



اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر رشد و توانایی رقابتی سویا و ارزن با علف‌های هرز سلمه تره و تاج خروس

* حمیدرضا میری^۱ و احمد رستگار^۲

^۱ استادیار زراعت دانشگاه آزاداسلامی واحد ارسنجان، دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت

دانشگاه آزاداسلامی واحد ارسنجان

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۹

چکیده

به منظور بررسی اثر افزایش غلظت CO₂ بر رشد و توانایی رقابتی درون گونه‌ای و بین گونه‌ای سویا (*Glycine max*) و ارزن (*Panicum miliaceum*) در برابر علف‌های هرز سلمه تره (*Chenopodium albam*) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus*) آزمایشی با استفاده از دو غلظت معمولی (۳۵۰ پی‌پی‌ام) و افزایش یافته (۷۰۰ پی‌پی‌ام) انجام شد. گیاهان به صورت خالص و مخلوط در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل در شرایط کنترل شده کشت شدند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت CO₂، شاخص کلروفیل در تمام گونه‌ها بین ۶ تا ۳۰ درصد افزایش یافت اما در گونه‌های سه کربنه در حال مخلوط به طور میانگین ۲۰ و در چهار کربنه‌ها ۱۲ درصد افزایش یافت. با افزایش CO₂ وزن ریشه، وزن برگ و وزن ساقه در گونه‌های سه کربنه به طور میانگین به ترتیب ۰/۷۵، ۲/۶۱ و ۲/۴۳ گرم افزایش یافت، در حالی که در گونه‌های چهار کربنه این مقادیر به ترتیب ۰/۰۴، ۱/۱۸ و ۰/۴۰ گرم بود. در گونه‌های چهار کربنه در غلظت CO₂ افزایش یافته و در کشت مخلوط با سه کربنه، وزن خشک اندام‌های هوایی کاهش یافت. مقایسه توانایی رقابتی بر اساس عملکرد نسبی (PRY) گیاهان نشان داد که با افزایش CO₂، PRY سویا ۸/۹ و ۹/۶ درصد به ترتیب در برابر ارزن و تاج خروس افزایش یافت در حالی که در ارزن در برابر گیاهان سه کربنه تا ۳۶ کاهش یافت. این امر نشان می‌دهد برهمکنش گیاه زراعی- علف هرز به شدت تحت تغییرات غلظت CO₂ قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: افزایش غلظت CO₂، رقابت، علف‌های هرز، مسیر فتوسنتزی

* مسئول مکاتبه: hmiri2000@yahoo.com

مقدمه

علف‌های هرز معمولاً به‌عنوان گیاهانی که در بوم‌نظام‌های زراعی در رشد و عملکرد و فرآیندهای تولید گیاهان زراعی اختلال ایجاد می‌کنند شناخته می‌شوند. علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های زراعی در اثر رقابت باعث کاهش کیفیت گیاه زراعی، تداخل در عملیات برداشت و کاهش ارزش زمین می‌شوند (دوک، ۱۹۸۵). هزینه‌های کنترل علف‌های هرز نیز امروزه بخش زیادی از هزینه تولید محصولات کشاورزی را شامل می‌شود. برای مثال گزارش شده که در آمریکا علف‌های هرز باعث حدود ۱۲ درصد کاهش عملکرد گیاهان زراعی شده و هزینه‌های کنترل آن‌ها در سال ۱۹۹۸ حدود ۳۵ میلیارد دلار بوده است (پیمنتال و همکاران، ۲۰۰۱). این هزینه در برخی کشورها بیش از این حد است (ماکیاس و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر این علف‌های هرز ممکن است میزبان آفات و بیماری‌های گیاهی بوده و این باعث افزایش پیچیدگی‌های کنترل علف‌های هرز می‌شود.

شناسایی خصوصیتی که در رقابت علف‌های هرز نقش دارند در مدیریت آن‌ها نقش مهمی دارد. در این رابطه عوامل محیطی تأثیر زیادی بر توانایی رقابتی علف‌های هرز دارند. یکی از جنبه‌های محیطی که توجه بسیاری از محققان را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است، موضوع تغییر اقلیم است. غلظت CO_2 در حال حاضر در مقایسه با قرن بیستم ۳۰ درصد افزایش یافته است و از ۲۸۵ به ۳۷۰ پی‌پی‌ام رسیده است که بیشتر این افزایش از دهه ۱۹۵۰ به بعد روی داده است (کلینگ و وورف، ۲۰۰۱). پیش‌بینی‌ها بیانگر این است که تا سال ۲۰۵۰ غلظت CO_2 به حدود ۵۵۰ پی‌پی‌ام خواهد رسید (جاگارد و همکاران، ۲۰۱۰). همراه با این تغییر میزان CO_2 درجه حرارت نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین آگاهی از اثرات این افزایش CO_2 بر فتوسنتز و متابولیسم گیاهان اهمیت زیادی دارد. گزارش شده است که افزایش CO_2 باعث افزایش رشد و نمو در بیش از ۱۰۰ گونه گیاهی شده است (کیمبال، ۱۹۸۳؛ پورتر، ۱۹۹۳؛ کیمبال، ۱۹۹۳).

یکی از جنبه‌های مهم فعالیت‌های کشاورزی که می‌تواند تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گیرد، آفات و به‌ویژه رقابت علف‌های هرز است (پرستیج و پوتینگر، ۱۹۹۰). چگونگی رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و با افزایش غلظت CO_2 تغییر می‌کند (پیترسون و فلینت، ۱۹۸۰). به عقیده مک دونالد و همکاران (۲۰۰۹) نحوه رقابت و میزان خسارت ناشی از گونه‌های مختلف علف هرز در آینده تغییرات زیادی نشان خواهد داد. پاسخ متفاوت گیاهان

C₃ و C₄ به افزایش غلظت CO₂ و درجه حرارت می‌تواند باعث تغییر برهمکنش رقابتی^۱ آن‌ها گردد. این تغییر اهمیت ویژه‌ای دارد چرا که بیشتر گونه‌های زراعی در جهان گیاهان C₃ می‌باشند، در حالی که بیشتر علف‌های هرز مهم C₄ می‌باشند (دوک، ۱۹۸۵).

بیشتر آزمایش‌ها نشان می‌دهد که رشد گیاهان C₃ با افزایش غلظت CO₂ افزایش می‌یابد (جنگن و جونز، ۱۹۹۸؛ پورتر و ناواس، ۲۰۰۳). با این حال نتایج بیانگر آن است که تنوع بین گونه‌های زیادی از نظر تحریک رشد بین گیاهان مختلف وجود دارد. برای مثال پورتر و ناواس (۲۰۰۳) نشان دادند که رشد گونه‌های علفی سه کربنه با رشد سریع بیشتر از گیاهان سه کربنه کند رشد یا چهارکربنه‌ها تحت تأثیر افزایش CO₂، افزایش می‌یابد. رشد گیاهان C₄ نیز می‌تواند در پاسخ به افزایش CO₂ تحریک شود، اما این میزان تحریک رشد در مقایسه با گیاهان C₃ کمتر است (زیسکا، ۲۰۰، ۲۰۰۱؛ درنر و همکاران، ۲۰۰۳). واناجا و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که در آفتابگردان افزایش CO₂ باعث افزایش وزن خشک هم در شرایط تنش خشکی و هم بدون تنش می‌شود در حالی که در ذرت چنین واکنشی مشاهده نشد.

