

پاسخ مورفولوژیک و فیزیولوژیک نهال‌های یکساله سروناز (*Cupressus sempervirens* L.) به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن

پروانه یوسفوند^{۱*}، اصغر مصلح آرانی^۲ و آفاق تابنده ساروی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

^۲ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

^۳ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۸)

چکیده

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی سبب افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر می‌شود. از طرفی دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مورد نیاز برای رشد گیاهان محسوب می‌شود. بنابراین آگاهی از پاسخ گیاهان به این تغییرات بسیار اهمیت دارد. لذا به منظور مطالعه پاسخ مورفولوژیک و فیزیولوژیک گونه سروناز (*Cupressus sempervirens* L.)، به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، نهال‌های یکساله آن در معرض غلظت‌های شاهد (۴۵۰)، ۷۵۰ و ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن قرار گرفتند. این آزمایش بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. نهال‌ها به مدت دو ماه تحت تیمار دی‌اکسیدکربن بودند. نتایج نشان داد که غلظت‌های زیاد دی‌اکسیدکربن برخی از صفات مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داد. به طوری که غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن میانگین میزان پرولین را بیش از شش برابر نسبت به میانگین شاهد و بیش از دو برابر نسبت به غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام افزایش داد. غلظت ۷۵۰ همچنین بیشترین تأثیر را بر قطر یقه و مقدار ازت داشت. در غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام ارتفاع ساقه و وزن تر اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسیدکربن، سروناز، صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک.

مقدمه و هدف

تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است؛ در حال حاضر روند گرم شدن دمای کره زمین را بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌کنند (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساخت در بیوسفر عامل اصلی تغییر اقلیم محسوب می‌شود (IPCC, 2000). افزایش دی‌اکسیدکربن بیشترین تأثیر را در افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن زمین دارد که اغلب ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، معدنی و آتش‌سوزی جنگل‌هاست (نیک نژاد، ۱۳۸۸) و با توجه به آنکه بیش از ۸۳ درصد گازهای مؤثر در پدیده گرم شدن زمین را دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌دهد، می‌توان گفت این گاز کنترل‌کننده جو زمین است (امین‌زاده، ۱۳۸۸). طی چند دهه اخیر غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر از ۲۸۰ به حدود ۳۷۰ پی‌پی‌ام افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که در هر سال حدود ۱/۸ پی‌پی‌ام بر غلظت آن افزوده شود (Beerling and Kelly, 1997; Liu-Gitz *et al.*, 2000) و انتظار می‌رود که غلظت دی‌اکسیدکربن جو از ۳۷۰ به ۵۵۰ پی‌پی‌ام تا اواسط قرن حاضر (Rogers *et al.*, 1997) و به ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام تا پایان قرن افزایش یابد (Ainaworth *et al.*, 2004; Cheng *et al.*, 2009). اکوسیستم‌های جنگلی در ابعاد جهانی اهمیت فراوانی در زمینه تغییر اقلیم با جذب گاز دی‌اکسیدکربن جو و ذخیره آن در پوشش گیاهی و خاک دارند (جعفری، ۱۳۸۷). تغییر اقلیم بر فتوسنتز، تنفس گیاه و تجزیه مواد آلی که همگی بر جریان کربن اتمسفر نقش دارند اثرگذار است (Wolfgang Knorr *et al.*, 2006). در اکوسیستم‌های خشکی، گیاهان مهم‌ترین جذب‌کننده‌های دی‌اکسیدکربن محسوب می‌شوند (Sun *et al.*, 2004). دی‌اکسیدکربن مانند نور، درجه حرارت مناسب، آب و عناصر غذایی، یکی از مواد غذایی مورد نیاز گیاهان است (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۸۱). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر

وضعیت رشد گیاهان تأثیرگذار است. رشد بیشتر گیاهان با دو برابر شدن سطح دی‌اکسیدکربن اتمسفر ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد (Taize and Ziger, 2003). در شرایط غنی از دی‌اکسیدکربن، میزان بالاتر فتوسنتز خالص و در پی آن تجمع ماده خشک و افزایش رشد در گیاه مشاهده می‌شود. غلظت زیاد دی‌اکسیدکربن همچنین موجب افزایش بهینه رشد می‌شود. کاهش میزان تنفس نیز تحت شرایط غنی شده از دی‌اکسیدکربن به‌خوبی مشاهده می‌شود (Mortensen, 1986). (Nowak *et al.*, 2004) نشان داده‌اند که گونه‌های چوبی در مقایسه با گونه‌های علفی واکنش بیشتری به افزایش دی‌اکسیدکربن نشان می‌دهند. در مطالعه شور و کریمیان فریمان (۱۳۹۱) نشان داده شده که غلظت‌های زیاد دی‌اکسیدکربن موجب افزایش تقریباً ۵۰ درصدی قطر ساقه و دو برابر شدن میانگین ارتفاع، نسبت به میانگین شاهد در گل ابری شد. میانگین میزان کلروفیل نیز در غلظت ۱۰۵۰ میکرولیتر بر لیتر نسبت به میانگین شاهد ۴۱/۷٪ افزایش یافت. نتایج مطالعات محققان دیگر نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۵۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول وزن خشک گیاه اسفرزه (*Plantago major*) ۵۰ درصد افزایش یافت (Poorter *et al.*, 1988). در مطالعه دیگری غلظت دی‌اکسیدکربن اثر مثبت و معنی‌داری بر بهبود میزان تجمع ماده خشک در ژنوتیپ‌های کنگد داشت، به‌طوری که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن میانگین تولید ماده را ۱۸ درصد افزایش داد. همچنین افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن منجر به افزایش ۱۳ درصدی نسبت ریشه به اندام هوایی (R/S) شد (زواره، ۱۳۸۵). در تحقیقی دیگر با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در شرایط تأمین نیتروژن وزن خشک گیاه *Dactylis* افزایش یافت (Niboyet *et al.*, 2010). نتایج مطالعه‌ای دیگر (Kim and You, 2010) در برنج نشان داد که با افزایش دی‌اکسیدکربن و درجه

