نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، ص. ۳۷۰-۳۵۸

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 3, Fall 2011, p. 358-370

اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر شاخص‌های رشدکنجد (*Sesamum indicum* L.) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) و قدرت رقابت آنها

مرتضی گلدانی[1*]، مهدی نصیری محلاتی[2] و محمود شور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

دی اکسید کربن یکی از مهمترین نهاده‌های لازم برای رشد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. این بررسی به منظور تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد (*Sesamum indicum* L.) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) در شرایط گلخانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در جعبه‌هایی به طول ۵۰، عرض۳۰ و ارتفاع۳۰ سانتی‌متر انجام شد. فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن (۳۶۵، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون) و فاکتور دوم رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بود که برای هرکدام از گیاهان کنجد و تاج خروس به طور جداگانه انجام شد. نتایج نشان داد که با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن ارتفاع، تعداد میانگره، طول میانگره و وزن خشک ساقه اصلی کنجد افزایش و برای تاج خروس کاهش یافت. تعداد و طول شاخه‌های جانبی و وزن خشک آنها تحت تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن قرار گرفت، به طوری که افزایش غلظت دی اکسید کربن تأثیر مثبت بر گیاه کنجد و اثر منفی بر تاج خروس داشت. با افزایش غلظت دی اکسید کربن اثر مثبت بر عملکرد دانه کنجد و اثر منفی بر عملکرد دانه تاج خروس داشت. در کنجد اثر رقابت معنی‌دار بود و رقابت بین گونه‌ای برتری داشت. اثر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر میزان فتوسنتز و تعرق در کنجد و تاج خروس معنی‌دار بود. همچنین ازدیاد غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش میزان فتوسنتز و تعرق در کنجد و کاهش آنها در تاج خروس شد. صفات ریشه از جمله سطح، مجموع طول و وزن خشک ریشه در گیاه کنجد تحت تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن قرار گرفت، به طوری که با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن افزایش نشان دادند، ولی در گیاه تاج خروس سطح، متوسط قطر، مجموع طول و وزن خشک ریشه با افزایش غلظت دی اکسید کربن کاهش نشان داد. نسبت ریشه به اندام هوایی تحت تأثیر معنی‌دار غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بود. این نسبت با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن در گیاه کنجد و در گیاه تاج خروس افزایش داد. به طور کلی، نتایج نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن در کنجد به عنوان یک گیاه سه کربنه و گرمادوست، باعث برتری از نظر رشد و تولید خواهد شد و در تاج خروس افزایش غلظت دی اکسید کربن تأثیری برتولید آن نداشت، ولی درجه حرارت بالای ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث کوتاهی طول دوره رشد و کاهش سرعت رشد و تولید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رقابت بین گونه‌ای، رقابت درون گونه‌ای، علف هرز، گیاه زراعی

مقدمه

دی اکسید کربن و درجه حرارت دو متغیر کلیدی مؤثر بر رشد، نمو و کارکرد گیاهان هستند که بر اساس پیش بینی‌های انجام شده افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث ازدیاد درجه حرارت خواهد شد که این مسئله بر رشد گیاهان تأثیر زیادی خواهد گذاشت (Zavareh, 2005). بر اساس تحقیقات انجام شده توسط هیات بین المللی تغییر اقلیم[4] (IPCC)، دی اکسید کربن بیشترین سهم (۵۵ درصد) را در گرمایش جهانی دارد. غلظت این گاز از ۲۸۵ قسمت در میلیون در قبل از انقلاب صنعتی (سال ۱۸۰۰ میلادی)، به ۳۳۷ قسمت در میلیون در سال ۱۹۸۰ و ۳۶۹ قسمت در میلیون در حال حاضر رسیده است (Chen et al., 1996; Fritschi ;Koocheki & Hosseini, 2006 et al., 1999). فرتیش و همکاران (Fritsch et al., 1999) مشاهده کردند که افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش فتوسنتز گونه‌های سه کربنه و چهار کربنه به ترتیب به میزان ۳۷ و ۲۲ درصد شد.

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، استاد گروه زراعت و استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: morteza_goldani@yahoo.com)

4- Intergovermental Panel on Climate change

نتایج بررسی زواره (Zavareh, 2005) نشان داد کـه غلظـت دی اکسید کربن اثر مثبت و معنی‌داری بر بهبود میزان تجمع ماده خشک در ژنوتیپ‌های کنجد داشت، به طوری که افزایش غلظت دی اکسـید کربن میانگین تولید ماده را ۱۸ درصد افزایش داد. همچنـین افـزایش غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش ۱۳ درصد نسـبت ریشـه بـه انـدام هـوایی[1] (R/S) شـد. اغلـب کـاهش‌هـای مشـاهده شـده در شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گونه‌های چهـار کربنـه بـه علت مشابهت در متابولیسم کربن توسط آنزیم‌های فتوسنتزی است و نیز به نظر می‌رسد که این کاهش‌ها به علت ناتوانی ریشـه در جـذب مقادیر مناسب و کافی از نیتروژن خاک، جهت تـأمین نیـاز بیشـتر بـه نیتروژن در اثر افـزایش غلظـت دی اکسـید کـربن باشـد (Read & Morgan, 1996).

نتایج مطالعه بـوکر و همکـاران (Booker et al., 2005) نشـان داده است که دی اکسید کربن بر تخصیص ماده خشک به اندام‌هـای هوایی مؤثر است، به طوریکه در گیاه سویا، ازدیاد غلظـت دی اکسـید کربن تخصیص ماده خشـک را بـه ترتیـب در ریشـه، سـاقه و بـرگ افزایش داد. در بررسی دیگر مشاهده شد که افزایش دی اکسید کربن میزان تثبیت کربن در گیاهان سه کربنـه را افـزایش داده و مـی‌توانـد تخصیص کربن به ریشه‌ها بیشتر و در نتیجه بـه طـوری کـه زیسـت توده ریشه افزایش می‌یابد، افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری می‌تواند فرآیندهای زیر خاک را بـه شـدت تحـت تـأثیر قـرار دهـد و موجب پاسـخ‌هـای پیچیـده‌ای در بـوم‌نظـام شـود (Griffin et al., 1997).

