*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122, 85-94.
2. Ashraf, M. (2001). Relationships between growth and gas exchange in some salt-tolerant amphidiploid Brassica species in relation to their diploid parents. *Environ Exp Bot*, 45, 155-163.
3. Bates, L.S., Walderen, R.D. & Taere, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
4. Bandurska, H. (1993). In vivo and in vitro effect of proline on nitrate reductase activity under osmotic stress in barley. *Acta Physiol Plant*, 15, 83-88.
5. Boyer, J. S. (1965). Effects of osmotic-water stress on metabolic rates of cotton plants with open stomata. *Plant Physiol*, 40, 229-234.
6. Cramer, G. R., Alberico, G. J. & Schmidt, C. (1994). Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. *Aust J Plant Physiol*, 21, 675-92.
7. Dehshiri, A. (1998). *Colza cropping*. Sobhan Publications. pp: 64.
8. Donnelly, A., Jones, V., Burke, J. I. & Schnieders, B. (2000). Elevated CO_2 provides, protection from O_3 induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat. *Agr Ecosyst Environ*, 80, 159-168.
9. Downton, W. J. (1977). Photosynthesis in salt–stressed grapevines. *Aust J Plant Physiol*, 4, 183-192.
10. Drake, B. G., Gonzalez, M. A. & Long, S. P. (1997). More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO_2. Ann. Rev. *Plant Physiol*, 48, 609-639.
11. Dugas, W. A., Prior, A. & Rogers, H. (1997). Transpiration from sorghum and soybean growing under ambient and elevated CO_2 concentrations. *Agr Forest Meteorol*, 3, 37-48.
12. Francois, L. E. (1994). Growth, seed yield and oil content of canola growth under saline conditions. *Agron J*, 86, 233-237.
13. Franzaring, J., Hogy, P. & Fangmeier, A. (2008). Effects of free-air CO_2 enrichment on the growth of summer oilseed rape (*Brassica napus* cv.Campino). *Agr Ecosyst Environ*, 128,127-134.
14. Garg, B. K. & Garg, O. P. (1980). Sodium carbonate and bicarbonate induced change in growth, chlorophyll, nucleic acid and protein contents in leaves of *Pisum sativum*. *Photosythetica*, 14, 594-598.

15. Garg, B. K. & Lahiri, A. N. (1986). Problems of salt stress in arid zone crops. In: Proc. *Natn. Symp. Physiol. Biochem. Genetic Aspects*. Crop Plants Environ. Stresses (Eds. R. Singh, I.S. Sheoran and M.R. Saharan) PP. 63-68, H.A.U Hisar, India.
16. Geissler N., Hussin, S. & Wkoyro, H. (1988). Elevated atmospheric CO_2 concentration ameliorates effects of NaCl salinity on photosynthesis and leaf structure of *Aster Tripolium* L. *Exp Botany J*, 60, 137-151.
17. Ghoulam, C., Foursy, A. & Fares, K. (2000). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ Exp Bot*, 47, 39-50.
18. Girija, G., Smith, B. N. & Swamy, P. M. (2000). Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in pea nut (*Arachis hypogea* L.). *Environ Exp Bot*, 47, 1-10.
19. Grattan, S. R. & Graieve, C. M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *S Hort*, 78, 127-157.
20. Iyengar, E. R. R. & Reddy, M. P. (1996). Photosyntesis in highly salt-tolerant plants. In: M. Pesserakli (ed), *Handbook of Photosyntesis*, Marcel Dekker, New York, pp. 897-909.
21. Kimball, B. A., Kobayashi, K. & Bindi, M. (2002). Responses of agricultural crops to tree air CO_2 enrichment. *Advances in Agronomy*, 77, 293-368.
22. Lenssen, G. M., Vanduin, W. E. & Rozema, J. (1995). The response of *Aster tripolium* and *Puccinella maritima* to atmospheric carbon dioxide enrichment and their interactions with flooding and salinity. *Aquatic Botany*, 50, 181-192.
23. Maggio, A., Frank, G., Dalton, M. & Piccini, G. (2001). The effects of elevated carbon dioxide on static and dynaminc indices for tomato salt tolerance. *Eur J Agron*, 16, 197-206.
24. Mattioni, C., Lacerenza, N. G., Atroccoli, A., Deleonardis, A. M. & Difonzo, N. (1997). Water and salt stress induced alterations in proline metabolism of *Triticum durum* seedlings. *Physiol Planta*, 101, 787-797.
25. McGree, K. J. (1986). Whole plant carbon balance during on smotic adjustment to drought and salinity stress. *Aust J Plant Physiol*, 13, 33-45.
26. Mirwais, M. Qaderi, D. & Reid, M. (2005). Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to UV-B and CO_2 under controlled environment conditions. *Physiol Planta*, 125, 247-259.
27. Mohammad, M., Shibli, R., Ajlouni, M. & Nimiri, L. (1998). Tomato root and Shoot response to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J Plant Nutri*, 21, 1667-1680.
28. Moumeni, A. (2005). Extent and geographical distribution of problem soils. The soils of Iran new achievements in perception. Management and use. Sena Publications, Tehran, Iran (In Persian).
29. Omami, E. (2005). Response of amaranth to salinity stress. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree Ph. D. Horticulture. In the Department of Plant Production and Soil Science, Faculty of Natural and Agricultural Sciences. University of Pretoria. South Africa.
30. Papp, J. C., Ball, M. C. & Terru, N. (1983). A comparative study on the effects of Nacl salinity on respiration, photosynthesis and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L. (sugar beet). *Plant Cell Environ*, 6, 675-677.
31. Perez-Alfocea, F., Estan, M. T., Santa Cruz, A. & Bolarin, M. C. (1993). Effects of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid in levels in tomato plants. *J Hort Sci*, 68, 1021-1027.
32. Qaderi, M. & Reid, D. M. (2008). Combined effects of temperature and carbon dioxide on plant growth and subsequent seed germ inability of *Silene Noctiflora*. *Plant Sci*, 169(9), 1200-1209.
33. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. & Haloday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30, 105-111.
34. Rogers, H. H., Runion, G. B., Prior, S. A. & Tobert, H. A. (1999). Response of plant to elevated atmospheric CO_2. In: Luo, Y., Moony, H. A. (eds). *Carbon dioxide and environmental stress*. Academi press, San Diego, Ca. pp: 215-244.
35. Shannon, M. C. (1997). Adaptation of plants to salinity. *Adv Agron*, 60, 75-120.
36. Strogonov, B. P. (1974). *Structure and function of plant cells in saline habitats*. Wiley, New York. IPST. 284 p.
37. Taiz, L. & Zeiger, E. (2003). *Plant physiology*. Translated by Kafi, M. Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad, Iran. pp: 500.
38. Tubaz, A., Szenta, K. & Koch, J. (1994). Response of photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency and production to long term elevated CO_2 in winter wheat. *J Plant Physiol*, 144, 661-668.
39. Tubiello, F. N., Donatelli, M., Rosenzweing, C. & Stockle, C. O. (2000). Effects of climate change and elevated CO_2 on cropping system: Model predictions at two Italian locations. *Eur J Agron*, 13, 179-189
40. Ward, J. K. & Strain, B. R. (1999). Elevated CO_2 studies: past, present and future. *Tree Physiol*, 19, 211-220.