تحقیق، غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن شامل سه سطح ۴۵۰ (شاهد)، ۷۵۰ و ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام بود. نهال‌های یکساله سروناز که در شرایط یکسانی در گلخانه رشد کرده بودند، به اتاقک‌های پلاستیکی به ابعاد ۳×۲×۲ متر انتقال داده شدند. خاک گلدان‌ها حاوی خاک زراعی، ماسه، کود حیوانی و خاکبرگ بود که به نسبت ۴:۲:۱ در نظر گرفته شد. تیمارهای مختلف دی‌اکسیدکربن در زیر پلاستیک‌ها به صورت جداگانه طراحی شد و تزریق گاز با استفاده از کپسول‌های ۵۰ کیلویی دی‌اکسیدکربن انجام گرفت. همچنین به منظور کنترل دقیق مقدار دی‌اکسیدکربن، در اتاقک‌های حاوی این گاز از دستگاه تنظیم‌کننده 1312 Photoacoustic Multi Gas Monitor استفاده و همواره غلظت دی‌اکسیدکربن در حد ثابتی نگه داشته شد. نهال‌ها به مدت دو ماه در معرض غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن قرار گرفتند. متوسط دمای روزانه و متوسط دمای شبانه به ترتیب ۳۰ و ۲۶ درجه سانتی‌گراد بود که برای کلیه تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که دمای زیر پلاستیک‌ها حدود ۴ درجه نسبت به دمای داخل گلخانه به دلیل اثر دی‌اکسید کربن بیشتر بود.

پس از اعمال تیمارها به مدت دو ماه، صفات مورفولوژیک شامل قطر یقه، ارتفاع ساقه، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، بیوماس ماده تر و ماده خشک و همزمان صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد. صفات فیزیولوژیک و روش اندازه‌گیری این صفات به این صورت بود که برای اندازه‌گیری مقدار پرولین نیم گرم از اندام هوایی انتهایی گیاه شامل بافت تر برگ و ساقه در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و سپس نمونه‌ها صاف شد سپس به روش Bates et al. (1973) مقدار پرولین اندازه‌گیری شد. برای سنجش قندهای محلول ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ انتهایی) اضافه و به روش (Kochert 1987) قندهای

حرارت، مقدار کلروفیل و ازت کاهش می‌یابد. سروناز گونه مورد استفاده در این تحقیق با نام علمی (*Cupressus sempervirens* L. Var. *Cereiformis* Rehd) متعلق به خانواده Cupressaceae (قهرمان، ۱۳۶۹) و عنصری است مدیترانه‌ای، با گسترشگاه وسیع اما گسسته و هر کدام به وسعت کم، برخی از مولفان منشأ آن را ایران و افغانستان می‌دانند (جزیره‌ای، ۱۳۸۹). این گیاه درختی است نورپسند، همیشه‌سبز، دیرزی (۳ تا ۵ قرن) به بلندی ۲۵ تا ۳۰ متر و قطر بیش از ۱ متر. سیستم ریشه‌ای آن گسترده است که درخت را به صورت استواری در خاک نگه می‌دارد. سروناز گونه‌ای است با سرشت قوی و بردبار که از ۲۰ تا ۲۵ سالگی به طور منظم، اما به فراوانی، بار می‌دهد. این گیاه خشکی گراست و در برابر رطوبت نرمش دارد و قادر است در محیط‌های به نسبت مرطوب بروید و کم‌نیاز است و به نوع خاک حساسیتی ندارد. (جزیره‌ای، ۱۳۸۹). این گونه به لحاظ خصوصیات یادشده، مناسب در فضای سبز شهری مناطق خشک است و بسیار از آن استفاده می‌شود.

از آنجا که غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر همواره در حال افزایش است و در آینده به دلیل پدیده جهانی تغییر اقلیم احتمال تغییرات در گیاهان زیاد است، آزمایش درباره افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به منظور آگاهی از پاسخ گونه‌های درختی به آن، به‌ویژه گونه‌های مورد استفاده در فضای سبز شهری مانند سروناز، بسیار اهمیت دارد. در همین زمینه تحقیق حاضر در نظر دارد اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن را بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گونه درختی سروناز بررسی کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای این

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس صفات مورفولوژیک نشان داد اثر افزایش دی‌اکسیدکربن تنها بر صفات قطر یقه، ارتفاع ساقه و وزن تر اندام هوایی در بین سایر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین برای صفت قطر یقه، بین غلظت‌های زیاد دی‌اکسیدکربن اثر معنی‌داری مشاهده نشد ولی این مقادیر نسبت به میانگین شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. در بین غلظت‌های مختلف نیز، غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را داشت (جدول ۲). برای صفات ارتفاع ساقه و وزن تر اندام هوایی بین غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن اثر معنی‌دار مشاهده و بیشترین میانگین‌ها در غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام دیده شد (جدول ۲). اما برای صفات وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، بیوماس ماده تر و ماده خشک تفاوت معنی‌داری در مقدار میانگین‌ها در بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد. ولی با وجود معنی‌دار نشدن بیشترین میانگین‌ها به استثنای وزن خشک ریشه در غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام نسبت به میانگین سایر تیمارها دیده شد (جدول ۲). غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را بر صفات مورفولوژیک در گونه مورد مطالعه داشت.

