مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۲۸ ، شماره ۱، سال ۱۳۹۱

اثرافزایش غلظت دی اکسیدکربن هوا بر برخی صفات سه رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط شور

Effect of Elevated Concentration of Atmospheric Carbon Dioxide on Some traits of Three Rapeseed (*Brassicc napus* L.) Varieties Under Saline Conditions

عباس ده‌شیری[۱]، سیدمحمدعلی مدرس‌ثانوی[۲]، حامد رضایی[۳] و امیرحسین شیرانی‌راد[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نگارنده مسئول)
۳- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج
۴- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۱۳

چکیده

ده‌شیری، ع.، مدرس‌ثانوی، س. م. ع.، رضایی، ح. و شیرانی‌راد، ا. ح. ۱۳۹۱. اثرافزایش غلظت دی اکسیدکربن هوا بر برخی صفات سه رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط شور. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۲۸ (۱):** ۵۲ - ۳۵.

به منظور مطالعه اثر افزایش غلظت CO_2 هوا بر تحمل گیاه کلزا (*Brassicc napus* L.) به شوری آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرّس در سال ۱۳۸۹انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه رقم کلزا (اکاپی،RGS003 و زرفام)، چهار سطح غلظت شوری (آبیاری با آب‌های شور با هدایت الکتریکی معادل ۵ ، ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر همراه با شاهد بدون شوری)، و سه سطح غلظت CO_2 هوا [شامل غلظت فعلی CO_2 (۳۵۰ میکرومول بر مول) غلظت‌های دو و سه برابر مقدار غلظت فعلی آتمسفر] بود. هر سطح تیمار CO_2 به عنوان یک محیط در نظر گرفته و دو تیمار دیگر به صورت فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار، در هر محیط اعمال شد. نتایج نشان داد که غلظت گاز کربنیک اثر معنی‌داری بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن مخصوص برگ، فلورسانس کلروفیل برگ، نشت یونی غشاء و عملکرد دانه داشت. شوری اثر معنی‌داری روی وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن مخصوص برگ، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کلروفیل برگ، نشت یونی غشاء و غلظت کلروفیل داشت. عملکرد دانه به شدت تحت تأثیر شوری قرار گرفت. عملکرد دانه در تیمار شاهد ۲۸۲/۲ گرم در متر مربع بود که در تیمار ۱۵ دسی زیمنس به ۱۱۲/۹ گرم در متر مربع کاهش یافت. غلظت گاز کربنیک سه برابر میزان فعلی (۱۰۵۰ میکرومول بر مول)، بیشترین وزن خشک ساقه(۱۰/۹۱گرم در بوته)، ارتفاع بوته (۱۱۴/۱۷ سانتی‌متر)، وزن تر برگ (۱۶/۰۶ گرم در بوته)، سطح برگ (۳۴۰/۳۵ سانتی‌مترمربع) و وزن خشک برگ (۲/۰۹گرم در بوته) را به همراه داشت، اما این افزایش در عملکرد مشاهده نشد. تأثیر شوری بر صفات و ویژگی‌های ارقام در سطوح مختلف گاز کربنیک متفاوت بود. این تفاوت معنی‌دار در مورد صفاتی مانند وزن تر برگ، وزن خشک برگ و ریشه و نشت یونی غشاء در اثر تنش شوری مشاهده شد. نشت یونی غشاء با افزایش میزان شوری ا فزایش یافت. اما این افزایش در سطوح غلظت سه برابر میزان فعلی ناچیز و در غلظت معمول حداکثر بود. نتایج این آزمایش نشان داد افزایش غلظت CO_2 هوا توانست تا حدی اثر منفی افزایش شوری بر رشد رویشی کلزا را خنثی کند، اما نتوانست کاهش عملکرد دانه را جبران کند.

واژه‌های کلیدی: شوری، ارقام کلزا، غلظت CO_2 هوا، نشت یونی غشاء و فلورسانس کلروفیل.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: modaresa@modares.ac.ir

مقدمه

شوری آب و خاک از محدودیت‌های اصلی کشت در مناطق گرم و خشک از جمله ایران محسوب می‌شوند. تا سال ۱۳۸۰ مناطق دارای خاک‌های تحت تأثیر شوری در ایران ۴۴/۵ میلیون هکتار را پوشش می‌دادند (Moumeni, 2005). افزایش روز افزون جمعیت و لزوم تأمین امنیت غذایی و محدودیت منابع آب مناسب، ضرورت استفاده از آب‌های با کیفیت پایین از جمله آب‌های شور را ایجاب می‌کند (Mohammad *et al*., 1998). بنابراین مطالعات گسترده جهت دستیابی به راهکارهای کاهش خسارت شوری و افزایش بهره‌وری از منابع آب و خاک دارای محدودیت شوری ضرورت دارد. در برخی منابع کلزا جزء گیاهان متحمل به شوری محسوب می‌شود. فرانکویس (Francois, 1994) حد آستانه تحمل به شوری کلزا را در آزمایش مزرعه ای ۹ دسی زیمنس بر متر و درصد کاهش عملکرد در بالای حد آستانه را ۱۲ درصد به ازای افزایش هر واحد شوری بدست آورد که بر این اساس بایستی کلزا را در گروه گیاهان متحمل محسوب نمود. در آزمایشی با مقادیر مختلف شوری مشاهده گردید اثر افزایش شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار بر کاهش رشد کلزا محسوس نبود در حالی که غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک، رشد گیاه را بطور معنی‌داری کاهش داد (Khademi, 2002).

مورات و همکاران (Murat *et al*., 2011) ۱۲ رقم کلزا را در معرض دو تیمار شوری شاهد و ۱۵۰ میلی‌مول نمک قرار دادند. وزن خشک اندام هوایی، برگ و ریشه کلیه ارقام در گیاهان ۴۵ روزه اندازه‌گیری شد. شوری رشد گیاه و وزن خشک را کاهش داد.

بایبوردی (Bybordi, 2010) اثر شش سطح شوری (۱۶ و ۱۲ و ۸ و ۴ و ۰ و ۲۰ دسی‌زمینس بر متر) بر عملکرد و اجزاء عملکرد پنج رقم کلزا شامل اکاپی (Okapi)، SLM046، الیت (Elite)، فورناکس (Fornax) و لیکورد (Licord) را بررسی و گزارش داد از نظر ارتفاع بوته و زمان شروع گلدهی ارقام SLM046 و اکاپی برترین بودند. از نظر تعداد دانه و عملکرد دانه در بوته رقم اکاپی و سپس فورناکس برتر بودند. با در نظر گرفتن کلیه صفات، تحمل ارقام SLM046 و اکاپی در سطوح مختلف شوری بیشتر بود.

میزان غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر به دلیل فعالیتهای بشری در حال افزایش است. بر اساس برآوردهای انجام شده سالانه حدود یک قسمت در میلیون غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد که عمدتاً ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی است. افزایش غلظت CO_2 بر وضعیت رشد گیاهان تأثیرگذار است. رشد بیشتر گیاهان با دو برابر شدن سطح CO_2 اتمسفر ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد (Taize and Ziger, 2003).