زیسکا (۲۰۰۱) توانایی رقابتی گیاه چهارکربنه سورگوم در برابر علف هرز سه کربنه توق (*Xanthium strumarium*) در غلظت CO₂ معمولی و بالا را بررسی کرد و مشاهده کرد که با افزایش غلظت CO₂ توانایی رقابتی توق به‌طور قابل توجهی افزایش و سورگوم کاهش یافت. نایدو و وارشنی (۲۰۱۱) مشاهده کردند که با افزایش غلظت CO₂ از ۳۷۰ به ۵۵۰ وزن خشک گندم در حضور علف‌های سلمه تره، یولاف و فالاریس افزایش یافت. زیسکا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که در غلظت‌های CO₂ بیشتر ۲۷۰ ppm با افزایش هر ۱۰ ppm وزن خشک بروموس (*Bromus tectorum*) ۱/۵ گرم در بوته افزایش می‌یابد.

با توجه به افزایش CO₂ اتمسفری در سال‌های آینده و لزوم آگاهی از برهمکنش رقابتی گیاهان زراعی و علف‌های هرز به‌منظور بهبود روش‌های مدیریتی، آزمایش حاضر به‌منظور بررسی واکنش دو گونه زراعی و علف هرز C₃ و C₄ به‌صورت جدا و در شرایط حضور توام (کشت مخلوط) اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۸۹ در شهرستان لامرد در جنوب استان فارس انجام شد. شهرستان لامرد دارای طول جغرافیایی ۵۲ درجه، ۵۴ دقیقه، ۱۹ ثانیه، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه، ۲۷ دقیقه، ۳۱ ثانیه، و ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح دریا و بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر و تبخیر ۴۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. آزمایش در گلخانه‌ای به مساحت ۸۰۰ مترمربع انجام شد که برای کنترل غلظت CO₂ بخشی از گلخانه به وسیله پلاستیک به ابعاد کوچک‌تر محصور شد. گیاهان زراعی ارزن رقم پرسو و سویا رقم سحر، به‌عنوان گیاهان دارای مسیر C₃ و C₄ و علف‌های هرز تاج خروس و سلمه تره به‌عنوان علف‌های هرز دارای مسیر C₃ و C₄ برای آزمایش انتخاب شدند.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تیمار و ۴ تکرار اجرا گردید. عامل اول شامل دو غلظت معمولی (۳۵۰ پی‌پی‌ام) و افزایش یافته (۷۰۰ پی‌پی‌ام) CO₂ و عامل دوم شامل کشت چهار گیاه آزمایشی به‌صورت کشت ساده و مخلوط (نسبت ۵۰:۵۰) با یکدیگر به‌صورت زیر بود: (۱) ارزن، (۲) سویا، (۳) تاج خروس، (۴) سلمه تره، (۵) ارزن- سویا، (۶) ارزن- تاج خروس، (۷) ارزن- سلمه تره، (۸) سویا- تاج خروس، (۹) سویا- سلمه تره، (۱۰) سلمه تره- تاج خروس.

برای افزایش غلظت CO₂، از کیسول حاوی این گاز در مرحله ۲-۳ برگی گیاهچه‌ها استفاده شد و تا انتها مرحله رشد رویشی ادامه داشت. همچنین برای اندازه‌گیری غلظت CO₂ از دستگاه اندازه‌گیری غلظت CO₂ (مدل AZ77535 ساخت تایلند) استفاده شد و همواره در تیمار افزایش غلظت، غلظت CO₂ در حد ثابتی نگه داشته شد. تغییرات درجه حرارت گلخانه در مدت آزمایش توسط دماسنج کنترل می‌گردید و توسط دستگاه‌های خنک‌کننده در طول فصل رشد در حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد روز و ۲۵ درجه سانتی‌گراد شب نگهداری شد. گیاهان در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۴۵ و ارتفاع ۵۵ سانتی‌متر در اوایل اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ کشت شدند. خاک گلدان دارای ترکیب متعادلی از رس، شن و کود دامی بود. همچنین برای جلوگیری از تشکیل سله سطح گلدان‌ها با کود آلی پوشانده شد. در تیمارهای کشت خالص، تراکم معمول گیاهان محاسبه و تعداد بوته در گلدان تعیین شد و در تیمارهای کشت مخلوط نیز گیاهان با نسبت ۵۰:۵۰ در گلدان کشت شدند. کودهای مصرفی شامل فسفات آمونیم به میزان ۰/۳ گرم در گلدان (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت و ۰/۴۵ گرم در گلدان (۳۰۰

1- CO₂ meter

کیلوگرم) اوره به صورت سرک در دو مرحله بود. برای گیاه سویا با توجه به توانایی تثبیت نیتروژن، کود اوره یک سوم سایر گیاهان به کار برده شد.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل سنچ (مدل CCM-200 ساخت شرکت Opti-sciences آمریکا) انجام شد که اندازه‌گیری‌ها روی آخرین برگ کاملاً باز شده گیاهان در سه برگ تصادفی از هر گلدان و سه نقطه از هر برگ صورت گرفت. برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ و ساقه در انتها دوره رشد رویشی پس از تفکیک شدن در آون در دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه در زمان برداشت، گلدان‌ها برش داده شد و ریشه پس از شستشو به وسیله آب در آون در دما ۶۰ درجه سانتی‌گراد (برای ارزن دما ۵۰ درجه) خشک شده و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. نسبت ریشه به اندام‌های هوایی (R/S) به صورت نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی (ساقه + برگ) محاسبه شد. عملکرد نسبی گیاه^۱ (PRY) بر مبنای وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

وزن خشک گونه در کشت خالص / وزن خشک گونه در کشت مخلوط = PRY

تجزیه داده با استفاده از نرم‌افزار Genstat 11 انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD و خطا استاندارد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل: شاخص کلروفیل به طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت CO₂ و اثر متقابل CO₂ و گونه قرار گرفت (جدول ۱). شاخص کلروفیل برگ در کلیه گونه‌ها با افزایش غلظت CO₂ افزایش یافت (جدول ۲). میزان این افزایش برای گونه‌های مختلف و در کشت‌های خالص و مخلوط متفاوت بود. میزان افزایش شاخص کلروفیل برای گونه‌های ارزن، سویا، تاج خروس و سلمه تره به ترتیب ۷/۸، ۶/۶، ۶/۵ و ۷/۰ درصد، در حالت کشت خالص بود. به نظر می‌رسد گونه‌های سه کربنه به ویژه در حالت کشت مخلوط (وجود رقابت بین گونه‌ای) واکنش بیشتری به افزایش غلظت CO₂ نشان می‌دهند، به طوری که بیشترین افزایش (۳۰/۷ درصد افزایش) در بین تیمارهای آزمایشی مربوط به سلمه تره در کشت مخلوط با ارزن (سلمه تره-ارزن) و پس از آن (۲۵/۴ درصد افزایش) سویا در کشت مخلوط با سلمه تره (سویا-سلمه تره) بود (جدول ۲). کم‌ترین میزان افزایش شاخص کلروفیل