محلول اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری صفات کلروفیل (a+b, b, a) و کارتنوئید از روش Lichtenthaler (1987) استفاده شد که در این روش نیز نیم گرم از برگ انتهایی گیاه استفاده شد. ازت با استفاده از ۰/۲ گرم از ماده خشک برگ‌های انتهایی گیاه به روش کجدال و فسفر و پتاسیم نیز با استفاده از ۰/۵ گرم از ماده خشک برگ‌های انتهایی به روش السن اندازه‌گیری شد. برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ نیز از رابطه ۱ استفاده شد که به این منظور، ۵ برگ از هر نهال به‌طور تصادفی انتخاب شد (فرشادفر و محمدی، ۱۳۸۲).

رابطه ۱

$100 \times (\text{وزن تر} / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})) = \text{میزان آب نسبی برگ}$

برای تجزیه و تحلیل نتایج، ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد، سپس برای بررسی اختلاف بین سطوح مختلف تیمار، تجزیه و تحلیل واریانس از نظر کلیه صفات مورد بررسی انجام گرفت و در نهایت میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن دسته‌بندی شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 (SAS Institute., 1989) انجام گرفت.

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در گیاه سروناز

خطا	تیمار	صفات
۰/۳۷	۶/۷۶**	قطر یقه
۳۳/۰۰	۱۸۵/۴۴*	ارتفاع ساقه
۱۸۳/۹۵	۱۰۲۱/۱۷*	وزن تر اندام هوایی
۴۶/۱۸	۶/۲۰ ^{ns}	وزن تر ریشه
۳۵۱/۳۶	۱۱۵۳/۱۰ ^{ns}	بیوماس ماده تر
۲۶/۱۳	۸۳/۲۶ ^{ns}	وزن خشک اندام هوایی
۶/۶۲	۰/۲۴ ^{ns}	وزن خشک ریشه
۴۶/۶۱	۷۹/۰۴ ^{ns}	بیوماس ماده خشک

**،* و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار بودن

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک مورد مطالعه با استفاده از روش دانکن در گیاه سروناز

غلظت دی‌اکسیدکربن (ppm)			فاکتورهای مورد اندازه‌گیری
۱۱۰۰	۷۵۰	شاهد (۴۵۰)	
۹/۰۹±۰/۳۰ a	۱۰/۰۴±۰/۹۵ a	۷/۰۹±۰/۳۲ b	قطر یقه (mm)
۶۹/۳۳±۶/۵۱ a	۶۲/۶۷±۶/۸۱ ab	۵۳/۶۷±۳/۲۱b	ارتفاع ساقه (cm)
۷۱/۱۰±۱۹/۴۱ a	۶۲/۰۷±۱۲/۴۹ ab	۳۵/۶۰±۴/۳۵b	وزن تر اندام هوایی (gr)
۱۷/۱۳±۷/۶۵ a	۱۴/۸۷±۸/۶۸ a	۱۴/۴۷±۲/۱۴ a	وزن تر ریشه (gr)
۸۸/۲۳±۲۵/۰۶ a	۷۶/۹۳±۱۹/۵۹ a	۵۰/۰۷±۶/۴۸ a	بیوماس ماده تر (gr)
۲۳/۶۸±۶/۹۸ a	۲۲/۸۵±۵/۰۸ a	۱۴/۱۷±۱/۹۵ a	وزن خشک اندام هوایی (gr)
۳/۸۳±۳/۰۹ a	۴/۳۴±۲/۸۶ a	۴/۲۹±۱/۴۶ a	وزن خشک ریشه (gr)
۲۷/۵۱±۹/۵۲ a	۲۷/۱۹±۶/۱۳ a	۱۸/۴۶±۳/۴۰ a	بیوماس ماده خشک (gr)

حروف متفاوت در ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌هاست.

میانگین این صفت را به بیش از شش برابر نسبت به میانگین شاهد و به بیش از دو برابر نسبت به میانگین غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام افزایش داد (جدول ۴). همچنین غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن بیشترین تأثیر را بر مقدار ازت داشت (جدول ۴). اما با وجود معنی‌دار نشدن سایر صفات، بیشترین مقدار قندهای محلول در غلظت شاهد، مقدار کلروفیل (a, b و کل)، در غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام و برای صفات کارتنوئید، فسفر، پتاسیم و محتوای نسبی آب برگ در غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک نشان می‌دهد که غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن تنها مقدار پرولین و ازت را تحت تأثیر قرار دادند و بر سایر صفات از جمله مقدار قند، کلروفیل (a, b, a+b و کارتنوئید)، فسفر، پتاسیم، و محتوای نسبی آب برگ تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین برای مقدار پرولین بین غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. در بین غلظت‌های مختلف، غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را بر مقدار پرولین گذاشت، به طوری که

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در گیاه سروناز

خطا	تیمار	صفات
۰/۰۰	۰/۰۰ *	پرولین برگ
۱/۱۱	۱/۶۳ ns	قند برگ
۲۳/۶۹	۴۲/۱۳ ns	کلروفیل a
۹/۰۴	۲۴/۰۴ ns	کلروفیل b
۵۶/۲۲	۱۲۳/۳۳ ns	کلروفیل کل
۰/۴۹	۰/۶۰ ns	کارتنوئید
۰/۰۷	۱/۹۵ **	ازت
۰/۰۰	۰/۰۰ ns	فسفر
۳۰۶۳۱/۲۵	۴۸۰۰۰/۶۹ ns	پتاسیم
۳۱/۶۷	۵۴/۱۶ ns	محتوای نسبی آب برگ