بر خلاف تنش شوری، پاسخ‌های مثبت گیاهان زراعی به افزایش CO_2 به خوبی اثبات شده است. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی نشان

داده که با افزایش CO_2 کارآیی مصرف آب، فتوسنتز خالص، تولید زیست توده و عملکرد افزایش می‌یابد (Kimball *et al.*, 2000) این اثر مستقیم می‌تواند برای سامانه‌های تولید کشاورزی مهم باشد. راجرز و همکاران (Rogers *et al.*, 1999) گزارش کردند که پاسخ‌های نسبی گیاه به افزایش CO_2 در تنش‌های محیطی و محدودیت‌های منابع بسیار شدیدتر است. رشد لوبیا و توق (Xanthium) نیز به غلظت زیاد CO_2 پاسخ داد. پاسخ اندام‌های هوایی نسبت به ریشه‌ها بیشتر بود. ذرت به افزایش CO_2 بطور معنی دار پاسخ نداد (Harold, 1999).

توبرت و همکاران (Tobert *et al.*, 2004) گزارش کردند که افزایش CO_2 تولید زیست تودهٔ کل در سویا (حدود ۴۰ درصد) و سورگوم (حدود ۳۰ درصد) را افزایش داد. نتایج این آزمایش نشان داد، مادامی که CO_2 افزایش یابد، تولید گیاهان زراعی نیز ممکن است افزایش پیدا کند و وضعیت نیتروژن در بافت گیاه تغییر یابد و بدین ترتیب به تغییر در عملیات کاربرد نیتروژن در خاک نیازی نیست.

ظرفیت ژنتیکی برای مصرف مواد فتوسنتزی در شرایط افزایش CO_2 برای حفظ فتوسنتز افزایش یافته، بسیار مهم می‌باشد. ظرفیت مخزن برگ به عنوان یک عامل مهم برای تولید گیاهی حداکثر، در غلظت بالای CO_2 پیشنهاد شده است (Drake *et al.*, 1997). تغییرات در رشد و تولید به طور واضح به مقدار نور رسیده به گیاهان مربوط می‌شود و بوسیلهٔ شاخص سطح برگ و اثر CO_2 افزایش یافته بر رشد مشخص می‌گردد. تغییرات در شاخص سطح برگ به شرایط آب و هوایی سطح برگ شامل غلظت زیاد CO_2 بستگی دارد (Ewert, 2004). تحقیقات اخیر نشان داده است که با افزایش شاخص سطح برگ، اثر افزایش CO_2 بر فتوسنتز تاج پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (Brooks *et al.*, 2000).

در گونه‌های غیر هالوفیت افزایش غلظت CO_2 وزن خشک و سطح برگ را در گیاهان در معرض شوری افزایش می‌دهد. برای مثال وزن خشک اندام هوایی ارقام گندم را تا ۷۶ درصد و سطح برگ را تا ۵۵ درصد افزایش داد. همچنین وزن خشک و سطح برگ گیاهان شاهد را نیز افزایش داد اما نه به اندازه گیاهانی که در معرض تنش شوری قرار گرفتند. سطح برگ بیشتر به وسیله افزایش در آغازه‌های جانبی (پنجه‌ها) افزایش یافت تا افزایش در سطح تک برگ، و بنابراین بر اثر شوری که بیشتر از سطح تک برگ، باعث کاهش تعداد پنجه‌ها نیز می‌شود فائق آمد (Nicolas *et al.*, 1993).

بنابراین امکان سنجی توسعهٔ کشت گیاهان در شرایط شور از طریق افزایش غلظت CO_2 ضرورت دارد تا در صورت موفقیت بتوان در آینده در صورت ادامهٔ روند فعلی افزایش غلظت CO_2 سطح کشت و عملکرد برخی از گیاهان در مناطق دچار تنش شوری را افزایش

داد. علاوه براین می‌تواند مقدمه‌ای برای تحقیقات بعدی در جهت یافتن راهکارهایی برای افزایش فشار جزئی CO_2 در محل کربوکسیلاسیون در برگ شده و امکان تقویت تحمل گیاهان در شرایط شور را فراهم نماید.

گیاه کلزا از دانه‌های روغنی مهم در جهان است که بعد از سویا و نخل روغنی سومین منبع مهم تولید روغن خوراکی است. کشور ما در گروه مواد غذایی بیشترین وابستگی را به روغن خوراکی دارد و حدود ۹۰ درصد روغن مصرفی، وارداتی است و گیاه کلزا با ویژگی‌های خاص خود در تمام اقلیم‌های کشور قابل کشت است و بهترین محصول در چرخه تناوب زراعی برای غلات است که حدود ۷۰ درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی را شامل می‌شوند (Dehshiri, 1998). برخی از ارقام کلزا تحمل نسبی خوبی به شرایط شوری دارند (Francois, 1994) و افزایش غلظت CO_2 احتمالا می‌تواند تحمل آن‌ها را افزایش دهد. بمنظور بررسی نحوه تأثیر شوری بر صفات رویشی و عملکرد دانه ارقام کلزا و بررسی جنبه‌های فیزیولوژیکی این موضوع و چگونگی تأثیر غلظت دی‌اکسیدکربن هوا بر آن این پژوهش انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرّس و داخل گلدان‌هایی مشابه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رقم (سه رقم کلزا شامل اکاپی، RGS003 و زرفام) غلظت شوری (آبیاری با آب‌های شور با EC معادل ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر همراه با شاهد بدون شوری) و غلظت CO_2 اتمسفر شامل سه مقدار غلظت فعلی CO_2 (۳۵۰ میکرومول بر مول) و غلظت‌های دو و سه برابر مقدار غلظت فعلی آتمسفر بود. هر سطح تیمار غلظت CO_2 به عنوان یک محیط(کرت اصلی) در نظر گرفته و دو تیمار دیگر به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و در سه تکرار، در هر محیط(سطح تیمارCO_2) اعمال شد. با توجه به سرباز بودن اتاقک‌ها، دما و رطوبت داخل اتاقک تحت تأثیر شرایط هوای بیرون بود. میزان 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 شرکت‌های تولیدکننده بذر داخلی (میهن بذر و کاسپین بذر) دریافت گردید. هیچ نوع تیمار ضدعفونی بذر اعمال نشد. گلدان‌های ۲۰ کیلویی سیاه رنگ با ابعاد: قطر دهانه ۲۸ سانتی‌متر، قطر کف ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر تهیه گردید. ته گلدان ۵ عدد سوراخ هریک به قطر ۱۰ میلی‌متر با هویه ایجاد شد. در هر گلدان مقدار یک پیمانه به حجم یک لیتر و به وزن ۱۳۶۰ گرم سنگریزه و یک پیمانه پرلیت روی آن ریخته شد و ارتفاع آن به ۳ سانتی‌متر رسید. سپس با خاک زراعی