واکنش‌های مختلف گیاهان نسبت به افزایش غلظت دی اکسـید کربن شامل افزایش فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای، نمو برگ‌هـای بزرگتر، ضخیم‌تر و سنگین‌تر، افزایش شاخه‌دهی، افزایش تعداد گره‌ها، تغییر نسبت ریشه به ساقه، افـزایش رشـد و عملکـرد، کـاهش نشـت کربن از سلول‌های مخصوص غلاف آوندی در گیاهـان چهـار کربنـه (سـورگوم (*Sorghum bicolor* Moench.)) و افـزایش تولیـد متابولیـت‌هـای ثانویـه اسـت (Idso et al., ; Cosins et al., 2001 2000). گیاهان، زمانی که در معرض غلظت زیـاد دی اکسـید کـربن قرار می‌گیرند، جذب مواد غذایی در هر واحد زیستی در خاک کـاهش می‌یابد که این امر می‌تواند از یک سو به دلیـل کمبـود ایـن مـواد در محیط ریشه و از سوی دیگر به علت افزایش کـارایی مصـرف آب در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن باشد که موجب کاهش جریان توده‌ای مواد از سطح ریشه می‌شـود (Lambers et al., 1996). زواره (Zavareh, 2005) در مطالعه بیش از ۷۰ گزارش منتشر شده و ۴۳۰ مشاهده مربوط به ۳۷ گونـه گیـاهی نشـان داد کـه دو برابـر نمـودن غلظـت دی اکسـید کـربن، عملکـرد گیاهـان را ۳۳ درصـد افـزایش می‌دهد. با این حال گزارش شده است که تمام اندام‌های یک بوته به یک میزان از اثر اتمسفر غنی شده از دی اکسید کربن بهره نمی‌برند و روی کنجد (*Sesamum indicum* L.) نشان داد کـه اثـرات متقابـل دما، دی اکسید کربن و ژنوتیپ و نیز اثر متقابـل دی اکسـید کـربن و ژنوتیپ، بر کل ماده خشک بوته‌های کنجد معنی‌دار نبود، ولی مقایسه دو غلظت (دی اکسید کربن شـامل ۴۰۰ و ۷۰۰ قسـمت در میلیـون) نشان داد که استفاده از ۷۰۰ قسمت در میلیون دی اکسیدکربن منجر به افزایش ماده خشک ریشه تمام ژنوتیپ‌های کنجد مـی‌شـود. تمـام فرایندهای فیزیولوژیکی تک بوته‌ها و همچنـین کـل جامعـه گیـاهی تحت تأثیر رقابت (تداخل منفی) است، به طوری کـه گیاهـان مجـاور برای استفاده از یک میزان ثابت کوانتوم نوری، مواد غـذایی، مولکـول آب و فضا با یکدیگر رقابت می‌کنند (Raaofi, 2006).

کاهش عملکرد گیاه زراعی تا حد زیادی به تراکم علف‌های هـرز رقابت کننده و وزن آنها بستگی دارد. به عبارت دیگر، تعداد یا وزنی از علف هرز وجود دارد که بیشتر از آن باعث تلفات یا خسارت می‌شود و کمتر از آن خسارتی ایجاد نمی‌کند (Ghorbani et al., 2009). نتایج مطالعه اثر افزایش غلظت دی اکسـید کـربن بـر دو علـف هـرز تـاج خروس (چهار کربنه) و سلمه (سه کربنه) نشان داد که سرعت رشـد و فتوسنتز گونه‌های سه کربنه با افزایش غلظت دی اکسید کـربن زیـاد می‌شـود (Ziska et al., 1999). افـزایش غلظـت دی اکسـید کـربن اتمسفری، پاسخ‌های متفاوتی را در گیاهان چهار کربنه و سه‌کربنـه در پی دارد، بنابراین تعادل رقابتی بین این گونه‌ها در آینده تغییر می‌کند. تغییر در رقابت بین گونه‌ها موجب تغییر در سطح فرآیندهای بوم‌نظـام نظیر تبادل گاز و تغییر در چرخه کربن و نیتروژن می‌شـود (Chen et al., 1996). مطالعـات انجـام شـده توسـط زواره (Zavareh, 2005) روی کنجد نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش ۱۳ درصدی نسبت ریشه به اندام هوایی[2] (R/S) شد. همچنین افزایش غلظت دی اکسید کربن کاهش ریشه به کـل مـاده خشـک[3] (R/TDM) را بعد از رسیدن به حداکثر مقدار خود به تعویق انداخت. از طرف دیگر، غلظت بالای دی اکسید کـربن انتقـال مـاده خشـک بـه ریشه‌ها را به مدت طولانی‌تری حفظ می‌کند. در شرایطی از تولید کـه آب و مواد غذایی محدودکننده رشد نباشند، تراکم طولی ریشـه تـأثیر زیادی بر این مواد نداشت، وقتی که مواد موجـود در خـاک نتوانسـت تقاضای گیاه را تأمین کند در این زمان میزان جذب توسط هـر گونـه بستگی به سهم آن گونه از کـل ریشـه مـؤثر داشـت. بنـابراین بنظـر می‌رسد که طول ریشه‌های مؤثر یک گونه به طور نسبی و نه به طـور قطعی، توانایی رقابت آن را تعیین می‌کند (Pritchard et al., 2006). گلوی (Galavi, 2004) بیـان داشـت بوتـه‌هـایی کـه توانسـتند

1- Root to Shoot ratio

2- Root to Shoot ratio

3- Root to Total Dry Matter

سریع‌تر ارتفاع، اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای منشعبی تولید کنند که نسبت به بوته‌هایی که این ویژگی‌ها را نداشتند، در رقابت موفق‌تر هستند. وی در مطالعه تأثیر رقابت تاج خروس و سوروف (*Echinochloa crus-galli*) بر سویا (*Glycine max* L.) گزارش نمود که تاج خروس از قدرت بالاتری برخوردار است و مشاهده شد که وقتی تاج خروس با تراکم دو بوته در متر ردیف، در مراحل خروج گیاهچه از خاک، مرحله لپه‌ای و مرحله اولین برگ سه برگچه‌ای از رشد سویا سبز شد، وزن خشک ریشه سویا به ترتیب ۱۲/۳، ۱/۹ و صفر درصد کاهش یافت و نتیجه گیری نمود که افزایش تراکم تاج خروس بعلت افزایش رقابت درون گونه‌ای و مصرف منابع غذایی سبب کاهش طول ریشه نسبت به شاهد شده و با افزایش غلظت دی اکسید کربن طول و وزن خشک ریشه سویا نسبت به تاج خروس افزایش می‌یابد و رقابت درون گونه‌ای تاج خروس در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن بیشتر شده و وزن خشک ریشه در رقابت درون گونه‌ای تاج خروس نسبت به شاهد کاهش یافت. آندالو و همکاران (Andalo et al., 1998) گزارش کردند که افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث تولید بیشتر و سرعت افزایش طول ریشه شده و تراکم ریشه (حجم و طول ریشه) به ویژه در قسمت سطحی خاک افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه پرتچارت و همکاران (Pritchard et al., 2006) نشان داد که رشد ریشه در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن در گیاهان چهار کربنه کاهش می‌یابد، به طوریکه در گیاهی نظیر سورگوم طول و حجم ریشه به علت حفظ بقاء کاهش یافت. برنستون و بزاز (Berntson & Bazzaz, 1996) نشان دادند که در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن پیری در ریشه‌ها سریع‌تر اتفاق می‌افتد. افزایش غلظت دی اکسید کربن رشد رویشی اندام هوایی را بیشتر از گسترش ریشه تحریک می‌کند و موجب کاهش نسبت R/S می‌شود (Read & Morgan, 1996). در غلظت بالای دی اکسید کربن درجه حرارت مطلوب برای بسیاری از گونه‌های سه کربنه افزایش یافت و شبیه به گیاهان چهار کربنه می‌شود و با توجه به افزایش درجه حرارت مطلوب برای فتوسنتز در نتیجه افزایش غلظت دی اکسید کربن، تحریک رشد گونه‌های سه کربنه در درجه حرارت‌های گرم بیشتر از درجه حرارت‌های سرد است (Koocheki & Hosseini, 2006). در بررسی بروکر و همکاران (Booker et al., 2005) افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث افزایش ارتفاع، تعدادغلاف و زیست توده اندام هوایی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای شد. با افزایش غلظت دی اکسید کربن رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های تاج خروس نسبت به شرایط غلظت طبیعی دی اکسید کربن بیشترشده و در نتیجه افزایش کمتری در وزن خشک ساقه در تاج خروس نسبت به شاهد در مقایسه با غلظت طبیعی دی اکسید کربن (۳۶۰ قسمت در میلیون) شد. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر برخی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد و تاج خروس در شرایط همجواری با یکدیگر است.