***, **, * ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار بودن.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه با استفاده از روش دانکن در گیاه سروناز

غلظت دی‌اکسیدکربن (ppm)			فاکتورهای مورد اندازه‌گیری
۱۱۰۰	۷۵۰	شاهد (۴۵۰)	
۰/۰۲±۰/۰۱ ab	۰/۰۵±۰/۰۲ a	۰/۰۱±۰/۰۰ b	پروکلین برگ (mg g ⁻¹ fw)
۰/۰۸±۰/۰۰ a	۰/۰۸±۰/۰۰ a	۰/۰۸±۰/۰۰ a	قند برگ (mg g ⁻¹ wd)
۲۰/۱۴±۷/۳۴ a	۲۷/۶۳±۳/۴۸ a	۲۳/۶۹±۲/۲۷ a	کلروفیل a (mg g ⁻¹ fw)
۱۰/۶۴±۲/۶۲ a	۱۵/۶۵±۴/۱۹ a	۱۰/۸۵±۱/۶۵ a	کلروفیل b (mg g ⁻¹ fw)
۳۰/۷۹±۹/۷۳ a	۴۳/۲۸±۷/۶۶ a	۳۴/۵۴±۳/۹۱ a	کلروفیل کل (mg g ⁻¹ fw)
۶/۶۷±۱/۰۹ a	۶/۱۹±۰/۰۸ a	۵/۷۸±۰/۵۴ a	کارتنوئید (mg g ⁻¹ fw)
۲/۱۲±۰/۳۵ b	۳/۶۶±۰/۲۶ a	۲/۴۷±۰/۱۱ b	ازت (درصد)
۰/۰۴±۰/۰۲ a	۰/۰۴±۰/۰۱ a	۰/۰۴±۰/۰۲ a	فسفر (mg/kg)
۲۷۴۰/۸۳±۲۷۶/۴۱ a	۲۵۷۸/۳۳±۴۹/۶۴ a	۲۴۹۱/۶۷±۱۱۴/۱۴ a	پتاسیم (mg/kg)
۷۴/۱۶±۴/۰۷ a	۷۰/۳۰±۸/۴۰ a	۶۵/۶۷±۲/۸۱ a	محتوای نسبی آب برگ (درصد)

حروف متفاوت در ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌هاست.

بحث

دیگری افزایش دی‌اکسیدکربن تا سطح ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میکرولیتر در لیتر، ارتفاع ساقه گل‌های داودی، ژربرا، و فرفیون را تا ۱۰ سانتی‌متر نسبت به میانگین شاهد افزایش داد (Mortensen, 1986). مطالعات Reddy *et al.* (1998) نیز نشان داد که ارتفاع گیاه پنبه در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. محققان دیگر نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب افزایش ارتفاع گیاه سویا، در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای می‌شود (Booker *et al.*, 2005). مطالعات Lechowicz, (1995 and Zhang) نیز نشان داد که کوددهی با دی‌اکسیدکربن سبب افزایش طوقه گیاه *Arabidopsis thaliana* می‌شود. مطالعات محققان دیگر درباره گل ابری نیز نشان داد که غلظت‌های زیاد دی‌اکسیدکربن میانگین قطر ساقه را نسبت به شاهد حدود ۵۰ درصد افزایش داد و میانگین ارتفاع را نسبت به میانگین شاهد به حدود دو برابر رساند (شور و کریمیان فریمان، ۱۳۹۱).

مطالعات متعددی نشان داده است که تأثیر افزایش دی‌اکسیدکربن بر بازدانگان بیشتر از پهن برگان است برای مثال در یک مقاله مروری

در متابولیسم کربن، دی‌اکسیدکربن و آب نقش اساسی را دارند. حاصل عمل فتوسنتز، سنتز قند و اکسیژن است. نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش دی‌اکسیدکربن اثر معنی‌داری بر مقدار قندهای محلول در گیاه سروناز نداشت. از آنجا که اثر فاکتورهای رشدی مورد مطالعه در این آزمایش با افزایش دی‌اکسیدکربن افزایش معنی‌داری نشان دادند می‌توان نتیجه‌گیری کرد که قندهای محلول حاصل از عمل فتوسنتز صرف سنتز ساختار گیاه مورد مطالعه شده است. برای مثال در این آزمایش مقدار قطر یقه، ارتفاع ساقه و وزن تر اندام هوایی به‌طور معنی‌داری با افزایش دی‌اکسیدکربن افزایش نشان داد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین فاکتورهای مورد مطالعه در دو غلظت ۷۵۰ و ۱۱۰۰ برای گیاه سروناز وجود دارد بنابراین افزایش دی‌اکسیدکربن تا غلظت ۱۱۰۰ سبب بسته شدن روزنه‌ها نمی‌شود.

در مطالعات Jablonski (2002) *et al.* نشان داده شد که افزایش دی‌اکسیدکربن در گیاهان، همراه با ارتفاع بیشتر و ساقه‌های قطورتر است. در آزمایش

کلزا نشان دادند که میزان ساخت کلروفیل متناسب با توسعه برگ‌هاست و غلظت دی‌اکسیدکربن اثر جداگانه‌ای بر آن ندارد. نتایج مطالعات چنارانی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی گیاه کروتون نیز نشان داد که برهمکنش نور و دی‌اکسیدکربن تأثیر معنی‌داری بر سبزیگی برگ نداشت.