1- Plant Relative Yield

در بین تیمارهای کشت مخلوط مربوط به تاج خروس در کشت مخلوط با ارزن (۴/۳ درصد افزایش) و ارزن در کشت مخلوط با سلمه تره (۶/۷ درصد افزایش) بود. افزایش بیشتر شاخص کلروفیل در تیمارهای کشت مخلوط می‌تواند ناشی از رقابت بین گونه‌ای و بهره‌برداری بیشتر گونه‌های سه کربنه از این شرایط باشد.

جدول ۱- میانگین مربعات صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	وزن خشک ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه
CO ₂	۱	۴۵۰/۶۷**	۷/۷۱**	۰/۹۵ ^{ns}	۳۳/۹۴**
ترکیب گونه‌ای	۱۵	۵۹۵/۵۷**	۱۵/۳۱**	۲۵/۳۴**	۲۵۶/۰۹**
گونه CO ₂ ×	۱۵	۱۲/۳۲**	۱/۳۳**	۱/۵۲**	۱۵/۳۳**
خطا	۶۴	۰/۷۸۹	۰/۰۶۴	۰/۱۳۱	۰/۱۸۶

جدول ۲- اثر افزایش غلظت CO₂ بر شاخص کلروفیل گونه‌های مختلف*

گونه	شاخص کلروفیل		درصد تغییر
	۳۵۰ ppm	۷۰۰ ppm	
ارزن	۴۷/۲±۰/۷۶	۵۰/۸±۱/۰۴	۷/۸
سویا	۳۳/۰±۱/۰	۳۵/۲±۰/۷۶	۶/۶
تاج خروس	۴۸/۷±۱/۵۳	۵۱/۸±۱/۰۴	۶/۵
سلمه تره	۳۱/۰±۱/۰	۳۳/۲±۰/۷۶	۷/۰
ارزن (سویا)	۴۸/۰±۱/۰	۵۳/۵±۰/۵	۱۱/۵
ارزن (تاج خروس)	۴۵/۲±۰/۷۶	۵۴/۸±۰/۷۶	۲۱/۴
ارزن (سلمه تره)	۵۲/۰±۱/۰	۵۵/۵±۱/۳۲	۶/۷
سویا (تاج خروس)	۲۸/۲±۱/۱	۳۳/۷±۰/۷۶	۱۹/۵
سویا (سلمه تره)	۲۹/۵±۱/۳۲	۳۷/۰±۰/۵	۲۵/۴
سویا (ارزن)	۳۰/۸±۰/۷۶	۳۶/۵±۰/۵	۱۸/۴
تاج خروس (ارزن)	۴۷/۰±۰/۵	۴۹/۰±۰/۵	۴/۳
تاج خروس (سویا)	۴۹/۳±۱/۳	۵۳/۵±۱/۳۲	۸/۵
تاج خروس (سلمه تره)	۴۶/۰±۰/۵	۵۵/۵±۰/۵	۲۰/۷
سلمه تره (ارزن)	۲۷/۲±۰/۷۶	۳۵/۵±۰/۵	۳۰/۷
سلمه تره (سویا)	۲۹/۳±۱/۲۶	۳۴/۰±۰/۴۶	۱۵/۹
سلمه تره (تاج خروس)	۲۸/۰±۰/۵	۳۱/۲±۰/۲۹	۱۱/۳

۱/۴۵

LSD

* در کشت‌های مخلوط صفت موردنظر برای گونه خارج از پراختی، ذکر شده است. مقادیر بعد از میانگین‌ها نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

در رابطه با تأثیر افزایش غلظت CO₂ بر میزان کلروفیل نتایج متفاوتی در آزمایش‌های گزارش شده است. در پنبه (پیتر و همکاران، ۱۹۹۳) و شبدر (کاو و همکاران، ۱۹۸۱) افزایش غلظت CO₂ باعث افزایش میزان کلروفیل برگ شد. هگل و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کرد که افزایش غلظت CO₂ از ۳۷۰ ppm به ۷۱۳ ppm، میزان کلروفیل گندم را ۳ درصد افزایش داد. به عقیده هینمن و همکاران (۲۰۰۵) پاسخ گیاه به افزایش CO₂ در طول زمان به علت محدودیت‌های بیوشیمیایی مثل کاهش در فعالیت روبیسکو، محدودیت‌های فراساختاری مثل تخریب کلروپلاست یا تغییر در سطح کانوپی مثل سایه‌اندازی ممکن است تغییر یابد.

وزن خشک ریشه: وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۱). اثر افزایش غلظت CO₂ بر وزن خشک ریشه گونه‌های مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. گونه‌های مختلف پاسخ متفاوتی به افزایش CO₂ نشان دادند. در حالت کشت خالص در سویا و سلمه تره وزن خشک ریشه افزایش یافت در حالی‌که در تاج خروس و ارزن وزن خشک ریشه تغییر قابل توجهی نشان نداد. این امر بیان‌گر پاسخ‌پذیری و تحریک بیشتر رشد گونه‌های سه کربنه با افزایش غلظت CO₂ است. در حالت رقابت (کشت مخلوط) نحوه واکنش ارزن با سایر گونه‌ها متفاوت بود، به‌طوری‌که در مجاورت تاج خروس و سویا تغییر قابل توجهی در وزن ریشه ارزن مشاهده نشد، در حالی‌که در مجاورت سلمه تره وزن ریشه ارزن تا حدودی کاهش یافت (جدول ۳). این امر نشان می‌دهد که توانایی رقابت بین گونه‌ای ارزن در برابر یک گونه سه کربنه (سلمه تره) کاهش یافته و در نتیجه این امر وزن ریشه کاهش یافته است. در رابطه با تاج خروس نیز نتایج مشابهی مشاهده شد، به‌طوری‌که وزن ریشه تاج خروس در مجاورت ارزن بدون تغییر بود، در حالی‌که در مجاورت سویا و سلمه تره کاهش یافت. به‌عبارت دیگر در شرایط غلظت معمولی CO₂ تاج خروس و ارزن توانایی رقابتی بیشتری دارند (وزن ریشه بیشتر) در حالی‌که با افزایش CO₂ این برتری مشاهده نمی‌شود. واناجا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با افزایش غلظت CO₂ در گیاه *Vigna mungo* طول و وزن ریشه به‌ترتیب ۳۵ و ۴۰ درصد افزایش یافت. درنر و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند واکنش رشد ریشه به افزایش CO₂ به میزان زیادی به وضعیت رطوبتی خاک بستگی دارد و با توجه به اثرات تغییر اقلیم بر فراهمی رطوبت خاک، بررسی اثرات افزایش CO₂ و رطوبت خاک باید به‌طور هم‌زمان صورت گیرد.