پر شد تا وزن نهایی آن به ۱۸ کیلوگرم رسید. ویژگی‌های شیمیائی خاک مورد استفاده در جدول شماره ۱ ارائه شده است. پس از پر کردن گلدان‌ها دو مرتبه آبیاری انجام شد تا خاک گلدان‌ها کاملاً اشباع شد. پس از ۴۸ ساعت سطح گلدان‌ها چنگک کشیده شد و بذرپاشی انجام شد و سپس با مقدار کمی آب، آبیاری انجام گرفت. پس از سبز شدن تا مرحله خروج از روزت (شروع به ساقه رفتن) هر هفته یک بار آبیاری انجام گردید. در مرحله ۵ برگی بوته‌ها تنک شده و تعداد ۷ بوته در هر گلدان باقی ماند. بر اساس آزمون خاک علاوه بر کود نیتروژن‌دار بقیه عناصر به مقدار 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 گردید. برای تهیه شوری‌های مختلف از نمک دریاچه قم و آب شهری با هدایت الکتریکی معادل ۵۸۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متراستفاده شد. ترکیب آب شور مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۱- تجزیه شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1. Chemical analysis of the soil of the experimental site

کربن آلی OC (%)	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC(ds.m^{-1})	درصد رطوبت اشباع SP %(w/w)	پتاسیم قابل استفاده $K_{ava.}$ (mg.kg^{-1})	فسفر قابل استفاده $P_{ava.}$ (mg.kg^{-1})
6.1	7.72	1.76	28	240	24.6
کربنات کلسیم معادل (%)	مس قابل جذب Cu (mg.kg^{-1})	روی قابل جذب Zn (mg.kg^{-1})	منگنز قابل جذب Mn (mg.kg^{-1})	آهن قابل جذب Fe (mg.kg^{-1})	نیتروژن کل N (%)
8.96	0.62	2.86	10.46	7.56	0.17

جدول ۲- تجزیه شیمیایی آب آبیاری
Table 1. Chemical analysis of irrigation water

اسیدیته pH	سولفات SO_4 (mg.l^{-1})	منیزیم Mg (mg.l^{-1})	کلسیم Ca (mg.l^{-1})	هدایت الکتریکی EC (µS.cm^{-1})	نسبت جذب سدیم (SAR)
7.5	1324.6	54.8	112	10496	38.1
بر B (mg.l^{-1})	سدیم Na (mg.l^{-1})	کربنات CO_3 (mg.l^{-1})	کلراید Cl (mg.l^{-1})	پتاسیم K (mg.l^{-1})	بی‌کربنات HCO_3 (mg.l^{-1})
0.48	1998.7	0.0	2432.6	3.13	73.2

به منظور اعمال تیمار گاز CO_2 اتاقک‌های رشد در داخل گلخانه به ابعاد، ۹ متر طول، ۲ متر عرض و ارتفاع ۲/۵ متر ایجاد گردید که روی آن با نایلون شفاف با قطر ۰/۱۵ میلی‌متر پوشانده

شد. کف اتاقک‌ها به گونه‌ای طراحی شد که گلدان‌ها به فاصله ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گیرند. سقف اتاقک‌ها با استفاده از نایلون و با فاصله حدود ۲۰ سانتی‌متر از بالای دیواره پوشانده شد. به طوری که ضمن امکان برقراری تبادل آزاد رطوبت و دما، هوای داخل اتاقک نسبتا ساکن و از تلاطم آن جلوگیری شود.

گاز CO_2 با استفاده از کپسول تأمین گردید. انتقال گاز به اتاقک‌ها با نصب مانومتر CO_2 روی کپسول و استفاده از شیلنگ پنوماتیک ۸ ×۱۰ میلی‌متر انجام شد. شیلنگ اصلی به ترمینال وصل و از ترمینال برای هر اتاقک دو انشعاب گرفته و در طول گلخانه کشیده شد. انتهای شیلنگ مسدود و در طول شیلنگ سوراخ‌هایی تعبیه گردید و سعی شد سوراخ‌های ابتدایی کوچک و به تدریج بر قطر سوراخ‌ها افزوده شود. روزانه به مدت ۸ ساعت گاز به اتاقک‌ها وارد شد و غلظت گاز در اتاقک‌ها به طور متناوب اندازه‌گیری شد. گلدان‌ها تا مرحله شروع ساقه رفتن بیرون از گلخانه نگهداری شد تا در معرض سرمای لازم قرار گرفته و نیاز سرمایی تأمین شود. با شروع مرحله ساقه رفتن گیاه (کد ۲/۰۰ در سیستم سیلوستر- برادلی و میکپیس)، گلدان‌ها به اتاقک‌ها منتقل و تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند.

سطح برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء و غلظت کلروفیل برگ‌ها بود که در مرحلهٔ پایان گلدهی اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدن کامل، بوته‌های هر گلدان برداشت گردید و پس از خشکاندن کامل نسبت به کوبیدن و جداسازی دانه اقدام و عملکرد دانه تعیین گردید. همچنین پس از برداشت، ریشه بوته‌های هر گلدان از طریق آبشویی بیرون آورده شد. پس از خشکاندن کامل ریشه‌ها در هوای آزاد وزن آن‌ها تعیین گردید. فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه PSM MARK и BJOMONITOR S. CI. AB اندازه‌گیری شد. نحوه کار بدین صورت است که در بین ساعت ۱۰:۰۰ تا ۱۶:۰۰ در هر گلدان از هر تیمار سه برگ کامل به تصادف انتخاب و در محل پهن‌ترین قسمت برگ گیره متصل شد، بعد از مدت زمان سازش تاریکی یعنی ۱۵ دقیقه با استفاده از کابل انتقال نوری گیره را به دستگاه اتصال داده و نور تولید شده توسط دستگاه به برگ تابیده و پارامتر نسبت فلورسانس متغییر به حداکثر (Fv/Fm) در برگ‌های سازگار شده به تاریکی اندازه‌گیری شد (Nogues and Baker, 2000).

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) وزن تر یک برگ اندازه‌گیری شد. این تک برگ به منظور تعیین وزن آماس (اشباع) بمدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در تاریکی در داخل آب مقطر قرار داده شد. سپس از آب خارج و با استفاده از کاغذ خشک‌کن قطرات آب روی آن خشک گردید و بلافاصله وزن اشباع آن ثبت گردید.

در پایان وزن خشک (آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) برگ مذکور نیز اندازه‌گیری شد و RWC از طریق رابطه زیر بدست آمد (Ritchie *et al.*, 1990).

$$RWC\% = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}} \times 100$$

کلروفیل کل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Cholorophyll Meter, Minolta, SPAD-520, Japan) اندازه‌گیری شد. به منظور افزایش دقت در اندازه‌گیری، میزان کلروفیل برگ از سه بوته و از سه مکان روی برگ مورد نظر از هر بوته اندازه‌گیری گردید و میانگین آن‌ها به عنوان عدد نهایی یادداشت شد.