مواد روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ درگلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح غلظت دی اکسید کربن (۳۶۵، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون) و رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بود که برای هرکدام از گیاهان کنجد و تاج خروس به طور جداگانه انجام شد. عملیات کاشت دستی در جعبه‌هایی به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. جعبه‌ها با مخلوط خاک، خاک‌برگ و کود گاوی پوسیده به نسبت ۳:۱:۱ پر شدند. ترکیب‌های مختلف کشت شامل کشت خالص کنجد، کشت خالص تاج خروس و نسبت ۱:۱ کنجد که در هر جعبه چهار بوته کاشت شد. دمای محیط حدود ۳۳ درجه سانتی‌گراد در طول روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی حدود ۷۰ درصد تنظیم شد. تیمارهای مختلف دی اکسید کربن در زیر پلاستیک بصورت جداگانه طراحی و غلظت دی اکسید کربن توسط سیستم زمان سنج، با دستگاه دی اکسید کربن‌سنج پرتابل با توجه به حجم داخل اتاقک‌ها کنترل شد. این سیستم به طور اتوماتیک عمل می‌کرد و با استفاده از یک سلول نوری در شب خاموش و با افزایش شدت نور در روز روشن می‌شد. لذا با استفاده از زمان‌سنج‌های تعبیه شده در جعبه فرمان و نیز حجم اتاقک‌ها غلظت‌های مورد نظر به اتاقک‌ها تزریق شد، تا زمان استقرار کامل گیاه (مرحله سه برگی) کلیه تیمارها در شرایط معمولی (۳۶۵ قسمت در میلیون) رشد کردند و بعد از مرحله سه برگی تیمارهای مختلف غلظت دی اکسید کربن اعمال شد.

صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع گیاه، تعداد گره، طول میانگره، تعداد برگ و تعداد کپسول (برای کنجد) و وزن هزار دانه و وزن کل در شاخه‌های اصلی و فرعی (برای تاج خروس) اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های هر جعبه از محل طوقه قطع و قطر طوقه در محل برش اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک کل بوته و عملکرد تک بوته و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی درکلیه تیمارها تعیین شد.

در زمان برداشت، برای اندازه‌گیری خصوصیات ریشه از جمله قطر، سطح، ارتفاع، حجم و وزن خشک ریشه‌ها، ریشه‌های مربوط به هر کدام از تیمارهای آزمایش را از خاک خارج کرده و در آزمایشگاه پس از شستشو و رنگ آمیزی با ماده شیمیایی متیلن‌بلو با استفاده از اسکنر کامپیوتری و نرم‌افزار Delta T-scan قطر، سطح، طول ریشه‌ها اندازه گیری شدند. پس از شستشو ریشه‌ها، حجم ریشه توسط

استوانه و بر اساس میزان افزایش حجم آب نسبت به حالت اولیه بر حسب سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد به آون منتقل شدند. در مرحله گلدهی میزان فتوسنتز و میزان تعرق از سطح جوان‌ترین برگ توسعه یافته در ساعت ۱۰الی ۱۲ صبح با استفاده از دستگاه LCD Portable Photosynthesis System اندازه‌گیری شد.

رسم شکل‌ها و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به ترتیب با استفاده از نرم افزارهای Excel، MSTAT-C انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر خصوصیات رویشی و زایشی

ارتفاع، تعداد گره و طول میانگره

اثر غلظت دی اکسید کربن بر ارتفاع بوته، تعداد و طول میانگره معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). به طوریکه ارتفاع، تعداد گره و طول میانگره کنجد (گیاه سه کربنه) با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن افزایش یافت، ولی این صفات در گیاه تاج خروس (گیاه چهار کربنه) کاهش نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲). اثر نوع رقابت بر ارتفاع بوته، تعداد و طول میانگره معنی‌دار بود. حداکثر ارتفاع کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۳۷ سانتی‌متر) و حداقل آن در رقابت بین گونه‌ای (۲۶سانتی‌متر) بدست آمد، ولی ارتفاع در گیاه تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۴۲ سانتی‌متر و در رقابت بین گونه‌ای ۴۴ سانتی‌متر بود (جدول‌های ۱ و ۲).

بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) علف هرز (تاج خروس) نشان داد که در گیاه کنجد بیشترین ارتفاع و تعداد گره در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای به دست آمد. در تاج خروس بیشترین ارتفاع بوته و تعداد گره در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون رقابت بین گونه‌ای بدست آمد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت (درون گونه‌ای و بین گونه‌ای) بر برخی خصوصیات اندام هوایی کنجد

Table 1- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspecies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	وزن خشک کپسول (گرم) Capsule dry weight (g)	تعداد کپسول Capsule number	وزن خشک ساقه (گرم) Branch dry weight (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	طول شاخه (سانتی‌متر) Branch length (cm)	تعداد شاخه Branch number	فاصله میانگره (سانتی‌متر) Internode distance (cm)	تعداد گره Node number	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)
(T_1) 360	0.25	1.5	0.17	0.36	7.0	2.0	3.7	5.7	21
(T_2) 520	0.40	5.0	0.66	0.48	47	4.4	3.8	8.6	33
(T_3) 750	0.84	7.8	0.86	1.28	61	4.5	4.5	9.6	42
LSD (0.05)	0.39*	2.5	0.43	0.61	9.3	0.78	1.1	3.3	12.5
I_1	0.36	3.7	0.40	0.81	18	2.0	4.5	8.3	37
I_2	0.54	5.8	0.70	0.61	58	5.0	3.6	7.6	26
I_1T_1	0.23	1.5	0.17	0.45	7.0	2.0	3.8	5.7	22
I_1T_2	0.43	4.5	0.56	0.50	24	2.3	4.4	8.2	36
I_1T_3	0.63	5.2	0.47	1.70	24	2.0	5.2	11.0	55
I_2T_1	0.28	1.6	0.17	0.28	7.0	2.0	3.7	5.7	21
I_2T_2	0.53	5.5	1.17	0.45	70	6.5	3.3	9.0	30
I_2T_3	1.10	10.5	0.83	0.87	98	7.0	3.8	8.0	29
LSD (0.05)	0.60	3.5	0.61	0.86	7.1	1.1	1.6	5.6	17.7

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

جدول ۲- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت (درون گونه‌ای و بین گونه‌ای) بر برخی خصوصیات اندام هوایی کنجد