در سویا نیز مشاهده شد که با افزایش CO₂، وزن ریشه این گیاه در حالت کشت مخلوط با ارزن و تاج خروس به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۳)، اما در مجاورت سلمه تره چنین افزایشی مشاهده نشد. همچنین در سلمه تره در مجاورت تاج خروس و تا حدودی ارزن وزن ریشه افزایش یافت، که بیانگر افزایش توانایی رقابتی گونه‌های سه کربنه در برابر چهارکربنه‌ها با افزایش CO₂ است.

جدول ۳- اثر افزایش غلظت CO₂ بر وزن خشک ریشه گونه‌های مختلف*.

درصد تغییر	وزن ریشه (گرم در بوته)		گونه
	۷۰۰ ppm	۳۵۰ ppm	
۰/۱۷	۵/۸۸±۰/۰۳	۵/۷۸±۰/۱۷	ارزن
۲۲/۱۶	۴/۶۳±۰/۱۰	۳/۷۹±۰/۲۷	سویا
۰/۸۰	۸/۷۷±۰/۳۶	۸/۷۰±۰/۳۳	تاج خروس
۱۵/۶۲	۴/۹۶±۰/۶۱	۴/۲۹±۰/۳۸	سلمه تره
-۰/۵۷	۵/۲۵±۰/۱۰	۵/۲۸±۰/۳۰	ارزن (سویا)
-۱/۴۵	۵/۴۲±۰/۰۷	۵/۵۰±۰/۱۵	ارزن (تاج خروس)
-۸/۱۱	۴/۴۲±۰/۱۱	۴/۸۱±۰/۲۱	ارزن (سلمه تره)
۴۷/۳۱	۳/۸۳±۰/۲۴	۲/۶۰±۰/۰۷	سویا (تاج خروس)
۶/۱۰	۳/۱۳±۰/۰۹	۲/۹۵±۰/۰۹	سویا (سلمه تره)
۱۲/۳۰	۳/۴۷±۰/۰۶	۳/۰۹±۰/۱۳	سویا (ارزن)
۰/۳۰	۶/۷۴±۰/۵۰	۶/۷۲±۰/۴۲	تاج خروس (ارزن)
-۴/۴۷	۶/۱۲±۰/۱۶	۶/۴۲±۰/۴۳	تاج خروس (سویا)
-۷/۵۶	۵/۰۱±۰/۱۹	۵/۴۲±۰/۰۸	تاج خروس (سلمه تره)
۸/۷۵	۳/۷۳±۰/۲۶	۳/۴۳±۰/۳۰	سلمه تره (ارزن)
-۲/۶۳	۳/۷۰±۰/۱۲	۳/۸۰±۰/۱۶	سلمه تره (سویا)
۲۷/۷۳	۴/۱۰±۰/۱۱	۳/۲۱±۰/۱۱	سلمه تره (تاج خروس)
	۰/۲۳۹		LSD

* در کشت‌های مخلوط صفت مورد نظر برای گونه خارج از پراوتز، ذکر شده است. مقادیر بعد از میانگین‌ها نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

پریچارد و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که رشد ریشه در شرایط افزایش غلظت CO₂ در گیاهان C₄ مثل سورگوم کاهش می‌یابد. دیپری و همکاران (۱۹۹۵) نیز مشاهده کردند که رشد ریشه گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*) در مقایسه با تاج خروس واکنش بیشتری به افزایش CO₂ نشان داد. به طوری که با افزایش CO₂ از ۱۵۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام رشد ریشه گاوپنبه از ۰/۳۸ گرم به ۱۱/۷ گرم افزایش یافت. چنین تغییراتی در زیست‌توده و رشد ریشه می‌تواند باعث تغییر توانایی رقابتی گونه

گردد. برای مثال بزاز و همکاران (۱۹۸۹) مشاهده کردند که تاج خروس به دلیل رشد ریشه بیشتر توانایی رقابتی بیشتری برای منابع زیرزمینی (به ویژه نیتروژن) دارد، در حالی که با افزایش CO_2 این برتری رقابتی در تاج خروس کاهش یافت.

وزن خشک برگ: تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی داری در سطح آماری یک درصد بر وزن خشک ریشه نشان دادند (جدول ۱). در حالت کشت خالص با افزایش غلظت CO_2 وزن خشک برگ در ارزن، سویا و سلمه تره افزایش یافت در حالی که تاج خروس تغییری نیافت (جدول ۴). در حالت کشت خالص بیشترین افزایش وزن خشک (۴۷/۹ درصد افزایش) مربوط به گونه سویا و پس از آن (۲۹/۵ درصد افزایش) سلمه تره بود. در ارزن وزن خشک برگ ۲۱/۲ درصد افزایش یافت و در تاج خروس افزایش CO_2 تنها باعث ۱/۸ درصد افزایش وزن خشک برگ شد (جدول ۴). در واقع بیشترین افزایش مربوط به گونه‌های سه کربنه بود. زیسکا (۲۰۰۱) نیز مشاهده کرد که در شرایط افزایش غلظت CO_2 وزن خشک برگ و سطح برگ در تاج خروس به ترتیب ۵۰ و ۳۵ درصد افزایش یافت، در حالی که در سورگوم میزان افزایش وزن برگ و سطح برگ به ترتیب ۰/۵ و ۲/۴ درصد افزایش یافت. در عین حال با گذشت زمان میزان واکنش در دو گیاه کاهش یافت. روند مشابهی در واکنش پنبه و سورگوم به افزایش غلظت CO_2 مشاهده شد (درنر و همکاران، ۲۰۰۳). به عقیده قانون و همکاران (۲۰۰۰) برگ‌های جوان گیاهان چهارکربنه واکنش مشابه گیاهان سه کربنه به افزایش CO_2 نشان می‌دهند.