برای اندازه‌گیری نشت یونی غشاء ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله آزمایش درب‌دار ریخته شد. درب آن بسته و در حمام آب با درجه حرارت ۲۵°C به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. سپس هدایت الکتریکی (EC_1) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد برای ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردید تا بافتها کشته شده و الکترولیت آنها خارج شود. پس از خنک شدن نمونه‌ها هدایت الکتریکی آنها تعیین گردید (EC_2). نشت یونی غشاء با استفاده از فرمول زیر بیان گردید (Dionisio-Sese and Tobita, 1998):

$$EL = EC_1 / EC_2 \times 100$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. شکل‌ها و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم شدند.

نتایج و بحث

ارقام در اکثر صفات اندازه‌گیری شده با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳). این اختلاف در وزن تر کل بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن خشک ریشه، تعداد برگ و شاخه، میزان کلروفیل برگ و کلروفیل فلورسانس کاملاً معنی‌دار بود. رقم اکاپی بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ریشه، عملکرد دانه، کارآیی نظام نوری ۲ (Fv/Fm) و محتوی نسبی آب برگ و کمترین تعداد شاخه در بوته و نشت یونی غشاء را داشت (جدول ۴). این اختلافات با توجه به تیپ رشد متفاوت ارقام منطقی به نظر می‌رسد. رقم اکاپی تیپ رشد زمستانه، رقم زرفام تیپ رشد بینابین و رقم RGS003 تیپ رشد بهاره دارد.

تیمار شوری بر تمام صفات اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳) و باعث کاهش وزن تر بوته ، وزن خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه، عملکرد دانه و محتوی نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی غشاء ، میزان کلروفیل برگ و فلورسانس

جدول ۳- تجزیه واریانس برای صفات مختلف در سه رقم کلزا در تیمارهای شوری و دی‌اکسیدکربن

Table 3. Analysis of variance for different traits in three rapeseed varieties under salinity and CO_2 treatments

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات (MS) وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	سطح برگ Leaf area	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
CO_2 (C)	دی اکسید کربن	2	17.40*	27.74*	24789.53**	1.970**	265.86**
Error a	خطای الف	6	2.50	4.87	4325.49	0.112	4.97
Variety (V)	رقم	2	13.60	1505.98**	347679.25**	20.210**	551.66**
Salinity (S)	شوری	3	143.50**	278.48**	108921.00**	1.016**	250.06**
C × V	دی اکسید کربن × رقم	4	2.80	51.20**	11590.20**	0.620**	78.88**
C × S	دی اکسید کربن × شوری	6	6.70	8.65	3722.85	0.220*	22.24*
S × V	شوری رقم	6	15.30**	79.25**	15513.00**	0.130	30.27**
C × V × S	دی اکسید کربن × رقم × شوری	12	7.90	34.80*	9559.74**	0.940**	38.59**
Error b	خطای ب	66	4.93	7.62	3114.21	0.100	8.63
C.V. (%)			21.75	17.89	17.98	16.810	17.04

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

Table 3. Continued

ادامه جدول ۳

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات MS تعداد برگ در بوته Leaf no. plant^{-1}	تعداد شاخه در بوته Branch no. plant^{-1}	عملکرد دانه Seed yield	نشت یونی غشاء Memberane ion leakage	وزن خشک بوته Plant dry weight
CO_2 (C)	دی اکسید کربن	2	14.93	0.194	199841.44**	500694.270**	8260127.14**
Error a	خطای الف	6	10.57	1.410	25645.14	191183.591	4095511.14
Variety (V)	رقم	2	106.00**	4.110**	37927.67	80594.89	1329790.34*
Salinity (S)	شوری	3	78.13**	9.190**	193181.51**	1.211	19902856.15**
C × V	دی اکسید کربن × رقم	4	6.32	0.350	6531.28	170649.610**	2815940.57**
C × S	دی اکسید کربن × شوری	6	4.27	0.490	15440.57	42250.140	697109.20
S × V	شوری رقم	6	16.76**	1.480*	45406.85*	102375.610**	1689575.82**
C × V × S	دی‌اکسیدکربن × رقم × شوری	12	9.07	0.290	11227.01	138076.850**	2278375.98**
Error b	خطای ب	66	5.62	0.569	15799.41	28245.500	3805489.00
C.V. (%)			12.98	17.980	17.16	18.100	16.35

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۳

Table 3. Continued

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات MS: کلروفیل برگ Chlorophyll (SPAD)	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	ارتفاع بوته Plant height	وزن تر بوته Plant fresh weight	فلورسانس متغیر به حداکثر Fv/Fm
CO_2 (C)	دی اکسید کربن	2	25.18**	57.47	440.065**	910.36**	0.1860**
Error a	خطای الف	6	17.73	56.01	81.480	221.16	0.0083
Variety (V)	رقم	2	189.23**	277.00	10.480	1493.20**	0.0073*
Salinity (S)	شوری	3	927.93	1355.54**	5079.960**	5750.35**	0.0114**
C × V	دی اکسید کربن × رقم	4	5.89	166.49	81.360	101.34	0.0033
C × S	دی اکسید کربن × شوری	6	28.37	272.40	61.320	178.34	0.0036
S × V	شوری رقم	6	19.66	328.94*	529.220**	525.03**	0.0018
C × V × S	دی اکسید کربن × رقم × شوری	12	20.34	20.87	43.320	205.75	0.0022
Error b	خطای ب	66	15.07	139.37	45.850	157.07**	0.0019
C.V. (%)			7.23	17.48	6.150	16.35	7.1300

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

کلروفیل برگ شده است (جدول ۵). مطالعات شمس‌الدین (Shamsoddin, 2006) نیز نشان داد که با افزایش میزان شوری، درصد یکنواختی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول، قطر و وزن خشک ساقه، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد گره، میانگین ، مجموع طول شاخه‌های فرعی، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد خوشه اصلی و فرعی، تعداد دانه درخورجین اصلی و فرعی، طول خورجین خوشهٔ اصلی و فرعی، غلظت کلروفیل، میزان قند، پروتئین، درصد پتاسیم، کلسیم و منیزیم کاهش یافت و میزان نشت یونی غشاء، غلظت یون کلسیم و سدیم، نسبت سدیم به پتاسیم، سدیم به کلسیم، کلسیم به منیزیم و غلظت پرولین افزایش یافت. در آزمایش دیگری با مقادیر مختلف شوری، اثر افزایش شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار بر کاهش رشد کلزا محسوس نبود در حالی که غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک، رشد را بطور معنی‌داری کاهش داد (Khademi, 2002). نتایج آزمایش‌ها دیگر نیز نشان داده است که که در تنش شوری رشد در گیاهانی نظیر گوجه‌فرنگی، پنبه و چغندر قند را کاهش می‌دهد (Omami, 2005). تیمار نمک باعث کاهش معنی‌دار در محتوای نسبی آب (RWC) در ارقام چغندرقند شد. کاهش در RWC از دست رفتن آماس را نشان می‌دهد که در نتیجه قابلیت دسترسی به آب برای فرآیندهای توسعه سلول را محدود می‌کند. (Omami, 2005). نتایج بررسی نعیم و همکاران