اما نتایج آزمایش (Heagle *et al.*, 1998) نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۷۰ به ۷۱۳ پی‌پی‌ام، میزان کلروفیل گندم را ۳ درصد افزایش داد. مطالعات محققان دیگر در هندوانه نشان داد که غلظت ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن، سبب افزایش محتویات کلروفیل برگ‌ها می‌شود (Mavrogianopoulos *et al.*, 1999) که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد. اما محققان دیگر کاهش مقدار کلروفیل را گزارش کرده‌اند. مطالعات (Chen *et al.*, 1999) نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، میزان کلروفیل در گیاه پپینو (*Solanum muricatum* Ait) کاهش می‌یابد. دیگر محققان در گیاه *Guzmania hilda* نیز نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، موجب کاهش محتوای کلروفیل می‌شود (Croonenborghs *et al.*, 2009).

تعادل بین ازت و کربن در گیاهان برای مراحل رشدی گیاه بسیار حائز اهمیت است. ازت در احیای متابولیسم نیترات، به اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها تبدیل می‌شود. به‌طور کلی هنگامی که گیاه ازت بیشتری جذب می‌کند، مقدار هیدروکربن‌ها در آن کاهش می‌یابد و بر عکس. تعادل بین این دو می‌تواند نقش مهمی در مراحل زایشی و رویشی گیاه داشته باشد. هنگامی که ازت به مولکول‌های اسیدهای آمینه وارد و در آنها تثبیت می‌شود، برخی مواد متابولیسمی چرخه TCA (چرخه اسید تری کربوکسیلیک) به مصرف می‌رسند، ولی ادامه عمل چرخه TCA به این نیاز دارد که جای مواد متابولیسمی مصرف شده مذکور دوباره پر شود. تأمین و پر شدن جای این مواد متابولیسمی سبب مصرف هیدروکربن‌ها و مشتقات آن

منتشرشده توسط Saxe *et al.* (1998) درصد افزایش بیوماس در بازدانگان ۱۳۰ درصد و در پهن‌برگان ۴۹ درصد بیان شد. نکته مهم دیگر افزایش چهار درجه‌ای دمای ناشی از اثر دی‌اکسیدکربن در گیاهان تیمار شده با دی‌اکسیدکربن در این تحقیق بود. این افزایش دما همراه با افزایش دی‌اکسیدکربن سبب رشد چشمگیر نهال‌های یکساله سروناز شد. مشابه نتیجه مطالعه حاضر در بررسی اثر افزایش دی‌اکسیدکربن در نهال‌های یکساله گونه درختی بلوط (Norby *et al.*, 1986) مشاهده می‌شود.

در این تحقیق همان‌طور که گفته شد غلظت‌های متفاوت دی‌اکسیدکربن بر مقدار قندهای محلول تأثیر معنی‌داری نداشت اما بعضی محققان افزایش مقدار قندهای محلول را گزارش کرده‌اند. نتایج مطالعات (Ainaworth *et al.*, 2004) نشان داد که افزایش دی‌اکسیدکربن محتوای کربوهیدرات‌های محلول را تا ۲۰ درصد و کربوهیدرات‌های غیرمحلول را تا ۵۸ درصد به‌طور معنی‌داری در گونه *Glycine max* افزایش داد. محققان دیگر نشان دادند که غلظت‌های ۷۰۰ تا ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن سبب افزایش غلظت سوکروز و کربوهیدرات نسبت به گیاهان شاهد در رز مینیاتور شد (Rajapakse *et al.*, 1994). نتایج آزمایش‌های (Estiarte *et al.*, 1999) نیز نشان داد که در شرایط افزایش دی‌اکسیدکربن تجمع کربوهیدرات‌های غیرساختمانی برگ در گیاه مشاهده می‌شود. که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد.

در این تحقیق همچنین برای میزان کلروفیل (a, b, کل) و کارتنوئید بین غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما بعضی محققان کاهش، بی‌تأثیر بودن یا حتی افزایش رنگیزه‌ها را در تحقیقاتشان گزارش کرده‌اند. مشابه نتایج این تحقیق (Donnelly *et al.*, 2000) نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل برگ پرچم در گندم نداشت. همچنین ده‌شیری و همکاران (۱۳۹۱) در

انگور (Moutinho-Pereira *et al.* (2009) و برنج (Zhang *et al.* (2013) را گزارش کردند. مطالعات بلوچی و همکاران (۱۳۸۸) در گندم نان نشان داد که با افزایش دی‌اکسیدکربن و تنظیم پتانسیل آب گیاه، سنتر پرولین به‌عنوان نوعی اسید آمینه مؤثر در تنظیم پتانسیل آب گیاه کاهش می‌یابد.

پتاسیم عنصری است که فاکتور مورد نیاز ۴۰ یا بیش از ۴۰ آنزیم است و همچنین در باز و بسته شدن روزنه‌های هوایی نقش دارد. این عنصر در تنش‌های خشکی و شوری در گیاه افزایش می‌یابد. در این آزمایش تنش شوری و خشکی وجود نداشت. مقدار فسفر با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش معنی‌داری نشان نداد. فسفر در سلول‌های گیاهی نخست از طریق وارد شدن به مولکول ATP تثبیت می‌شود علاوه‌بر تثبیت فسفات در مرحله فسفوریلاسیون اکسیداتیو ($APP+Pi=ATP+H_2O$)، مقداری از فسفات جذب‌شده توسط گیاه عالی در حضور نور از طریق مرحله فسفوریلاسیون فتوسنتزی در برگ‌های سبز تثبیت می‌شود. بنابراین در مطالعه حاضر افزایش جذب فسفر وجود دارد که در مراحل بعدی در مولکول‌های فسفره شامل قندهای فسفر، فسفولیپیدها و نوکلئوتیدها تثبیت شده است (Noggle and Fritz, 1983).