Table 2- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspicies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	وزن کل دانه در ساقه اصلی (گرم) Total seed weightof stem (g)	وزن ۱۰۰۰دانه در ساقه اصلی(گرم) 1000 seed weights (g) of main stem	وزن خشک شاخه (گرم) Branch dry weight (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	طول شاخه (سانتی‌متر) Branch length(cm))	تعداد شاخه Branch number	فاصله میانگره Internode distance (cm)	تعداد گره Node number	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)
(T_1) 360	0.65	0.15	2.50	3.20	327	32.0	3.1	19.0	59.0
(T_2) 520	0.48	0.06	0.82	0.54	125	12.0	2.2	19.0	38.0
(T_3) 750	0.40	0.06	0.60	0.41	94	12.0	2.0	21.0	32.0
LSD (0.05)	0.23*	0.12	0.85	0.70	79	3.9	0.88	6.5	12.5
I_1	0.50	0.13	1.20	1.33	137	16.0	2.4	18.0	42.0
I_2	0.51	0.05	1.50	1.47	227	20.0	2.3	21.0	44.0
I_1T_1	0.56	0.30	1.35	2.80	147	23.0	2.8	18.0	51.0
I_1T_2	0.59	0.05	1.30	0.70	154	13.0	2.9	16.0	42.0
I_1T_3	0.32	0.06	0.82	0.61	109	13.0	2.0	21.0	34.0
I_2T_1	0.71	0.04	3.70	3.70	506	41.0	3.4	20.0	68.0
I_2T_2	0.41	0.06	0.35	0.40	95	10.0	1.5	22.0	34.0
I_2T_3	0.43	0.06	0.35	0.30	79	11.0	2.0	20.0	30.0
LSD (0.05)	0.32	0.16	1.20	0.98	111	11.5	1.24	9.2	17.7

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

مطالعات انجام شده در مورد گیاهان سه کربنه و چهار کربنه توسط زیکا و همکاران (Ziska et al., 1999) و رید و مورگان (Read & Morgan, 1996) حاکی از آن است که سرعت رشد، فتوسنتز و خصوصیات مورفولوژیکی گیاهان سه کربنه با افزایش غلظت دی اکسید کربن نسبت به گیاهان چهار کربنه بیشتر است. در گیاهان سه کربنه با افزایش غلظت دی اکسید کربن میزان تخصیص مواد افزایش یافته و نقطه جبرانی در این گیاهان کاهش می‌یابد (Fritischi et al., 1999; Kafi et al., 2002). در آزمایش دیگر، میزان زیست توده نسبت به تیمار شاهد ۱۸ درصد افزایش نشان داد (Zavareh, 2005). بنظر می‌رسد که میزان تنفس نوری گیاه کنجد به عنوان گیاه سه کربنه در شرایط ازدیاد غلظت دی اکسید کربن کاهش یافته که این امر منجر به تخصیص ماده بیشتر به اندام هوایی شد، به طوری که ارتفاع گیاه، تعداد میانگره و طول میانگره به طور معنی‌داری نسبت به غلظت کمتر دی اکسید کربن افزایش یافت. در رقابت نیز گیاه کنجد با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن به علت سرعت رشد و میزان فتوسنتز بیشتر موفق‌تر بود. از طرفی افزایش غلظت دی اکسید کربن و تحریک رشد رویشی باعث افزایش رقابت در بین گونه‌ای و درون گونه‌ای شده که منجر به ازدیاد ارتفاع گیاه شد، ولی بنظر می‌رسد که کاهش ارتفاع گیاه، تعداد میانگره و طول میانگره با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن در گیاه تاج خروس به عنوان گیاه چهار کربنه به علت درجه حرارت بالا ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن و کاهش در جذب مواد غذایی لازم و تخصیص آن به اندام هوایی باشد.

تعداد و طول شاخه‌های جانبی

اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر تعداد و طول شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، تعداد و طول شاخه‌های جانبی کنجد افزایش یافت، ولی این صفات در تاج خروس کاهش نشان داد (جدول ۱ و ۲). اثر نوع رقابت بر تعداد و طول شاخه‌های جانبی کنجد معنی‌دار بود. به طوریکه طول شاخه‌های جانبی گیاه کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۱۸ سانتی‌تر) و در رقابت بین گونه‌ای (۵۸ سانتی‌متر) بدست آمد، ولی در گیاه تاج خروس طول شاخه‌های جانبی در رقابت درون گونه‌ای ۱۳۷سانتی‌متر و در رقابت بین گونه‌ای ۲۲۷ سانتی‌متر بود (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) و علف هرز (تاج خروس) نشان داد که بیشترین طول و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای بدست آمد، ولی درگیاه تاج خروس حداکثر طول و تعداد

شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای و حداقل آنها در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای حاصل شد (جدول-های ۱ و ۲). از آنجاکه ظرفیت فتوسنتزی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و سایر شرایط مطلوب رشد می‌باشد (Aidar et al., 2002) و برای انجام فتوسنتز، دی اکسید کربن از اتمسفر اطراف برگ باید به محل کربوکسیلاسیون رابیسکو انتشار یابد، لذا سرعت انتشار به شیب غلظت دی اکسید کربن بستگی دارد که شیب قابل قبولی نیاز است تا مقدار مناسبی از دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست انتشار یابد (Read & ; Zavareh, 2005 Morgan, 1996). لذا بنظر می‌رسد که در گیاه سه کربنه مانند کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن در محیط اطراف برگ، میزان و سرعت رشد و فتوسنتز زیاد می‌شود که منجر به افزایش شاخه‌دهی نسبت به شرایط کمبود غلظت دی اکسید کربن می‌گردد. در رقابت نیز افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث سایه اندازی بیشتر، رشد سریعتر و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی شده که این خود سبب موفقیت در رقابت با یک گیاه چهار کربنه (تاج خروس) می‌گردد.

وزن خشک ساقه اصلی

تفاوت وزن خشک ساقه اصلی در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). بیشترین وزن خشک ساقه اصلی کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱/۲۸ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۳۶ گرم) بدست آمد. در صورتیکه در تاج خروس حداکثر وزن خشک ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۳/۲ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۴۱ گرم) حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). اثر نوع رقابت بر وزن ساقه اصلی گیاه کنجد معنی‌دار بود. به طوریکه وزن خشک ساقه اصلی کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۰/۸۱گرم) ودر رقابت بین گونه‌ای (۰/۶۱گرم) بود، ولی وزن خشک ساقه اصلی در تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۱/۳۳ گرم و در رقابت بین گونه ای ۱/۴۷ بدست آمد (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی سه کربنه (کنجد) و علف هرز چهار کربنه (تاج خروس) نشان داد که حداکثر وزن خشک ساقه اصلی در گیاه کنجد در رقابت درون گونه‌ای تاج خروس در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و حداقل آن در رقابت بین گونه‌ای تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن بدست آمد. در تاج خروس بیشترین وزن خشک ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). از آنجا که راندمان تعرق، گرم ماده خشک تولید شده به ازاء هر لیتر تعرق می‌باشد و بسته به گونه گیاهی (سه کربنه و یا چهارکربنه) و غلظت دی اکسید کربن متفاوت است (Chen et al., 1996; Fritschi et al., 1999)، لذا بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن محیط و افزایش شیب دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست، روزنه‌های گیاه سه کربنه (کنجد) سریع‌تر بسته شود و راندمان تعرق افزایش یابد. در نتیجه میزان فتوسنتز، تخصیص مواد و وزن خشک در اندام هوایی (وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی) زیاد گردد، لذا در گیاه کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی افزایش یافت و بر عکس، در تاج خروس در شرایط غلظت دی اکسید کربن کم، وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در مقایسه با گیاه کنجد افزایش نشان کربنه است، رشد گونه‌های سه کربنه در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن بیشتر خواهد بود.