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف برای سه رقم کلزا در تیمارهای شوری و دی‌اکسیدکربن

Table 4. Mean comparison of different traits in three rapeseed varieties under salinity and Co_2 treatments

Variety	رقم	وزن خشک ساقه در بوته (گرم) Stem dry weight (g)	کلروفیل برگ Chlorophyll (SPAD)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Leaf no. plant^{-1}	تعداد شاخه در بوته Branch no. plant^{-1}	محتوی نسبی آب برگ (درصد) Relative water content (%)
Okapi	اکاپی	4.36a	17.28b	110.72a	54.76a	9.66b	69.61a
Zarfam	زرفام	3.81b	17.20b	109.66b	55.20a	10.87a	68.06a
RGS003		4.42a	20.25a	110.00a	51.03b	10.11a	57.76b

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan`s Multiple Range Test.

Table 4. Continued

ادامه جدول ۴

Variety	رقم	فلورسانس متغیر به حداکثر Fv/Fm	عملکرد دانه (گرم در گلدان) Seed yield (g.pot^{-1})	وزن تر برگ بوته (گرم) Leaf fresh weight plant^{-1} (g)	سطح برگ بوته (سانتیمترمربع) Leaf area plant^{-1} (cm^2)	وزن خشک برگ بوته (گرم) Leaf dry weight plant^{-1} (g)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) Root dry weight (g.pot^{-1})	نشت یونی غشاء (میکرو زیمنس بر سانتی متر) Memberane ion leaching (µS.cm^{-2})	وزن کل بوته (گرم در گلدان) Plant dry weight (g.pot^{-1})
Okapi	اکاپی	0.619a	252a	21.62a	403.36a	2.65a	20.65a	883.54b	518b
Zarfam	زرفام	0.605ab	249a	15.93b	319.94b	1.87b	18.10b	924.00ab	751ab
RGS003		0.591b	232a	8.72c	207.53c	1.15c	12.97c	977.86a	794a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan`s Multiple Range Test.

(Naeem *et al.*, 2010) نشان داد شوری رشد ریشه و اندام هوایی را کند کرده و پتانسیل آب برگ و غلظت کلروفیل را کاهش داد.

غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) هوا بر وزن تر بوته، سطح و وزن خشک برگ، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، پایداری غشاء و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل اثر خیلی معنی‌دار ($P<0.01$) و بر وزن خشک ساقه، و وزن تر برگ اثر معنی‌دار ($P<0.05$) داشت (جدول ۳). پاسخ‌های مثبت گیاهان زراعی به افزایش CO_2 به خوبی اثبات شده است. با افزایش CO_2 اغلب کارآیی مصرف آب، فتوسنتز خالص، تولید زیست توده و عملکرد افزایش می‌یابد (Kimball *et al.*, 2000). داده‌های جمع‌آوری شده از آزمایش‌های گلخانه‌ای و تحت شرایط کنترل شده در اتاق‌های رشد افزایش عملکرد زراعی بیش از ۳۰ درصدی را به طور میانگین در شرایط CO_2 دو برابر شده نشان می‌دهد (Kimball *et al.*, 2002).

مقایسه میانگین صفات در سطوح مختلف

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مختلف سه رقم کلزا در تیمارهای شوری

Table 5. Mean comparison of different traits of three rapeseed varieties in salinity treatments

تیمارشوری	محتوی نسبی آب برگ (درصد)	تعداد شاخه در بوته	تعداد برگ در بوته	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	کلروفیل برگ	وزن خشک ساقه در بوته (گرم)	وزن تر کل (گرم/بوته)
Salinity treatment ($dS.m^{-1}$)	Relative water content (%)	Branch no. $plant^{-1}$	Leaf no. $plant^{-1}$	Plant height (cm)	Chlorophyll (SPAD)	Stem dry weight $Plant^{-1}$ (g)	Plant fresh weight ($g.plant^{-1}$)
0	78.04a	4.85a	20.37a	125.59a	45.45c	12.97a	74.6a
5	64.69b	4.52a	18.93b	116.93b	53.67b	11.01b	86.9b
10	62.61b	3.74b	17.00c	102.96c	56.77a	9.30c	58.5c
15	64.71b	3.67b	16.78c	95.04d	58.77a	7.59d	50.5d

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan`s Multiple Range Test.

Table 5. Continued

ادامه جدول ۵

تیمارشوری	نشت یونی غشاء(میکرو زیمنس بر سانتی متر)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک برگ بوته (گرم)	سطح برگ بوته (سانتیمتر مربع)	وزن تر برگ بوته (گرم)	عملکرد دانه (گرم در گلدان)	فلورسانس متغیر به حداکثر
Salinity treatment ($dS.m^{-1}$)	Memberane ion leakage ($\mu S.cm^{-2}$)	Root dry weight ($g.pot^{-1}$)	Leaf dry weight $plant^{-1}$ (g)	Leaf area $plant^{-1}$ (Cm^2)	Leaf fresh weight $plant^{-1}$ (g)	Grain yield ($g.pot^{-1}$)	Fv/Fm
0	650.95c	21.75a	2.17a	405.26a	20.21a	282a	0.6278a
5	932.74b	16.70b	1.72b	248.30b	13.91b	226b	0.5780b
10	965.89b	16.21b	1.80b	272.22b	13.38b	155c	0.6083a
15	1164.27a	14.47c	1.87b	279.33b	14.19b	112d	0.6056a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan`s Multiple Range Test.

تیمار غلظت گاز کربنیک نشان داد که افزایش غلظت گاز کربنیک به سه برابر میزان فعلی، بیشترین وزن تر بوته، وزن خشک ساقه، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک و سطح برگ را به همراه داشت (جدول ۶). اما این افزایش در عملکرد مشهود نبود.