از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که غلظت‌های زیاد دی‌اکسیدکربن به‌خصوص غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین تاثیر را بر برخی صفات مورد مطالعه داشت. از آنجا که افزایش دی‌اکسیدکربن تا غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام هیچ گونه تأثیر منفی بر رشد گیاه سروناز نداشت می‌توان از این گیاه در مناطق آلوده شهری در فضای سبز استفاده کرد. از طرف دیگر با توجه به افزایش رشد رویشی گیاه سروناز با افزایش دی‌اکسیدکربن پیشنهاد می‌شود برای افزایش رشد نهال‌های سرو در شرایط گلخانه‌ای، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شود.

در این تحقیق اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن

می‌شود. این ترکیبات اسکلت‌های کربن را برای بیوسنتز اسیدهای آمینه تأمین می‌کند، بدین ترتیب ازت معدنی سبب کاهش ذخایر کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود (Noggle and Fritz, 1983). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تا ۷۵۰ پی‌پی‌ام موجب افزایش مقدار ازت در گیاه سروناز شد. در این غلظت افزایش ازت موجب افزایش معنی‌دار اسید آمینه پرولین شد. که نشان می‌دهد ازت از طریق چرخه احیای متابولیکی ازت باعث افزایش اسیدهای آمینه و احتمالاً افزایش مقدار پرولین در گیاه شده است. دی‌اکسیدکربن در غلظت ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام تأثیری بر مقدار ازت در گیاه مورد مطالعه نداشت. کاهش مقدار ازت از ۷۵۰ تا ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام ممکن است مربوط به ایجاد تعادل بین ازت و کربن باشد. کاهش مقدار ازت در ۱۱۰۰ پی‌پی‌ام سبب کاهش مقدار پرولین و احتمالاً سنتر پروتئین می‌شود.

نتایج آزمایش Zanetti *et al.* (1996) نیز نشان داد که افزایش دی‌اکسیدکربن در جامعه گیاهی شبدر معمولی سبب افزایش درصد نیتروژن کل و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌شود. نتایج آزمایش‌های Wilson *et al.* (1993) و Hardy and Havelka (1976) و Allen *et al.* (1994) نشان داد که با افزایش دی‌اکسیدکربن تثبیت نیتروژن هم افزایش می‌یابد. مشابه نتایج این تحقیق در آزمایش بلوچی و همکاران (۱۳۸۸) بر روی گندم دوروم نیز به‌دست آمد که در سطوح تشعشع A، B و C با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، میزان پرولین (از ۳/۲۸ به ۱۲/۴۵ میکروگرم در گرم وزن تر برگ) افزایش یافت.

ولی نتایج برخی تحقیقات، کاهش مقدار ازت و پرولین را گزارش کرده‌اند که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. نتایج آزمایش Sinclair *et al.* (2000) نشان داد که گندم در سرتاسر فصل رشد در شرایط دی‌اکسیدکربن زیاد، کمترین غلظت نیتروژن برگ را داشت. دیگر محققان نیز کاهش غلظت نیتروژن در

ده‌شیری، عباس، سید محمدعلی مدرس‌ثانوی، حامد رضایی و امیرحسین شیرانی‌راد، ۱۳۹۱. اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن هوا بر برخی صفات سه رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط شور، مجله به‌زراعی نهال و بذر، ۲۸-۲ (۱): ۳۵-۵۲.

زواره، محسن، ۱۳۸۵. مدلسازی رشد و نمو کنجند (*Sesamum indicum* L.)، رساله دکتری رشته زراعت- فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۰ ص. شور، محمود و زهرا کریمیان فریمان، ۱۳۹۱. مطالعه اثر غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن بر صفات آناتومیکی و مورفولوژیکی گل ابری (*Ageratum houstonianum* Mill.)، تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، ۳۵ (۴): ۶۹-۷۹.

فرشادفر، عزت‌اله و رضا محمدی، ۱۳۸۲. ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی در آگروپیرون با استفاده از شاخص انتخاب چندگانه، علوم کشاورزی ایران، ۳۴: ۶۳۵-۶۴۶.

قهرمان، احمد، ۱۳۶۹. کورموفیت‌های ایران (سیستماتیک گیاهی)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۵۰ ص.

نصیری محلاتی، مهدی، علیرضا کوچکی و پرویز رضوانی مقدم، ۱۳۸۱. اثر تغییر اقلیم جهانی بر تولیدات کشاورزی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۳۸۸ ص.

نیک‌نژاد، داود، ۱۳۸۸. بررسی پیامدهای ناشی از گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن بر روی کره زمین، در: سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، انجمن مهندسی محیط زیست ایران، مهرماه، تهران، ۱-۹.

Ainaworth, E.A., A. Rogers, R. Nelson, and S. Long, 2004. Testing the source-sink hypothesis of downregulation of photosynthesis in elevated CO₂ in the field with single gene substitutions in *Glycine max*, *Agricultural and Forest Meteorology*, 122: 85-94.

Allen, L.H., R.R. Valle, J.W. Mishoe, and J.W. Jones, 1994. Soybean Leaf gas-exchange responses to carbon dioxide and water stress, *Agronomy Journal*, 86: 625-636.

بر نهال‌های یکساله سروناز بررسی شده است و نتایج را نمی‌توان به گیاهان جوان و مسن این گونه تعمیم داد. برای کسب نتایج قطعی پیشنهاد می‌شود اثر افزایش دی‌اکسیدکربن بر رشد این گیاه در زمان طولانی‌تر و در سایر مراحل رویشی مطالعه شود.

منابع

امین‌زاده، علی، ۱۳۸۸. جمع‌آوری گاز دی‌اکسیدکربن، چرا و چگونه، اکتشاف و تولید، ۶۵: ۶۸-۷۳.