وزن خشک شاخه‌های جانبی

اختلاف غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن از نظر وزن خشک شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد افزایش یافت. حداکثر آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۸۶ گرم) و حداقل وزن خشک شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۱۷ گرم) بود، ولی در تاج خروس کاهش نشان داد به طوریکه بیشترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۲/۵ گرم) و کمترین وزن خشک شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۶ گرم) بود (جدول‌های ۱ و ۲). اختلاف وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد از نظر نوع رقابت در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود. به طوریکه وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد در رقابت درون گونه‌ای ۰/۸۱ گرم و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۶۱ گرم بدست آمد. در تاج خروس وزن خشک شاخه‌های جانبی در رقابت درون گونه‌ای ۱/۳۳ گرم و در رقابت بین گونه‌ای ۱/۴۷ حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی سه کربنه (کنجد) و علف هرز چهار کربنه (تاج خروس) نشان داد که حداکثر وزن خشک شاخه‌های جانبی کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای بدست آمد. در تاج خروس بیشترین وزن خشک شاخه‌های جانبی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای حاصل شد (جدول‌های ۱ و ۲). از آنجا که راندمان تعرق، گرم ماده خشک تولید شده به ازاء هر لیتر تعرق می‌باشد و بسته به گونه گیاهی (سه کربنه و یا چهارکربنه) و غلظت دی اکسید کربن متفاوت است (Chen et al., 1996; Fritschi et al., 1999)، لذا بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن محیط و افزایش شیب دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست، روزنه‌های گیاه سه کربنه (کنجد) سریع‌تر بسته شود و راندمان تعرق افزایش یابد. در نتیجه میزان فتوسنتز، تخصیص مواد و وزن خشک در اندام هوایی (وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی) زیاد گردد، لذا در گیاه کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی افزایش یافت و بر عکس، در تاج خروس در شرایط غلظت دی اکسید کربن کم، وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در مقایسه با گیاه کنجد افزایش نشان

داد. در رقابت نیز با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی، کانوپی کنجد بیشترشد. به طوریکه کنجد در رقابت بین گونه‌ای (با تاج خروس) نسبت به رقابت درون گونه‌ای موفق‌تر بودند.

تعداد و وزن کپسول در کنجد

تفاوت تعداد و وزن کپسول در کنجد در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲). بیشترین تعداد و وزن کپسول گیاه کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (به ترتیب برابر با ۷/۸ کپسول و ۰/۸۴ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (به ترتیب ۱/۵ کپسول و ۰/۲۵ گرم) بدست آمد (جدول ۱). اثر نوع رقابت بر تعداد و وزن کپسول گیاه کنجد معنی‌دار بود. به طوریکه تعداد و وزن کپسول کنجد در رقابت درون گونه‌ای نسبت به رقابت بین گونه‌ای کمتر بود (جدول ۱). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) نشان داد که بیشترین تعداد و وزن کپسول در گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون رقابت بین گونه‌ای (۱۰/۵ کپسول و ۱/۱ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت درون گونه‌ای (به ترتیب ۱/۵ کپسول و ۰/۲۳ گرم) بدست آمد (جدول ۱). کاهش تنفس نوری با افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب بهبود عملکرد کوانتومی، میزان فتوسنتز، رشد سریع‌تر و تولید ماده در گیاهان سه کربنه می‌شود (Kafi et al., 2002; Zavareh, 2005). با افزایش غلظت دی اکسید کربن در گیاهان سه کربنه، میزان دی اکسید کربن فضای بین سلولی برگ زیاد شده و نقطه جبرانی دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. که این امر موجب افزایش فتوسنتز به مقدار زیادی می‌شود (Wolf et al., 1998; Kafi et al., 2002). اهمیت تسریع در رشد رویشی، تولید اندام فتوسنتزکننده کافی برای حصول به حداکثر محصول و ایجاد گیاهی نسبتاً قوی برای تولید و حفظ عملکرد است. لذا چنانچه در هنگام تکمیل شدن رشد رویشی، گیاه برای انجام حداکثر فتوسنتز به اندازه کافی بزرگ شده باشد، تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام ذخیره‌ای افزایش یافته که منجر به افزایش تعداد و وزن میوه در گیاه می‌شود. بنابراین، با افزایش غلظت دی اکسید کربن و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی در گیاه کنجد و تخصیص بخشی از این مواد فتوسنتزی به میوه، تعداد و وزن کپسول زیاد شد. از طرفی بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن به علت کاهش فتوسنتز نوری سرعت انتقال موادافزایش می‌یابد و یا درصد بیشتری از مواد فتوسنتزی به کپسول‌ها منتقل می‌شود.

وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی تاج خروس

اگرچه اختلاف وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار نبود (جدول ۲)، ولی بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۰/۲۸ گرم) حاصل شد، ولی حداکثر وزن ۱۰۰۰ دانه در شاخه های فرعی در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۰/۳۲گرم) بدست آمد (جدول ۴). بنظر می‌رسد که به دلیل اینکه ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن از رشد و زیست توده بیشتری نسبت به غلظت های دیگر دی اکسید کربن برخوردار بود. لذا به علت تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه وزن ۱۰۰۰ دانه در ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون افزایش یافت، ولی با توجه به اینکه با افزایش غلظت دی اکسید کربن تعداد و وزن کل دانه کم شد، لذا تخصیص مواد به تعداد دانه کمتر باعث افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه در شاخه‌های فرعی گردید.