در بررسی اثر غنی‌سازی CO_2 هوای آزاد روی رشد کلزای تابستانه افزایش CO_2 هوا تا حد ۴۹۴ میکرومول بر مول باعث انتقال سریعتر از مرحله رویشی به زایشی و آغاز سریعتر پیری شد و این عامل باعث شد در پایان مرحله گلدهی بیوماس اندام هوایی به طور معنی‌دار و تا ۴۰ درصد افزایش یابد، اما در برداشت نهایی افزایش عملکرد دانه معنی‌دار نبود (Franzaring *et al*., 2008). میزان روغن دانه و عملکرد روغن کل نیز تحت تأثیر قرارنگرفت. تنها اثر معنی‌دار افزایش غلظت گازکربنیک هوا که در مرحله برداشت باقی ماند افزایش بیوماس دیواره‌های خورجین بود، اما بررسی اثر افزایش غلظت CO_2 و تابش UV-B بر کلزا نشان داد، غلظت بالای CO_2 به طور معنی‌دار ارتفاع بوته و عملکرد را افزایش

جدول۶- مقایسه میانگین صفات مختلف سه رقم کلزا در سطوح تیمار غلظت دی‌اکسیدکربن

Table 6. Mean comparison of different traits of three rapeseed varieties under carbon dioxide treatment

غلظت گار کربنیک	وزن خشک ساقه در بوته (گرم)	کلروفیل برگ	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	وزن تر برگ بوته (گرم)	سطح برگ بوته (سانتیمتر مربع)
CO_2 (ppm)	Stem dry weight plant^{-1} (g)	Chlorophyll (SPAD)	Plant weight (cm)	Leaf fresh weight plant^{-1} (g)	Leaf area plant^{-1} (Cm^2)
350	10.22a	54.53a	108.08b	14.42b	291.75b
700	9.52b	53.60a	108.14b	15.79b	298.87b
1050	10.91a	52.86a	114.17a	16.06a	340.35a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan`s Multiple Range Test.

Table 6. Continued

ادامه جدول ۶

غلظت گار کربنیک	فلورسانس متغیر به حداکثر	نشت یونی غشاء (میکرو زیمنس بر سانتی متر)	عملکرد دانه (گرم در گلدان)	وزن خشک برگ بوته (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)
CO_2 (ppm)	Fv/Fm	Memberane ion leakage ($\mu S.cm^{-2}$)	Grain yield ($g.pot^{-1}$)	Leaf dry weight plant^{-1} (g)	Root dry weight plant^{-1} (g)
350	0.3191c	1035.0a	273a	1.63b	19.81a
700	0.4094b	948.6a	232b	1.94a	17.52b
1050	0.4445a	801.8a	228b	2.09a	14.39c

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan`s Multiple Range Test.

داد (Qaderi and Reid, 2005). ظرفیت مخزن برگ به عنوان یک عامل مهم برای تولید گیاهی حداکثر، در غلظت بالای CO_2 پیشنهاد شده است (Drake *et al.*, 1997). تثبیت CO_2 فتوسنتزی و اکسیژناسیون تنفس نوری واکنش‌هایی هستند که در مخل فعالیت آنزیم رابیسکو با یکدیگر رقابت می‌کنند. با افزایش نسبت غلظت CO_2 به O_2، تعادل بین چرخه کربوکسیلاسیون و اکسیژناسیون به نفع چرخه کربوکسیلاسیون به هم می‌خورد و فتوسنتز نسبت به تنفس نوری افزایش می‌یابد (Taize and Ziger, 2003). میزان کلروفیل برگ در سطوح مختلف گاز کربنیک تفاوت معنی‌داری نداشت که نشان می‌دهد میزان ساخت کلروفیل متناسب با توسعه برگ‌ها بوده و غلظت CO_2 اثر جداگانه‌ای بر آن ندارد. تعداد برگ و تعداد شاخه نیز تحت تأثیر غلظت گاز کربنیک قرار نگرفت. تغییرات در رشد و تولید به طور واضح به مقدار نور دریافت شده توسط گیاهان مربوط می‌شود و به مقدار زیادی بوسیلهٔ شاخص سطح برگ و اثر CO_2 افزایش یافته روی رشد مشخص می‌گردد (Ewert, 2004). سرعت رشد برگ تحت گازکربنیک بیش از ۶۰۰ میکرومول بر مول،

کمی سریع‌تر است. افزایش سطح تک برگ در گیاهانی که در گاز کربنیک معادل ۲ الی ۳ برابر غلظت طبیعی رشد می کنند حدود ۲۰ درصد است.

بررسی اثر متقابل شوری × رقم × غلظت CO_2 نشان داد که تأثیر شوری بر صفات و ویژگی‌های ارقام در سطوح مختلف گاز کربنیک متفاوت بود (جدول ۷). این تفاوت در مورد صفاتی مانند وزن تر و خشک برگ، وزن خشک ریشه و نشت یونی غشاء معنی‌دار بود (جدول ۷). نشت یونی غشاء با افزایش میزان شوری افزایش یافت. اما این افزایش در سطوح غلظت سه برابر میزان فعلی ناچیز و در غلظت فعلی حداکثر بود. غلظت‌های بالای یونی ممکن است پایداری غشاء و نقش‌های آن را مختل کند و در تداخل با تعادل مواد محلول و جذب مواد معدنی باعث علائم کمبود عناصر غذایی شبیه آنچه در غیاب شوری رخ می‌دهد، گردد (Omami, 2005). در غلظت فعلی CO_2 هوا با افزایش سطوح شوری وزن تر بوته و سطح برگ در هر سه رقم کاهش و میزان کلروفیل برگ آن‌ها افزایش یافت و محتوی نسبی آب برگ تغییری نداشت (جدول ۷).

نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر که بیانگر کارآیی نظام نوری ۲ است در غلظت سه برابر بیشتر از بقیه سطوح بود که نشان‌دهنده کاهش اثر تنش شوری بر فتوسنتز در اثر افزایش غلظت CO_2 بود (جدول ۷). وزن خشک ریشه در غلظت سه برابر کمترین و در غلظت معمول بیشترین مقدار بود. بررسی‌ها روی گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد تیمار غلظت دو برابر گاز کربنیک بطور مشخص نسبت کمتر ریشه به اندام هوایی (۰/۰۰۱±۰/۱۳۸) را نسبت به تیمار معمول غلظت گاز کربنیک (۰/۰۱۴±۰/۱۵۶) به دنبال دارد ((Maggio *et al.*, 2001). راجرز و همکاران (Rogers *et al.*, 1999) گزارش کردند که پاسخ‌های نسبی به افزایش CO_2 در تنش‌های محیطی و محدودیت‌های منابع بسیار شدیدتراست.

در غلظت دو برابر غلظت فعلی CO_2 هوا، با افزایش سطح شوری، وزن تر بوته و وزن خشک ساقه در ارقام اکاپی و زرفام کاهش یافت، اما در رقم RGS003 تغییر معنی‌داری نداشت (جدول ۷). با توجه به اینکه رقم RGS003 دارای تیپ رشد بهاره است مراحل رشد زایشی را زودتر طی کرد، بنابراین در طی این مراحل درجه حرارت محیط خنک‌تر و شرایط مطلوب‌تری برای انجام فتوسنتز و استفاده از CO_2 افزایش یافته و همچنین مواد ساخته شده فتوسنتزی وجود داشت. بنابراین غلظت دو برابر حد فعلی توانست باعث کاهش اثر تنش شوری شده و وزن تر بوته و وزن خشک ساقه را در رقم RGS003 ثابت نگه دارد (جدول ۷). اما ارقام اکاپی و زرفام دوره رشد طولانی‌تری داشته و مراحل زایشی و تشکیل دانه با افزایش دمای محیط مصادف شد، و در این شرایط CO_2 افزایش یافته نتوانست اثر شوری را کاهش دهد. بسیاری از گیاهان زمانی که در شرایط گرم و