در حالت کشت مخلوط و وجود رقابت واکنش متفاوتی از گیاهان مشاهده شد. در ارزن با افزایش غلظت CO_2 وزن برگ در مجاورت تاج خروس ۱۷/۸ درصد افزایش یافت در حالی که در مجاورت سویا و سلمه تره رشد برگ ارزن به ترتیب ۲/۷ و ۱۹/۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). همچنین در تاج خروس وزن برگ در مجاورت تمام گونه‌ها به ویژه سویا و سلمه تره کاهش یافت. در مقابل در گونه‌های سه کربنه (سلمه تره و سویا) روند متفاوتی مشاهده شد. به طوری که در مجاورت ارزن و تاج خروس وزن برگ سویا به طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین وزن برگ سلمه تره در مجاورت ارزن و تاج خروس افزایش یافت، در حالی که وزن برگ سویا در مجاورت سلمه تره و یا برعکس تغییر قابل توجهی نداشت (جدول ۴). در واقع می‌توان نتیجه گرفت که در گونه‌های سه کربنه افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش فتوسنتز و رشد برگ شده است. این افزایش باعث افزایش توانایی رقابتی بین گونه‌ای شده و می‌تواند منجر به برتری گیاهان سه کربنه در مقابل چهارکربنه‌ها گردد. در حالی که در گونه‌های چهارکربنه با افزایش غلظت CO_2 توانایی رقابتی در برابر گونه‌های سه کربنه کاهش یافته است. واند و همکاران

(۱۹۹۹) با بررسی نتایج آزمایشات مختلف مشاهده کردند که رشد رویشی هر دو گونه‌های سه کربنه و چهارکربنه واکنش مثبتی به افزایش CO₂ نشان می‌دهند، اما میزان واکنش برای گونه‌های سه کربنه به‌طور نسبی بیشتر از چهار کربنه است. همچنین نحوه واکنش گیاهان در شرایط کشت خالص و در حالت کشت مخلوط (وجود رقابت بین گونه‌ای) متفاوت است.

جدول ۴- اثر افزایش غلظت CO₂ بر وزن خشک برگ گونه‌های مختلف*

درصد تغییر	وزن برگ (گرم در بوته)		گونه
	۷۰۰ ppm	۳۵۰ ppm	
۲۱/۲	۱۲/۶۲±۰/۲۹	۱۰/۴۱±۰/۴۰	ارزن
۴۷/۹	۹/۲۶±۰/۴۱	۶/۲۶±۰/۸۲	سویا
۱/۸	۸/۸۸±۰/۱۶	۸/۷۲±۰/۳۱	تاج خروس
۲۹/۵	۹/۷۴±۰/۴۰	۷/۵۲±۰/۳۹	سلمه تره
-۲/۷	۹/۸۲±۰/۱۲	۱۰/۰۹±۰/۱۲	ارزن (سویا)
۱۷/۸	۱۱/۲۵±۰/۱۳	۹/۵۵±۰/۴۱	ارزن (تاج خروس)
-۱۹/۳	۸/۸۶±۰/۳۸	۱۰/۹۸±۰/۱۹	ارزن (سلمه تره)
۵۱/۴	۷/۴۸±۰/۰۸	۴/۹۴±۰/۴۰	سویا (تاج خروس)
۱۱/۱	۵/۸۲±۰/۱۳	۵/۲۴±۰/۲۰	سویا (سلمه تره)
۵۲/۶	۷/۸۴±۰/۱۸	۵/۱۴±۰/۰۸	سویا (ارزن)
-۸/۸	۷/۰۲±۰/۱۰	۷/۷۰±۰/۲۱	تاج خروس (ارزن)
-۱۳/۶	۵/۹۳±۰/۱۱	۶/۸۶±۰/۳۲	تاج خروس (سویا)
-۹/۹	۷/۱۲±۰/۶۴	۷/۹۰±۰/۳۷	تاج خروس (سلمه تره)
۳۴/۶	۶/۶۱±۰/۱۱	۴/۹۱±۰/۲۸	سلمه تره (ارزن)
-۳/۳	۶/۹۶±۰/۱۱	۷/۲۰±۰/۳۵	سلمه تره (سویا)
۳۲/۰	۸/۰۴±۰/۲۱	۶/۰۹±۰/۵۵	سلمه تره (تاج خروس)
	۰/۲۵۶		LSD

* در کشت‌های مخلوط صفت موردنظر برای گونه خارج از پراوتر، ذکر شده است. مقادیر بعد از میانگین‌ها نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

وزن خشک ساقه: در این آزمایش تیمارهای تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه در سطح ۰.۱٪ نشان دادند (جدول ۱). وزن ساقه گونه‌های ارزن، سویا، تاج خروس و سلمه تره در حالت کشت خالص به‌ترتیب ۱/۹، ۴۲/۲، ۳/۴ و ۱۵/۶ درصد با افزایش غلظت CO₂، افزایش یافت. در حالت کشت مخلوط وزن ساقه ارزن در مجاورت سویا تغییر قابل توجهی نشان نداد، اما در مجاورت تاج خروس ۱۳ درصد افزایش و در مجاورت سلمه تره ۱۵ درصد کاهش یافت (جدول ۵). این امر نشان می‌دهد که توانایی رقابتی ارزن در برابر تاج خروس افزایش و در مجاورت سلمه تره کاهش یافته است.

وزن ساقه سویا در مجاورت ارزن و تاج خروس به ترتیب ۷۶ و ۶۹ درصد افزایش یافت (جدول ۵) که نشان دهنده استفاده بیشتر سویا در مقایسه با این دو گونه از افزایش غلظت CO₂ است. وزن ساقه سویا در مجاورت سلمه تره تغییرات کمتری نشان داد و به طور جزئی کاهش یافت. وزن ساقه تاج خروس در مجاورت، ارزن، سویا و سلمه تره به ترتیب ۱۱، ۱۲ و ۱۵ درصد کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد با وجودی که ارزن و تاج خروس هردو جزء گیاهان چهارکربنه می‌باشند، اما با افزایش غلظت CO₂، ارزن قادر است سرعت فتوسنتز و رشد خود را افزایش دهد. به عبارت دیگر گیاه ارزن واکنش مثبت به افزایش CO₂ نشان می‌دهد. با افزایش غلظت CO₂ وزن ساقه سلمه تره در مجاورت ارزن، سویا و تاج خروس به ترتیب ۱۹، ۵ و ۲۶ درصد افزایش یافت. میشرا و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که با افزایش غلظت CO₂ وزن خشک ساقه در گونه‌های مختلف براسیکا به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز توسط پورتر (۱۹۹۳)، اینسورت و لانگ (۲۰۰۵)، کولاتز و همکاران (۱۹۹۸) و گزارش شده است.