بلوچی، حمیدرضا، سید علی محمد مدرس‌ثانوی، یحیی امام و محسن برزگر، ۱۳۸۸. تأثیر تنش کم‌آبی، ازدیاد دی‌اکسید کربن و اشعه ماورای بنفش بر صفات کمی برگ پرچم گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum Desf.)، مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۰ (۳): ۴۱-۵۲.

بلوچی، حمیدرضا، سید علی محمد مدرس‌ثانوی، یحیی امام و آریا دولت‌بادیان، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، پرتو فرابنفش و تنش خشکی بر برخی صفات گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶ (۱): ۱-۱۴.

جزیره‌ای، محمدحسین، ۱۳۸۹. جنگل‌کاری در خشکبوم، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۵۳۲ ص.

جعفری، مصطفی، ۱۳۸۷. تحقیق و تحلیل عوامل تغییر اقلیم طی پنجاه سال گذشته در جنگل‌های منطقه خزری، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶ (۲): ۳۱۴-۳۲۶.

چنارانی، غلامرضا، محمود شور، علی تهرانی‌فر، سید حسین نعمتی و غلامحسین داوری‌نژاد، ۱۳۹۳. اثر سطوح مختلف شدت نور و دی‌اکسیدکربن بر ریشه‌زایی قلمه‌های گیاه کروتون (*Codiaeum variegatum*)، نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۱): ۱۱۶-۱۲۴.

خسروی، محمود، مرتضی اسمعیل نژاد و حمید نظری پور، ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه، در: مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیادانان جهان اسلام (ICIWG 2010)، ۲۵-۲۷ فروردین، زاهدان،

- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare, 1973. Rapid determination of free proline for water stress student, *Plant and soil*, 39: 205-207.
- Berling, D.J., and C.K. Kelly, 1997. Stomatal density responses of temperate woodland plants over the past seven decades of CO₂ increase: a comparison of Salisbury (1927) with contemporary data, *American Journal of Botany*, 84: 1572-1583.
- Booker, F.L., J.F. Miller, W.A. Pursley, and L.A. Stefanski, 2005. Comparative responses of container versus ground-grown soybean to elevated carbon dioxide and ozone, *Crop Science*, 45: 883-895.
- Cheng, W., H. Sakai, K. Yagi, and T. Hasegawa, 2009. Interactions of elevated CO₂ and night temperature on rice growth and yield, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149 (1-4): 51-58.
- Chen, K., G. Hu, N. Keutgen, M.J. Janssens, and F. Lenz, 1999. Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.): II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange, *Scientia Horticulture*, 81: 43-56.
- Croonenborghs, S., J. Ceusters, E. Londers, and M.P. De Proft, 2009. Effect of elevated CO₂ on growth and morphological characteristics of ornamental bromeliads, *Scientia Horticulture*, 121: 192-198.
- Donnelly, A., M.B. Jones, J.I. Burke, and B. Schnieders, 2000. Elevated CO₂ provides protection from O₃ induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80: 159-168.
- Estiarte, M., J. Penuelas, B.A. Kimball, D.L. Hendrix, P.J. Pinter, D.J. Wall, R.L. LaMorte, and D.J. Hunsaker, 1999. Free-air CO₂ enrichment of wheat: leaf flavonoid concentration through the growth cycle, *Physiologia Plantarum*, 105: 423-433.
- Hardy, R.W.F., and U.D. Havelka, 1976. Photosynthate as a major factor limiting nitrogen fixation by field-grown legumes with emphasis on soybean in symbiotic nitrogen fixation in plants, Ed Nutman, p.s, Cambridge university press, 421-439.
- Heagle, A.S., J.E. Miller, and F.L. Booker, 1998. Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: I. foliar properties, *Crop Science*, 38:113-121.
- IPCC (2000). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories see <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- Jablonski, L.M., W. Xianzhong, and P.S. Curtis, 2002. Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta metaanalysis of reports on 79 crop and wild species, *New Phytologist*, 156: 9-26.
- Kim, H.R., and Y.H. You, 2010. The Effects of the Elevated CO₂ Concentration and Increased Temperature on Growth, Yield and Physiological Responses of Rice (*Oryza sativa* L. cv. Junam). *Advances in Bioresearch*, 1(2): 46-50.
- Kochert, G., 1987. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Ahellebust J, Craigie J (eds) Hand book of phycological methods: physiological and biochemical methods. Cambridge University press, Cambridge.
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes, *Method Enzym*, 148: 350-382.
- Liu-Gitz, L., S.J. Britz, and W.P. Wergin, 2000. Blue light inhibits stomatal development IB soybean isolines containing kaempferol 3-O-2G-glycosyl-gentiobioside (K9), a unique flavonoid glycoside, *Plant, Cell and Environment*, 23: 883-891.
- Mavrogianopoulos, G.N., J. Spanakis, and P. Tsikalas, 1999. Effect of Co₂ enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon, *Scientia Horticulture*, 79 (1-2): 51-63.
- Mortensen, L.M., 1986. Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants, *Scientia Horticulturae*, 29: 301-307.
- Moutinho-Pereira, J., B. Goncalves, E. Bacelar, J. Boaventura Cunha, J. Cotinho, and C.M. Correal, 2009. Effects of elevated Co₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.): Physiological and yield attributes, *Vitis*, 48(4): 159-165.