جدول ۷ – اثر متقابل غلظت گاز کربنیک × رقم × شوری بر صفات مختلف کلزا

Table 7. Co_2 × variety × salinity interaction effect on different traits in rapeseed

غلظت گاز کربنیک		شوری (دسی‌زیمنس در مترمربع)	وزن ترکل (گرم در بوته)	وزن خشک ساقه (گرم در بوته)	کلروفیل برگ	محتوی نسبی آب برگ (درصد)	فلورسانس متغیر به حداکثر	عملکرد دانه (گرم در گلدان)	سطح برگ بوته (سانتیمترمربع)	نشت یونی غشاء(میکرو زیمنس بر سانتی متر)
CO_2 (ppm)	رقم Variety	Salinity (dSm^{-1})	Plant fresh weight ($g.plant^{-1}$)	Stem dry weight ($g.plant^{-1}$)	Chlorophyll (SPAD)	Relative water content (%)	Fv/Fm	Grain yield ($g.pot^{1}$)	Leaf area $Plant^{-1}$ (cm^2)	Memberane ion leakage ($\mu S.cm^{-2}$)
350	اکاپی Okapi	0	87.20a	13.07a	50.00b	65.25a	0.7100a	248.2a	503.00a	702.73d
		5	76.17ab	12.26a	55.47ab	62.25a	0.7100a	275.2a	409.00ab	934.03b
		10	57.27b	8.06a	59.17a	58.179a	0.7000a	324.1a	328.00b	767.67c
		15	52.33b	6.69a	60.60a	58.99a	0.6600a	305.6a	313.00b	1208.33a
	زرفام Zarfam	0	88.80a	12.28a	48.17b	91.19a	0.6783a	236.0b	457.33a	636.00d
		5	70.83a	12.83a	55.80a	60.52a	0.6063a	235.4b	261.67bc	1381.00a
		10	73.00ab	11.75a	59.47a	60.35a	0.6687a	279.8ab	321.00b	1338.00b
		15	46.50b	7.48a	61.43a	75.94a	0.6893a	336.7a	223.33c	1091.00c
	RGS003	0	68.10a	12.40a	46.70b	66.20a	0.6663ab	223.9a	198.00a	819.00d
		5	57.77ab	10.49ab	51.20ab	63.92a	0.6270b	267.7a	139.67c	984.00c
		10	46.10ab	8.61ab	48.60ab	82.77a	0.7013a	2862.0a	160.67bc	1072.00b
		15	39.57b	6.70b	57.73a	80.38a	0.6837ab	287.1a	186.33ab	1486.00a
700	اکاپی Okapi	0	87.63a	11.50a	44.77b	83.04a	0.6683a	199.5a	582.00a	648.80b
		5	71.03ab	9.79ab	56.87a	57.57b	0.5993a	230.2a	350.67b	970.70ab
		10	50.97c	7.157b	56.77a	57.05b	0.6650a	280.3a	387.67b	939.00ab
		15	54.40bc	6.78b	58.70a	60.69b	0.5787a	261.8a	346.23b	1158.30a
	زرفام Zarfam	0	85.00a	14.706a	47.50b	88.31a	0.6387a	211.2a	293.00a	630.10b
		5	52.77ab	9.46ab	58.67a	67.71b	0.5510b	223.9a	254.67a	1106.30a
		10	63.57ab	10.33ab	56.23a	61.29b	0.6043ab	242.4a	242.33a	771.70ab
		15	46.30b	6.60b	58.83a	59.49b	0.6150ab	242.8a	300.33a	769.70ab
	RGS003	0	67.83a	10.42a	41.30b	80.50a	0.770c	224.3a	284.00a	770.90c
		5	46.07a	7.92a	46.70b	67.80ab	0.937cb	204.9a	177.68a	937.30cb
		10	59.47a	11.22a	55.37a	55.15b	0.1197ab	205.4a	198.33a	1197.00ab
		15	46.40a	8.26a	61.53a	57.08b	0.10483a	211.7a	168.33a	1483.00a
1050	اکاپی Okapi	0	113.88a	15.94a	45.30c	91.37a	0.5373a	167.0b	590.67a	529.30b
		5	79.30b	11.675b	52.17b	67.27b	0.5013a	198.6b	312.67b	544.20b
		10	55.13c	7.42c	58.67a	56.34c	0.5663a	285.7a	356.00b	1055.30ab
		15	50.03c	5.58c	58.67a	54.27c	0.5373a	280.3a	361.23b	1143.70a
	زرفام Zarfam	0	98.23a	15.35a	44.53b	75.11a	0.5927a	208.8b	494.67a	481.60b
		5	70.10ab	11.50b	56.50a	64.99a	0.5483a	217.1b	389.67b	833.10b
		10	57.80b	9.03b	58.90a	65.61a	0.5030a	229.7b	243.33c	698.70b
		15	62.77b	9.14b	56.37a	63.27a	0.5673a	317.3a	358.00b	1350.70a
	RGS003	0	64.63a	10.98a	40.80b	60.710a	0.5090a	180.5a	244.67ab	640.4a0
		5	77.40a	13.16a	49.63ab	70.22a	0.5153a	255.5a	263.00a	703.00a
		10	63.40a	11.45a	57.73a	66.80a	0.4867a	223.4a	213.00b	853.30a
		15	56.37a	9.67a	55.03a	72.33a	0.5040a	211.7a	256.67ab	787.70a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan`s Multiple Range Test.

خشک رشد می‌کنند، نسبت به شرایط سرد و مرطوب شوری را کمتر تحمل می‌کنند. تحت شرایط گرم و خشک با افزایش شوری در مقایسه با شرایط مرطوب و سرد عملکرد سریعتر کاهش می‌یابد که عمدتاً به علت کاهش تجمع یون و یا بهبود روابط آبی گیاه در شرایط مرطوب و سرد می‌باشد (Omami, 2005).

در غلظت دو برابر غلظت فعلی CO_2 هوا، با افزایش سطح شوری، میزان کلروفیل در هر سه رقم افزایش یافت. باتوجه به اینکه بین میزان کلروفیل و وزن تر کل بوته همبستگی منفی وجود دارد این افزایش احتمالاً ناشی از توسعه نیافتن سلول‌ها در اثر شوری و تراکم بیشتر کلروفیل در واحد سطح برگ می‌باشد. افزایش جذب یون سدیم در اثر شوری باعث کاهش جذب یون فسفر می‌گردد واین عامل احتمالاً از توسعه سلولها جلوگیری می‌کند. محتوی نسبی آب برگ در هر سه رقم کاهش یافت که نشان‌دهنده عدم تأثیر غلظت دو برابر غلظت فعلی بر محتوی نسبی آب برگ می‌باشد. نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm) در رقم اکاپی ثابت، در رقم زرفام کاهش و در رقم RGS003 افزایش یافت که نشان دهنده متفاوت بودن کارآیی فتوسنتزی در این سه رقم بود. عملکرد دانه در هر سه رقم ثابت بود و غلظت دو برابر CO_2 تأثیری بر عملکرد دانه نداشت. نشت یونی غشاء در هر سه رقم با افزایش شوری افزایش یافت (جدول ۷).