وزن دانه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی تاج خروس

اثر غلظت دی اکسید کربن بر وزن دانه در ساقه اصلی معنی‌دار بود (جدول ۲). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن وزن دانه در ساقه اصلی کاهش یافت. به طوریکه بیشترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۶۵ گرم) و کمترین وزن دانه در ساقه اصلی در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۴۰گرم) بدست آمد (جدول ۲). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه تاج خروس بر وزن دانه در ساقه اصلی معنی‌دار بود. حداکثر وزن دانه در ساقه اصلی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۷۱ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت درون گونه‌ای (۰/۳۲گرم) بدست آمد (جدول ۲). اختلاف غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن بر وزن دانه در شاخه‌های فرعی معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوریکه حداکثر آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۷/۴ گرم) و کمترین وزن دانه در شاخه‌های فرعی در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۲/۷ گرم) بدست آمد (جدول ۲). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه تاج خروس بر وزن دانه در شاخه‌های فرعی معنی‌دار بود، به طوریکه حداکثر وزن کل دانه در شاخه‌های فرعی در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۹/۷ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای (۱/۸۷ گرم) حاصل شد (جدول ۲). در این مطالعه با افزایش غلظت دی اکسید کربن طول دوره رشد (بخصوص دوره زایشی) گیاه تاج

خروس کاهش نشان داد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2007) نیز گزارش کردند که با افزایش غلظت دی اکسید کربن و در نتیجه افزایش درجه حرارت طول دوره رشد و شاخص برداشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و نخود (*Cicer arientinum* L.) کاهش یافت. از آنجا که سرعت فتوسنتز تابعی از درجه حرارت است، فتوسنتز تا رسیدن به یک حد مطلوب درجه حرارت افزایش می‌یابد و سپس به علت اثرات بازدارندگی درجه حرارت، فتوسنتز کاهش نشان می‌دهد. در غلظت بالای دی اکسید کربن، عرضه دی اکسید کربن در محل کربوکسیلاسیون زیاد می‌شود و افزایش درجه حرارت ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن، میل ترکیبی رابیسکو را با دی اکسید کربن کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، با افزایش درجه حرارت، تنفس نیز زیاد می‌شود (Kafi et al., 2002; Koocheki & Hosseini, 2007). لذا بنظر می‌رسد که افزایش درجه حرارت، یکی از عوامل مؤثر در کاهش طول دوره رشد است که منجر به کاهش ارتفاع، تعداد میانگره، فاصله میانگره، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، وزن خشک ساقه اصلی و شاخه‌های جانبی می‌شود. در نتیجه مواد تخصیص یافته به دانه کم شده که در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه در تک بوته می‌شود.

خصوصیات ریشه

سطح ریشه: اثر غلظت دی اکسید کربن بر سطح ریشه در تاج خروس و کنجد معنی‌دار بود (جدول ۴)، به طوری که حداکثر آن برای تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۶۸۰۳ سانتی‌متر مربع) و کمترین سطح ریشه غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۳۸۲۰ سانتی‌متر مربع) (جدول ۴)، ولی در کنجد حداکثر و حداقل سطح ریشه به ترتیب برای غلظت‌های ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۳۲۰۹ سانتی‌متر مربع) و ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱۳۱۸ سانتی‌متر مربع) بدست آمد (جدول ۳). سطح ریشه در شرایط رقابت نیز معنی‌دار بود. به طوری که در تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای (۶۷۴۸ سانتی متر مربع) و در رقابت بین گونه‌ای (۲۹۹۹ سانتی متر مربع) حاصل شد (جدول ۴) و برای کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۱۹۳۲ سانتی‌متر مربع) و در رقابت بین گونه‌ای (۲۲۶۴ سانتی متر مربع) بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت روی سطح ریشه معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴) که بیشترین سطح ریشه برای گیاه تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت درون گونه‌ای (۸۹۳۴ سانتی‌متر مربع) و کمترین سطح ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۱۷۸۹ سانتی‌متر مربع) حاصل شد. برای کنجد حداکثر سطح ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۴۰۷۴ سانتی‌متر مربع) حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۱۱۸۲ سانتی‌متر مربع) بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). افزایش غلظت دی اکسید کربن، باعث تولید بیشتر و سرعت توسعه ریشه در گیاه سه کربنه می‌شود (Griffin et Andalo et al., 1998; al., 1996). بنظر می‌رسد که از جمله اثرات ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، فتوسنتز در بخش‌های پایینی کانوپی گیاه است. به طوری که گیاه کنجد نیز با افزایش غلظت دی اکسید کربن از سرعت رشد بیشتر اندام هوایی و مکانیسم توسعه سطح ریشه در حجم خاک معین برخوردار بود، لذا در رقابت بین گونه‌ای بر تاج خروس فائق آمد و در رقابت درون گونه‌ای به علت نهاده‌های مشترک سطح ریشه کاهش نشان داد.

متوسط قطر ریشه: اختلاف غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن بر متوسط قطر ریشه در تاج خروس و گیاه کنجد معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴)، به طوری که حداکثر آن برای تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱/۲۱ میلی‌متر) و کمترین متوسط قطر ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۶۸ میلی‌متر) بود (جدول ۳)، ولی در گیاه کنجد حداکثر و حداقل متوسط قطر ریشه به ترتیب در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۷۶ میلی‌متر) و در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۵۶ میلی‌متر) بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت نشان داد (جدول‌های ۳ و ۴). که بیشترین متوسط قطر ریشه گیاه تاج خروس در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۱/۳۳ میلی‌متر) و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن در رقابت بین گونه‌ای (۰/۶۷ میلی‌متر) حاصل شد، ولی برای گیاه کنجد حداکثر متوسط قطر ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۸۸ میلی‌متر) حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۴۹ میلی‌متر) بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴).

مجموع طول ریشه: اختلاف غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن از نظر مجموع طول ریشه معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴). با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، مجموع طول ریشه گیاه کنجد افزایش یافت. حداکثر آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۴۱۵۱ سانتی‌متر) و حداقل مجموع طول ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۱۸۷۷ سانتی‌متر) بود، ولی در گیاه تاج خروس کاهش نشان داد، به طوری که بیشترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۶۰۰۳ سانتی‌متر) و کمترین مجموع طول ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۳۸۵۷ سانتی‌متر) بود (جدول‌های ۳ و ۴). اختلاف مجموع طول ریشه کنجد از نظر نوع رقابت در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود. مجموع طول ریشه گیاه کنجد در

رقابت درون گونه‌ای ۲۸۹۰ سانتی‌متر ودر رقابت بین گونه‌ای ۳۰۹۲ سانتی‌متر بدست آمد، ولی در گیاه تاج خروس مجموع طول ریشه در رقابت درون گونه‌ای ۶۹۱۸ سانتی‌متر و در رقابت بین گونه‌ای ۳۲۸۶ سانتی‌متر بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی سه کربنه (کنجد) و علف هرز چهار کربنه (تاج خروس) نشان داد که حداکثر مجموع طول ریشه گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۴۷۳۶ سانتی‌متر) و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت بین گونه‌ای (۱۶۷۵ سانتی‌متر) بدست آمد، ولی درگیاه تاج خروس بیشترین مجموع طول ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون و رقابت درون گونه‌ای (۸۱۰۵ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون رقابت بین گونه‌ای (۱۹۰۵ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴). افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث کمبود مواد غذایی در اطراف فعالیت رشد ریشه گیاه می‌شود. بنابراین در شرایط افزایش غلظت دی اکسید کربن واکنش گیاه به اضافه نمودن کود نیتروژن مثبت است (Sowerby et al. 2005; Lambers et al., 1997). بنظر می‌رسد که طویل شدن ریشه و افزایش عمق نفوذ ریشه حاکی از نیاز گیاه جهت جذب مواد غذایی خاک و تأمین رشد اندام هوایی می‌باشد. لذا ازدیاد غلظت دی اکسید کربن در گیاه کنجد باعث توسعه و نفوذ پذیری بیشتر ریشه در خاک شد و افزایش غلظت دی اکسید کربن همراه با درجه حرارت بالا باعث کاهش طول ریشه در تاج خروس گردید.