- Niboyet, A.L., B.A. Barthes, X. Hungate, J.M.G. Le Roux, A. Bloor, S. Ambroise, P.M. Fontaine, Price, and P.W. Leadley, 2010. Responses of soil nitrogen cycling to the interactive effects of elevated CO₂ and inorganic N supply, *Plant and Soil*, 327: 35-47.
- Noggle, G.R., and G.J. Fritz, 1983. *Introductory Plant Physiology*, Prentice – Hall, Inc, EngleWood Cliffs, New Jersey, 594 pp.
- Norby, R.J., E.G. O'Neill, and R.J. Luxmoore, 1986. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the growth and mineral nutrition of *Quercus alba* seedling in nutrient-poor soil, *Plant Physiology*, 82(1): 83-89.
- Nowak, R.S., D.S. Ellsworth, and S.D. Smith, 2004. Tansley Review: Functional responses of plants to elevated atmospheric CO₂ – Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions?, *New Phytologist*, 162: 253-280.
- Poorter, H., C.S. Pot, and H. Lambers, 1988. The effect of an elevated atmospheric CO₂ concentration on growth, photosynthesis and respiration of *Plantago major*, *Physiologia Plantarum*, 73: 553-559.
- Rajapakse, N.C., D.G. Clerak, J.W. Kelly, and W.B. Miller, 1994. Carbohydrate status and postharvest leaf chlorosis of miniature roses as influenced by carbon dioxide enrichment, *Postharvest Biology and Technology*, 4(3): 271- 279.
- Reddy, K.R., R.R. Robana, H.F. Hodges, X.J. Liu, and J.M. McKinion, 1998. Interactions of CO₂ enrichment and temperature on cotton growth and leaf characteristics, *Environmental and Experimental Botany*, 39: 117-129.
- Rogers, H.H., G.B. Runion, S.V. Krupa, and S.A. Prior, 1997. Plant response to atmospheric CO₂ enrichment, In: Allen, J. R. (eds.), *Advances in carbon dioxide effects research*, ASA Special Publication no, 61, ASA. CSSA, Madison, WI.
- SAS Institute, 1989. *SAS Users Guide Statistics*. Version 9.1, SAS Institute Inc, Cary, N.C., USA.
- Saxe, H., D.S. Ellsworth, and J. Heath, 1998. Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere, *New Phytologist*, 139(3): 395-436.
- Sinclair, T.R., P.J. Pinter, B.A. Kimball, and S. Leavitt, 2000. Leaf nitrogen concentration of wheat subjected to elevated CO₂ and either water or n deficits, *Agriculture Ecosystem and Environment*, 79: 53-60.
- Sun, R., J. Chen, M. Zhou, and Y. Liu, 2004. Spatial distribution of net primary productivity and evapotranspiration in Changbaishan natural reserve, China, using Landsat ETM+ data, *Canadian Journal of Remote sensing*, 30: 731-742.
- Taiz, L., and E. Zeiger, 2003. *Plant physiology*. 3rd edition, Sunderland: Sinauer Associates, 690 pp.
- Wilson, P.W., E.B. Fred, and M.R. Salmon, 1993. Relation between carbon dioxide and elemental nitrogen assimilation in leguminous plants, *Soil Science*, 35: 145-165.
- Wolfgang Knorr, M.S., N.W. Arnell, and I.C. Prentice, 2006. A climate change risk analysis for world ecosystems, *Physical and Biological Sciences*, *Environmental Sciences*, 19p.
- Zanetti, S., U.A. Hartwing, A. Luscher, T. Hebeisen, M. Frehner, B.U. Fischer, G.R. Hendrey, H. Blum, and J. Nosberger, 1996. Stimulation of Symbiotic N₂-fixation in *Trifolium repens* L under elevated atmospheric PCO₂ in a grassland ecosystem, *Plant physiology (USA)*, 112(2): 575-583.
- Zhang, G., H. Sakai, T. Tokida, Y. Usui, C. Zhu, H. Nakamura, M. Yoshimoto, M. Fukuoka, K. Kobayashi, and T. Hasegawa, 2013. The effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on carbon and nitrogen accumulation in grains of rice (*Oryza sativa* L.), *Journal of Experimental Botany*, 64(11): 3179–3188.
- Zhang, J., and M.J. Lechowicz, 1995. Responses to CO₂ Enrichment by Two Genotypes of *Arabidopsis thaliana* Differing in their Sensitivity to Nutrient Availability, *Annals of Botany*, 75(5): 491-499.

Morphological and physiological responses of 1-year old *Cupressus sempervirens* to high carbon dioxide concentrations

P. Yousefvand^{1*}, A. Mosleh Arani², and A. Tabandeh Saravi³

¹M.Sc. Student, Department of Forestry, Natural Resources Faculty, University of Yazd, I. R. Iran

²Associate Prof., Department of Environment, Natural Resources Faculty, University of Yazd, I. R. Iran

³Assistant Prof., Department of Forestry, Natural Resources Faculty, University of Yazd, I. R. Iran

(Received: 18 September 2014; Accepted: 27 April 2016)

Abstract

Increasing use of fossil fuels has increased the atmospheric carbon dioxide concentrations. On the other hand, carbon dioxide is one of the most important factors for plant growth. Thus, the knowledge of plant response to these changes is very important. The aim of the present study was to evaluate the impact of increased carbon dioxide on some morphological and physiological traits of *Cupressus sempervirens* under greenhouse conditions. Levels of carbon dioxide concentrations included 450 (as control), 750 and 1100 ppm in a completely randomized design with three replicates was used. Three-year-old seedlings were treated for two months. The results showed that carbon dioxide concentration (750 ppm) increased the amount of proline to more than six times and in the concentration of 1100 ppm increased to more than twice compared to the control. Concentration of 750 ppm increased the amount of nitrogen and also had the greatest impact on the diameter of the collar. Similarly, the concentration of 1100 ppm increased significantly plant height and shoot fresh weight.

Keywords: Carbon dioxide, *Cupressus sempervirens*, Morphological and physiological traits.

* Corresponding author

Tel: 09168612923

Email: Parvaneh.yousefvand@yahoo.com