افزایش جذب یون سدیم باعث ممانعت از جذب یون کلسیم می‌گردد. این موضوع احتمالاً در کاهش پایداری دیواره سلولی مؤثر است. در غلظت سه برابر CO_2 با افزایش سطح شوری، وزن تر بوته و وزن خشک ساقه در رقم اکاپی کاهش شدید، در زرفام کاهش ملایم و در RGS003 بدون تغییر بود که نشان‌دهنده استفاده بهتر رقمRGS003 از غلظت افزایش یافته CO_2 بود.

ظرفیت ژنتیکی برای مصرف مواد فتوسنتزی در شرایط افزایش CO_2 برای حفظ فتوسنتز افزایش یافته بسیار مهم می‌باشد (Drake *et al.*, 1997). میزان کلروفیل در هر سه رقم افزایش یافت. همانطور که قبلاً بیان شد افزایش شوری باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ، احتمالاً در اثر توسعه کمتر سلولها، شده و افزایش غلظت CO_2 نتوانست تأثیری بر آن داشته باشد. محتوی نسبی آب در رقم اکاپی با افزایش شوری کاهش یافت اما در ارقام زرفام و RGS003 تغییر معنی‌داری نداشت که بیانگر حساسیت بیشتر رقم اکاپی بود. نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (fv/fm) در هر سه رقم در سطوح مختلف شوری ثابت ماند و بیانگر تأثیر مثبت افزایش غلظت CO_2 بر کاهش فلورسانس کلروفیل ناشی از اثر شوری بود. سطح برگ در هر سه رقم کاهش یافت و نشت یونی غشاء در ارقام اکاپی و زرفام افزایش و در رقم RGS003 ثابت بوده است. به نظر می‌رسد که غلظت سه برابر CO_2 توانسته است از کاهش پایداری در اثر شوری در رقم RGS003

جلوگیری کند. اما این اثر در ارقام اکاپی و زرفام دیده نشد. میزان کاهش رشد ناشی از اثر شوری تا حد زیادی به گونه گیاهی و تا حد کمتری به رقم متفاوت است. شدت پاسخ به شوری نیز با اثر متقابل عوامل محیطی از جمله رطوبت نسبی، درجه حرارت، تابش و آلودگی هوا تغییر می‌کند (Omami, 2005).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد افزایش غلظت CO_2 هوا توانست تا حدی آثار منفی افزایش شوری بر رشد رویشی کلزا را خنثی کند، اما نتوانست کاهش عملکرد دانه را جبران کند.

References

Ball, W. E., and Munns, R. 1992. Plant responses to salinity under elevated atmospheric concentrations of CO_2 . Australian Journal of Botany 40(5): 515-525.

Brooks, T. J., Wall G. W., Pinter, P. J., Kimball B. A., Lamorte R. L., and Leavitt, S. W. 2000. Acclimation response of spring wheat in a free–air CO_2 enrichment atmosphere with variable soil nitrogen regimes. Photosynthesis Research 66: 97-108.

Bybordi, A. 2010. Effects of salinity on yield and yield components in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Nutirtion Science Biology 2 (1): 81 – 83.

Dehshiri, A. 1387. Colza Cultivation. Sobhan Publications (In Persian). 64 pp.

Drake, B. G., Gonzalez, M. A., and Long, S. P. 1997. More efficient plants: a concequence of rising atmospheric CO_2. Annual Review of Plant Physiology 48: 609-639.

Ewert, F. 2004. Modeling plant responses to elevated CO_2: how important is leaf area index? Annals of Botany 93: 619-627.

Francois, L. E. 1994. Growth, seed yield and oil content of canola growth under saline conditions. Agronomy Journal 86: 233-237.

Khademi, S. 2002. Evaluation of root system response to different NaCl concenterations, distribution of some elements and growth parameters in two rapeseed cultivars. M.Sc. Thesis, The University of Tabriz, Tabriz, Iran. 120pp. (In Persian).

Harold, A. M. 1999. Carbon dioxide and environmental stress. Acadamic Press, Sandiego, California. 409 pp.

Kimball, B. A., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free air CO_2 enrichment. Advances in Agronomy 77: 293-368.

Maggio, A., Frank G., Dalton M., and Piccini, G. 2001. The effects of elevated carbon dioxide on static and dynaminc indices for tomato salt tolerance. European Journal of Agronomy. 16: 197-206.

Mirmohammadi-Meibodi, S. A. M., and Gharayazi, B. 2004. Physiological aspects of plants salt stress. Isfahanl University of Technology Press. 260 pp.

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. 481 pp. (In Persian).

Murat, T., Ruveyde, T., Bunyamin, Y., and Ciftci, V. 2011. Changes of micronutrients, dry weight and plant development in canola cultivars under salt stress. African Journal of Biotechnology 10 (19): 3726-3730.

Mohammad, M., Shibli, R., Ajlouni, M., and Nimiri, L. 1998. Tomato root and shoot response to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. Journal of Plant Nutrition 21: 1667-1680.

Naeem, M. S., Jin, Z. L., Wan, G. L., Liu, D., Liu, H. B., Yoneyama, K., and Zhou, W. J. 2010. 5-Aminolevulinic acid improves photosynthetic gas exchange capacity and ion uptake under salinity stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.) Plant Soil 332: 405-415

Nicolas, M. E., Munnas, R., Samarakoon, A. B., and Gifford, R. M. Elevated CO_2 improves the growth of wheat under salinity. Australian Journal of Plant Physiology 20(3): 349-360.

Nogues, S., and Baker, N. R. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. Journal of Experimental Botany 348: 1309-1317

Omami, E. 2005. Response of amaranth to salinity stress. Ph. D. dissertation, University of Pretoria. South Africa. 114 pp.

Qaderi, M. M., and Reid, D. M. 2005. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to UV-B and CO_2 under controlled environment conditions. Physiologia Plantarum 125: 247-259.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., and Haloday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111

Rogers, H. H., Runion, G. B., Prior, S. A., and Tobert, H. A. 1999. Response of plant to elevated atmospheric $C0_2$. Pp. 215-244. In: Luo. Y., Moony, H. A (Eds.), Carbon dioxide and environmental stress. Academi Press, San Diego, California.

Shamsodin, M. 2006. Effect of salinity on germination, vegetative growth, yield and yield components of winter rapeseed cultivars. M. Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Shahid Bahonar. Kerman, Iran. 187 pp. (In persian).

Taiz, L., and Zeiger, E. 2003. Plant physiology. 3rd edition. Sunderland: Sinauer Associates. 690 pp.

Torbert, H. A., Prior S. A., Rogers H. H., and Runion, G. B. 2004. Elevated atmospheric CO_2 effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. Field Crops Research 88: 57-67