جدول ۵- اثر افزایش غلظت CO₂ بر وزن خشک ساقه گونه‌های مختلف*

درصد تغییر	وزن ساقه (گرم در بوته)		گونه
	۷۰۰ ppm	۳۵۰ ppm	
۱/۹	۹/۰۲±۰/۳۳	۸/۸۵±۰/۱۲	ارزن
۴۲/۲	۷/۰۱±۰/۲۳	۴/۹۳±۰/۱۲	سویا
۳/۴	۱۸/۵۳±۰/۷۷	۱۷/۹۲±۰/۲۱	تاج خروس
۱۵/۶	۲۰/۶۶±۰/۸۵	۱۷/۸۷±۰/۱۶	سلمه تره
-۲/۹	۷/۰۸±۰/۱۹	۷/۲۹±۰/۲۲	ارزن (سویا)
۱۲/۸	۸/۸۱±۰/۰۹	۷/۸۱±۰/۱۵	ارزن (تاج خروس)
-۱۵/۰	۶/۷۸±۰/۴۴	۷/۹۸±۰/۰۵	ارزن (سلمه تره)
۷۶/۰	۵/۴۲±۰/۳۱	۳/۰۸±۰/۱۲	سویا (تاج خروس)
-۱۰/۵	۳/۵۱±۰/۴۵	۳/۹۲±۰/۰۷	سویا (سلمه تره)
۶۹/۵	۶/۳۴±۰/۴۷	۳/۷۴±۰/۱۸	سویا (ارزن)
-۱۱/۶	۱۲/۲۱±۰/۲۱	۱۳/۸۱±۰/۱۵	تاج خروس (ارزن)
-۱۲/۵	۱۳/۳۸±۰/۷۲	۱۵/۲۹±۰/۳۸	تاج خروس (سویا)
-۱۵/۰	۱۲/۲۰±۰/۳۵	۱۴/۳۵±۰/۳۷	تاج خروس (سلمه تره)
۱۹/۳	۱۸/۹۶±۰/۵۵	۱۵/۸۹±۰/۰۸	سلمه تره (ارزن)
۴/۷	۱۸/۶۹±۰/۱۹	۱۷/۸۵±۰/۰۷	سلمه تره (سویا)
۲۵/۷	۱۹/۴۵±۰/۶۰	۱۵/۴۷±۰/۳۱	سلمه تره (تاج خروس)
	۰/۶۱۰		LSD

* در کشت‌های مخلوط صفت مورد نظر برای گونه خارج از پراکنش، ذکر شده است. مقادیر بعد از میانگین‌ها نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

نسبت ریشه به اندام‌های هوایی: نسبت ریشه به اندام‌های (R/S) با افزایش غلظت CO₂ در بیشتر موارد کاهش یافت (جدول ۶). در کشت خالص در ارزن، سویا و سلمه تره به ترتیب ۱۱، ۱۶ و ۳ درصد کاهش یافت و در تاج خروس تغییر قابل توجهی نیافت. در بین تیمارهای کشت مخلوط نیز در کلیه موارد نسبت R/S کاهش یافت. تنها استثنا در این رابطه تاج خروس و ارزن بود. در شرایط کشت ارزن در مجاورت سلمه تره نسبت R/S حدود ۱۱ درصد افزایش یافت. همچنین در کشت تاج خروس در مجاورت ارزن، سویا و سلمه تره نسبت R/S به ترتیب ۱۲، ۹ و ۶ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

جدول ۶- اثر افزایش غلظت CO₂ بر نسبت ریشه به اندام‌های هوایی (R/S) گونه‌های مختلف*.

درصد افزایش	وزن برگ (گرم در بوته)		گونه
	۷۰۰ ppm	۳۵۰ ppm	
-۱۰/۸	۰/۲۷±۰/۰۰۹	۰/۳۰±۰/۰۱۲	ارزن
-۱۶/۰	۰/۲۸±۰/۰۱۱	۰/۳۴±۰/۰۱۳	سویا
۰/۹	۰/۳۳±۰/۰۱۴	۰/۳۳±۰/۰۱۳	تاج خروس
-۳/۴	۰/۱۶±۰/۰۲۲	۰/۱۷±۰/۰۰۶	سلمه تره
۲/۳	۰/۳۱±۰/۰۰۵	۰/۳۰±۰/۰۱۲	ارزن (سویا)
-۱۴/۷	۰/۲۷±۰/۰۰۴	۰/۳۲±۰/۰۱۳	ارزن (تاج خروس)
۱۱/۴	۰/۲۸±۰/۰۱۳	۰/۲۵±۰/۰۱۰	ارزن (سلمه تره)
-۱۹/۸	۰/۳۰±۰/۰۰۷	۰/۳۲±۰/۰۱۵	سویا (تاج خروس)
۴/۲	۰/۳۴±۰/۰۰۸	۰/۳۲±۰/۰۱۳	سویا (سلمه تره)
-۲۴/۹	۰/۲۴±۰/۰۰۹	۰/۳۵±۰/۰۱۳	سویا (ارزن)
۱۲/۲	۰/۳۵±۰/۰۰۹	۰/۳۱±۰/۰۱۳	تاج خروس (ارزن)
۹/۳	۰/۳۲±۰/۰۱۱	۰/۲۹±۰/۰۱۱	تاج خروس (سویا)
۶/۵	۰/۲۶±۰/۰۱۷	۰/۲۴±۰/۰۰۹	تاج خروس (سلمه تره)
-۱۱/۵	۰/۱۵±۰/۰۱۰	۰/۱۶±۰/۰۰۶	سلمه تره (ارزن)
-۴/۹	۰/۱۴±۰/۰۰۵	۰/۱۵±۰/۰۰۶	سلمه تره (سویا)
۰/۲	۰/۱۵±۰/۰۰۱	۰/۱۵±۰/۰۰۶	سلمه تره (تاج خروس)
	۰/۰۱۶		LSD

* در کشت‌های مخلوط صفت موردنظر برای گونه خارج از پراوتر، ذکر شده است. مقادیر بعد از میانگین‌ها نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

بنابراین به نظر می‌رسد با افزایش غلظت CO_2 تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های هوایی و ریشه تغییر یافته و نسبت R/S کاهش می‌یابد. در عین در گیاهان چهار کربنه در شرایط رقابت بین گونه‌ای نسبت R/S افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که در این شرایط با افزایش غلظت CO_2 رقابت برای منابع هوایی (نور و CO_2) به نفع گونه‌های مجاور بوده و در نتیجه رشد اندام‌های هوایی بیشتر کاهش می‌یابد. در حالی که در رابطه با منابع زیرزمینی (آب و نیتروژن) گیاهان چهار کربنه با افزایش غلظت CO_2 همچنان توانایی رقابتی بالایی داشته و در نتیجه وزن ریشه‌ها کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و بنابراین نسبت R/S افزایش می‌یابد.

عملکرد نسبی گیاه: مقایسه عملکرد نسبی گیاه (PRY) به‌عنوان شاخصی از توانایی رقابتی در گونه‌های مختلف نشان داد که با افزایش غلظت CO_2 توانایی رقابتی سویا در مقابل ارزن و تاج خروس افزایش یافت، در حالی که در مقابل سلمه تره کاهش یافت (جدول ۷). همچنین توانایی رقابتی ارزن در برابر سویا و سلمه تره کاهش و در برابر تاج خروس افزایش یافت. توانایی رقابتی تاج خروس در برابر سویا، ارزن و سلمه تره کاهش یافت. توانایی رقابتی سلمه تره نیز در برابر ارزن و تاج خروس افزایش و در برابر سویا کاهش یافت (جدول ۷). به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت CO_2 ، توانایی رقابتی گیاهان سه کربنه در برابر گیاهان چهارکربنه افزایش می‌یابد در حالی که توانایی رقابتی گیاهان چهار کربنه در برابر سه کربنه ها کاهش می‌یابد. بین گیاهان چهار کربنه ارزن واکنش بیشتری به افزایش CO_2 نشان داد و در نتیجه توانایی رقابتی آن در برابر تاج خروس افزایش یافت، به شکلی مشابه سویا در مقایسه با سلمه تره واکنش بیشتری به افزایش غلظت CO_2 نشان داد و در نتیجه توانایی رقابتی سویا در برابر سلمه تره افزایش یافت (جدول ۷).