وزن خشک ریشه: تفاوت وزن خشک ریشه در غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴). بیشترین وزن خشک ریشه گیاه کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۰۹گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۱۰ گرم) بدست آمد. در صورتیکه در گیاه تاج خروس حداکثر وزن خشک ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۷۲ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۲۸ گرم) حاصل شد (جدول-های ۳ و ۴).

جدول ۳- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بر برخی خصوصیات ریشه کنجد

Table 3- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspicies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	نسبت اندام هوایی به ریشه Root/shoot ratio	حجم ریشه (متر مکعب) Root volume (m^3)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	مجموع طول ریشه (سانتی‌متر) Root length Total (cm)	قطر ریشه (سانتی‌متر) Root diameter (cm)	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) Root surface area (cm^2)
(T_1) 360	0.110	0.58	0.10	1877	0.65	1768
(T_2) 520	0.173	0.60	0.31	3095	0.76	1318
(T_3) 750	0.040	0.76	0.90	4151	0.56	3209
LSD (0.05)	0.07*	0.29	0.06	869	0.15	798
I_1	0.08	0.63	0.09	2890	0.66	1932
I_2	0.14	0.66	0.18	3092	0.65	2265
I_1T_1	0.133	0.58	0.08	2080	0.71	1453
I_1T_2	0.073	0.63	0.09	3026	0.64	1999
I_1T_3	0.030	0.67	0.10	3565	0.64	2344
I_2T_1	0.090	0.53	0.08	1675	0.58	1182
I_2T_2	0.273	0.50	0.12	3164	0.88	1537
I_2T_3	0.050	0.94	0.34	4736	0.49	4074
LSD (0.05)	0.09	0.41	0.08	1229	0.21	1128

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

جدول ٤- اثرات ساده و متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بر برخی خصوصیات ریشه گیاه تاج خروس در شرایط گلخانه

Table 4- The simple and interaction effects of CO_2 concentrations on intraspecies and interspicies competiton of sesame and amaranthus on some plant characteristics

غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) CO_2 concentration (ppm)	نسبت اندام هوایی به ریشه Root/shoot ratio	حجم ریشه (متر مکعب) Root volume (m^3)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	مجموع طول ریشه(سانتی‌متر) Root length Total (cm)	قطر ریشه(سانتی‌متر) Root diameter (cm)	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) Root surface area (cm^2)	وزن کل دانه در شاخه (گرم) Total seed weight of branch (g)	وزن ۱۰۰۰دانه (گرم) 1000 seed weights (g)
(T_1) 360	0.063	1.54	0.72	6003	1.21	6803	7.4	0.06
(T_2) 520	0.058	1.13	0.32	5445	0.97	3999	3.0	0.07
(T_3) 750	0.068	0.94	0.28	3857	0.68	3820	2.7	0.18
LSD (0.05)	0.039*	0.66	0.39	1166	0.36	2015	1.98	0.14
I_1	0.089	1.40	0.65	6918	1.02	6748	4.1	0.15
I_2	0.038	1.03	0.23	3286	0.89	2999	4.6	0.06
I_1T_1	0.10	1.75	0.99	8105	1.33	8934	5.1	0.05
I_1T_2	0.08	1.13	0.54	6840	1.02	5850	4.1	0.07
I_1T_3	0.09	1.25	0.41	5810	0.70	5460	3.2	0.32
I_2T_1	0.03	1.33	0.45	4052	1.10	4673	9.7	0.06
I_2T_2	0.04	1.00	0.11	3902	0.93	2537	2.2	0.07
I_2T_3	0.05	0.75	0.14	1905	0.67	1789	1.87	0.06
LSD (0.05)	0.06	0.63	0.55	1649	0.51	2850	2.2	0.19

T_1، T_2 و T_3: به ترتیب غلظت‌های دی اکسید کربن ۳۶۰، ۵۲۰ و ۷۵۰ قسمت در میلیون

T_1, T_2 and T_3: are CO_2 concentrations (360, 520 and 750 ppm), respectively.

I_1 و I_2: به ترتیب رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای

I_1 and I_2 are intraspecies sesame and interspecies sesame and amaranthus, respectively.

*میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

*Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly differet at α=0.05 by LSD test.

اختلاف وزن خشک ریشه گیاه کنجد از نظر نوع رقابت در غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن معنی‌دار بود، به طوری که وزن خشک ریشه کنجد در رقابت درون گونه‌ای (۰/۰۹گرم) و در رقابت بین گونه‌ای (۰/۱۸گرم) بود، ولی وزن خشک ریشه در گیاه تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۰/۶۵ گرم و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۲۳ گرم بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت گیاه زراعی (کنجد) علف هرز (تاج خروس) معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک ریشه در گیاه کنجد در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۳۴ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۰۹ گرم) بود، ولی در تاج خروس حداکثر وزن خشک ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۰/۹۹ گرم) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۱۱ گرم) بدست آمد (جدول‌های ۳ و ۴). زواره (Zavareh, 2006) گزارش کرد که افزایش غلظت دی اکسید کربن همراه با درجه حرارت بالا باعث وزن خشک بیشتر ریشه شد. سایر محققین (Andalo et al., 1998; Galavi, 2004; Lambers et al., 1996) اظهار داشتند که ازدیاد غلظت دی اکسید کربن طول و وزن خشک ریشه گیاه سه کربنه (مانند سویا) را نسبت به گیاه چهار کربنه (مانند تاج خروس) افزایش می‌دهد و تسریع در رشد اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای باعث رقابت موفق‌تر می‌گردد. بنظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی اکسید کربن فعالیت متابولیسمی گیاه زیاد شده و این باعث تولید بیشتر و افزایش وزن خشک ریشه می‌گردد.

حجم ریشه: با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن، حجم ریشه گیاه کنجد افزایش یافت. حداکثر آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۷۶ سانتی‌متر مکعب) و حداقل حجم ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۵۸ سانتی‌متر مکعب) بود، ولی در گیاه تاج خروس با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن حجم ریشه کاهش نشان داد. به طوری که بیشترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۱/۵۴ سانتی‌متر مکعب) و کمترین حجم ریشه در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن (۰/۹۴ سانتی‌متر مکعب) بود (جدول‌های ۳ و ۴). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت کنجد نشان داد که حداکثر حجم ریشه گیاه کنجد در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی

اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۹۴ سانتی‌متر مکعب) و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای (۰/۵۰ سانتی‌متر مکعب) بدست آمد، ولی درگیاه تاج خروس بیشترین حجم ریشه در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای (۱/۷۵ سانتی‌متر مکعب) و کمترین آن در تیمار غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن رقابت بین گونه‌ای (۰/۷۵ سانتی‌متر مکعب) حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴).