نتایج مشابهی از برتری توانایی رقابتی گیاهان سه کربنه با افزایش غلظت CO_2 گزارش شده است. زیسکا (۲۰۰۱) نشان داد که در شرایط غلظت طبیعی CO_2 توانایی رقابتی (PRY) سورگوم و توج مشابه بود. در حالی که با افزایش غلظت CO_2 ، PYR توج در برابر سورگوم افزایش و PRY سورگوم در برابر توج کاهش یافت. به عقیده زیسکا (۲۰۰۱) با افزایش CO_2 تلفات عملکرد سورگوم ناشی از رقابت توج افزایش می‌یابد. بزاز و همکاران (۱۹۸۹) نیز نشان دادند که توانایی رقابتی گیاهان سه کربنه با افزایش CO_2 ، افزایش می‌یابد، در حالی که در چهار کربنه‌ها کاهش می‌یابد.

جدول ۷- عملکرد نسبی گیاه (PRY) برای چهار گونه ارزن، سویا، تاج خروس و سلمه تره در دو غلظت CO₂ معمولی (۳۵۰ پی پی ام) و افزایش یافته (۷۰۰ پی پی ام) (مقادیر بر اساس وزن خشک اندام‌های هوایی محاسبه شده است).

گونه	در رقابت با	PRY در ۳۵۰ppm	PRY در ۷۰۰ppm	درصد تغییر
ارزن	سویا	۰/۹۰۲	۰/۷۸۱	-۱۵/۵
ارزن	تاج خروس	۰/۹۰۱	۰/۹۲۷	۲/۸
ارزن	سلمه تره	۰/۹۸۴	۰/۷۲۳	-۳۶/۲
سویا	ارزن	۰/۷۹۴	۰/۸۷۲	۸/۹
سویا	تاج خروس	۰/۷۱۷	۰/۷۹۳	۹/۶
سویا	سلمه تره	۰/۸۱۹	۰/۵۷۳	-۴۲/۷
تاج خروس	ارزن	۰/۸۰۷	۰/۷۲۳	-۱۱/۷
تاج خروس	سویا	۰/۸۳۱	۰/۷۲۸	-۱۴/۶
تاج خروس	سلمه تره	۰/۸۳۵	۰/۷۲۶	-۱۵/۰
سلمه تره	ارزن	۰/۸۱۹	۰/۸۴۱	۲/۶
سلمه تره	سویا	۰/۹۸۷	۰/۸۴۴	-۱۶/۹
سلمه تره	تاج خروس	۰/۸۴۹	۰/۹۰۴	۶/۱
میانگین		۰/۸۵۴	۰/۷۸۶	

نتیجه گیری

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت CO₂ رشد رویشی گیاهان سه کربنه سویا و سلمه تره افزایش یافت. این افزایش رشد در اندام‌های هوایی بیش از ریشه بوده، در نتیجه نسبت ریشه به اندام‌های هوایی در این گیاهان در شرایط CO₂ بالا، کاهش یافت. گیاه ارزن در مقایسه با تاج خروس واکنش بیشتری به افزایش CO₂ نشان داد. در نتیجه این امر توانایی رقابتی (براساس PRY) گیاهان سویا و سلمه تره در مقایسه با تاج خروس و ارزن افزایش یافت. این امر نشان می‌دهد که در آینده با افزایش غلظت CO₂ گیاهان سه کربنه توانایی رقابتی بیشتری در برابر علف‌های هرز چهار کربنه خواهند داشت (البته لازم است تغییرات دمایی ناشی از افزایش CO₂ نیز در این رابطه مورد توجه قرار گیرد). در مقابل در گیاهان زراعی چهار کربنه توانایی رقابتی در برابر علف‌های هرز سه کربنه کاهش می‌یابد. علاوه بر این با توجه به تغییر برهمکنش علف هرز- گیاه زراعی در این

شرایط لازم است مطالعات بیشتری در رابطه با اثر افزایش غلظت CO₂ بر بانک بذر علف‌های هرز در خاک، کارایی علف کش‌ها و دیگر روابط علف هرز- گیاه زراعی صورت گیرد.

منابع

- Ainsworth, E.A., and Long, S.P. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol.* 165: 351-372.
- Bazzaz, F.A., Garbutt, K Reekie, E.G., and Williams, W.E. 1989. Using growth analysis to interpret competition between a C₃ and a C₄ annual under ambient and elevated CO₂. *Oecologia* 79: 223-235.
- Cave, G., Tolley, L.C., and Strain, B.R. 1981. Effect of carbon dioxide enrichment on chlorophyll content, starch content and starch grain structure in *Trifolium subterraneum* leaves. *Physiol. Plant.* 51: 171-174.
- Chen, D.X., Hunt, H.W., and Morgan, J.A. 1996. Responses of a C₃ and C₄ perennial grass to CO₂ enrichment and climate change: Comparison between model predictions and experimental data. *Ecol. Model.* 87: 11-27.
- Collatz, G.J., Berry, J.A., and Clark, J.S. 1998. Effects of climate and atmospheric CO₂ partial pressure on the global distribution of C₄ grasses: present, past, and future. *Oecologia.* 114: 441-454.
- Derner, J., Polley, H.W., Johnson, H.B., and Tischler, C.R. 2001. Root system response of C₄ grass seedling to CO₂ and soil water. *Plant Soil.* 231: 97-104.
- Derner, J., Johnson, H., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Polley, H.W., Tishler, C.R., Otman, R.L., Matthias, A.D., and Brooks, T.J. 2003. Above and below ground responses of C₃-C₄ species mixtures to elevated CO₂ and soil water availability. *Global Change Biol.* 9: 452-460.
- Dippery, J.K., Tissue, D.T., Thomas, R.B., and Strain, B.R. 1995. Effects of low and elevated CO₂ on C₃ and C₄ annuals. *Oecologia* 101: 13-20.
- Duke, S.O. 1985. *Weed Physiology*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Ghannoum, O., Von Caemerer, S., Ziska, L.H., and Conroy, J.P. 2000. The growth response of C₄ plants to rising atmosphere CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant Cell Environ.* 23: 931-942.
- Heagle, A.S., Miller, J.E., and Booker, F.L. 1998. Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: I. foliar properties. *Crop Sci.* 38:113-121.
- Heinemann, A.B., Maia, H.N., Dourado-Neto, A.D., Ingram, K.T., and Hoogenboom, G. 2005. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. *Europ. J. Agron.* 24: 52-61.

- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg A., and Maskell, K. 1996. Climate change. The science of climate change: Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, England: Cambridge University Press. 432p.
- Jaggard, K.W., Qi, A., and Ober, E.S. 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. Phil. Trans. R. Soc. B. 365: 2835-2851.
- Jongen, M., and Jones, M.B. 1998. Effects of elevated CO₂ on plant biomass production and competition in a simulated neutral grassland community. Ann. Bot. 82: 111-123.
- Keeling, C.D., and Whorf, T.P. 2001. Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network, in: Trends: A Compendium of Data on Global Changes, Carbon Dioxide Inf. Anal. Cent., Oak Ridge Natl. Lab., U.S. Dep. of Energy, Oak Ridge, Tenn.
- Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75: 779-788.
- Kimball, B.A. 1993. Ecology of crops in changing CO₂ concentration. J. Agric. Meteorol. 48: 559-566.
- Macias, F.A., Lopez, A., Varela, R.M., Torres, A., and Molinillo, J.M.G. 2004. Bioactive *Apocarotenoids annuionones* F., and G: structural revision of *annuionones* A.B., and E. Phytochem. 65: 3057-3063.
- McDonald, A., Riha, S. DiTommaso, A. DeGaetano, A. 2009. Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. Agric. Ecosys. Environ. 130: 131-140.
- Mishra, R.S., Abdin, M.Z., and Uprety, D.C. 1999. Interactive effects of elevated CO₂ and moisture stress on the photosynthesis, water relation and growth of *Brassica* species. J. Agron. Crop Sci. 182: 223-229.
- Naidu, V.S., and Varshney, J.G. 2011. Interactive effect of elevated CO₂, drought and weed competition on carbon isotope discrimination in wheat (*Triticum aestivum*) leaves. Indian J. Agric. Sci. 81: 1026-1029.
- Patterson, D.T., and Flint, E.P. 1980. Potential effects of global atmospheric CO₂ enrichment on the growth and competitiveness of C₃ and C₄ weed and crop plants. Weed Sci. 28: 71-75.
- Pimentel, D., McNair, S., and Janecka, J. 2001. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. Agric. Ecol. Environ. 84: 1-20.
- Pinter, P.J., Idso, S.B., Hendrix, D.L., Rokey, R.R. Rauschkolb, R.S. Mauney, J.R. Kimball, B.A., Hendrey, G.R., Lewin, K.F., and Nagy, J. 1993. Effect of free-air CO₂ enrichment on the chlorophyll content of cotton leaves. Agric. For. Meteorol. 70-163-169.

- Poorter, H. 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration. In: J. Rozema, H. Lambers, S., Van de Geijn, and M.L., Cambridge (Eds.). CO₂ and Biosphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Poorter, H., and Navas, M.L. 2003. Plant growth and competition at elevated CO₂: on winners, losers and functional groups. *New Phytol.* 157: 175-198.
- Prestidge, R.A., and Pottinger, R.P. 1990. The impact of climate change on pests, diseases, weeds and beneficial organisms present in New Zealand Agricultural and horticultural systems. Hamilton: MAF Technol.
- Pritchard, S.A., Prior, H., Rogers, H., Davis, M.A., Runion, G.B., and Popham, T.W. 2006. Effects of elevated atmospheric CO₂ on root dynamics and productivity of sorghum grown under conventional and conservation agricultural management practices. *Agric. Ecol. Environ.* 113: 175-183.
- Vajan, M., Ratnakumar, P., Vegheera P., Jyothi, M., Raghuram P., Mahashwari, M., and Yadav, S.K. 2006. Initial growth responses of blackgram (*Vigna mungo*) under elevated CO₂ and moisture stress. *Plant Soil Environ.* 52: 499-504.
- Vajan, M., Yadav, S.K., Archana, G., Jyothi, Lalshmi, N.J., Reddy, P.R., Vagheera, P., Maheswari, M., and Venkateswarlu, B. 2011. Response of C₄ (maize) and C₃ (sunflower) crop plants to drought stress and enhanced carbon dioxide concentration. *Plant Soil Environ.* 57: 207-215.
- Wand, S.J.E., Midgley, G.F., Jones, M.H., and Curtis, P.S. 1999. Using growth analysis to interpret competition between a C₃ and a C₄ annual under ambient and elevated CO₂. *Global Change Biol.* 5: 723-741.
- Ziska, L.H. 2000. The impact of elevated CO₂ on yield loss from a C₃ and C₄ weed in field-grown soybean. *Global Change Biol.* 6: 899-905.
- Ziska, L.H. 2001. Changes in competitive ability between a C₄ crop and a C₃ weed with elevated carbon dioxide. *Weed Sci.* 49: 62-627.
- Ziska, L.H. 2003. Evaluation of the growth response of six invasive species to past, present and future atmospheric carbon dioxide. *J. Exp. Bot.* 54: 395-404.
- Ziska, L.H., Bunce, J.A., Caulfield, F. 1998. Intraspecific variation in seed yield of soybean (*Glycine max*) in response to increased atmospheric carbon dioxide. *Aust. J. Plant Physiol.* 25: 801-807.
- Ziska, L.H., Reeves, J.B., and Blank, B. 2005. The impact of recent increases in atmospheric CO₂ on biomass production and vegetative retention of cheat grass (*Bromus tectorum*): Implication for fire disturbance. *Global Change Biol.* 11: 1325-1332.



Effect of CO₂ enrichment on growth and competitiveness of soybean and millet against lambs quarters and pigweed

*H.R. Miri¹ and A. Rastegar²

¹Assistant Prof., Islamic Azad University, Arsanjan Branch,

²Graduated Student, Islamic Azad University, Arsanjan Branch

Received: 2011-7-25; Accepted: 2012-2-18

Abstract

In order to study the effects of CO₂ enrichment on growth and competitiveness of soybean (*Glycine max*) and millet (*Panicum miliaceum*) against redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and lambsquarter (*Chenopodium albam*) an experiment was conducted using two CO₂ concentrations (350 and 700 ppm). For evaluating effects of CO₂ variation on inter-and intra-specific competition plants were grown in monoculture and intercropping in greenhouse as factorial experiment based on the completely randomized design. The results indicated that with increasing CO₂, chlorophyll index increased in all species but in average higher increase observed in C₃ plants in mixture (20% increase) compare to C₄ plants (12% increase). By increasing CO₂ concentration root weight, leaf weight and stem weight in C₃ species increased 0.75, 2.61 and 2.43 g respectively while, in C₄ species these values were 0.04, 1.18 and 0.40 g respectively. Shoot dry weight of C₄ species decreased in competition with C₃ in high CO₂ concentration. Comparison of plants PRY indicated that by increasing CO₂ concentration soybean PRY increased by 8.9 and 9.6 against millet and pigweed respectively while, millet PRY decreased against C₃ plants. This means that competition interaction of crop-weed could be affected by variation of CO₂ in environment.

Keywords: CO₂ enrichment; Competition; Weeds; Photosynthesis pathway

*Corresponding author; Email: hmiri2000@yahoo.com