نسبت اندام هوایی به ریشه: اختلاف نسبت اندام هوایی به ریشه در غلظت‌های متفاوت دی اکسید کربن در گیاه کنجد معنی‌دار بود (جدول ۳). حداکثر و حداقل نسبت اندام هوایی به ریشه به ترتیب در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن با ۰/۱۷۳ و غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن با ۰/۰۴ بدست آمد (جدول ۳). نسبت اندام هوایی به ریشه در شرایط رقابت در هر دو گیاه معنی-دار بود. به طوری که در گیاه تاج خروس در رقابت درون گونه‌ای ۰/۰۸۹ و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۰۳۸ حاصل شد (جدول ۴). در گیاه کنجد در رقابت درون گونه‌ای ۰/۰۷۹ و در رقابت بین گونه‌ای ۰/۱۳۷ بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن و نوع رقابت از نظر نسبت اندام هوایی به ریشه در گیاه کنجد معنی‌دار بود. بیشترین نسبت برای غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون دی اکسید کربن و رقابت بین گونه‌ای با ۰/۲۷۳ و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون دی‌اکسید کربن و رقابت درون گونه‌ای با ۰/۰۳ حاصل شد (جدول ۳). با رشد ریشه جذب یون‌های غذایی از خاک بیشتر می‌شود و با تولید اندام هوایی انرژی موجود از طریق فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد (Kafi et al., 2002). از طرفی افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث تسریع در پیری ریشه شده به طوریکه رشد اندام هوایی بیشتر از رشد ریشه تحریک می‌شود (Read Morgan, 1996; Berntson & Bazzaz, 1996).

سرعت تعرق و فتوسنتز

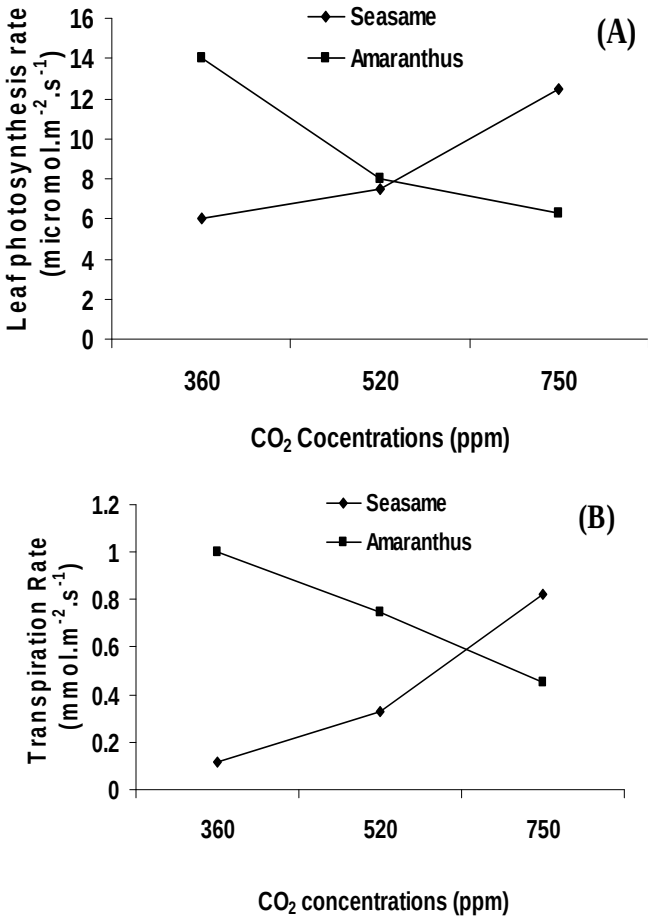
در کنجد و تاج خروس اثر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر میزان تعرق و فتوسنتز معنی‌دار بود (شکل ۱). در کنجد با افزایش غلظت دی اکسید کربن میزان تعرق و فتوسنتز زیاد شد. به طوریکه حداکثر میزان تعرق در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۰/۸ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) و حداقل آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۰/۱۲ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) حاصل شد. بیشترین میزان فتوسنتز در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۱۲ میکرومول بر متر مربع در ثانیه) و کمترین آن در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۶ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) بدست آمد (شکل ۱). از آنجا که با افزایش غلظت دی اکسید کربن تولید ماده خشک در گیاه کنجد زیاد شد (جدول ۱)، بنظر می‌رسد که راندمان تعرق و نسبت فتوسنتز به تعرق با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن بیشتر شده و شیب انتشار دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست تندتر می‌گردد، از طرفی میزان دی اکسید کربن فضای بین سلولی برگ زیاد شده و نقطه جبرانی دی اکسید کربن کاهش می‌یابد، در نتیجه میزان فتوسنتز و میزان تعرق افزایش یافت. البته میزان ازدیاد تعرق از میزان فتوسنتز کمتر بود (Kafi, 2002 ;Wolfe et al., 1998). در تاج خروس با ازدیاد غلظت دی اکسید کربن میزان تعرق و فتوسنتز کم شد، به طوریکه حداکثر میزان تعرق در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۰/۹۸میلی مول بر متر مربع در ثانیه) و حداقل آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۰/۴۰میلی مول بر متر مربع در ثانیه) بدست آمد. بیشترین میزان فتوسنتز در غلظت ۳۶۰ قسمت در میلیون (۱۴میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) و کمترین آن در غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون (۶/۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) بود (شکل ۱). از آنجا که گیاهان چهار کربنه (تاج خروس) نسبت تعرق بیشتری نسبت به گیاه سه کربنه دارند، یعنی برای تثبیت یک مول دی اکسید کربن میزان آب کمتری از دست می‌دهند، لذا به علت شیب انتشار ملایم دی اکسید کربن از سطح برگ به کلروپلاست، افزایش غلظت دی اکسید کربن تغییر قابل ملاحظه‌ای در تولید ماده خشک ایجاد کرد. از طرفی چون با افزایش دی اکسید کربن و درجه حرارت، روزنه‌های گیاه بسته می-شود، لذا میزان ورود دی اکسید کربن و خروج بخار آب کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن از نظر صفات مورد اندازه‌گیری نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن در کنجد منجر به افزایش طول دوره رشد، ازدیاد زیست توده اندام هوایی و ریشه و حصول مطلوب شاخص‌های رشد شد، ولی در گیاه تاج خروس صفات مورد مطالعه کاهش یافت. لذا می‌توان چنین اظهار داشت که گونه‌های سه کربنه از نظر تکاملی در شرایط غلظت بالای دی اکسید کربن و گونه‌های چهار کربنه در شرایط غلظت کمتر تکامل یافته‌اند.

سپاسگزاری

بدون شک انجام این تحقیق بدون حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی (طرح شماره ۵۷) میسر نمی‌گردید، بدین وسیله از همکاری آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌گردد.



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن بر میزان (الف) فتوسنتز و (ب) تعرق دو گیاه کنجد و تاج خروس

Fig. 1- Effect of CO_2 concentration on (A) photosynthesis and (B) transpiration rate of two plants (sesame and amaranthus**)**

منابع

1- Aidar, M.P.M., Martinez, C.A., Costa, A.C., Costa, P.M.F., Dietrich, S.M.C., and Buckeridge, M.S. 2002. Effect of atmospheric CO_2 enrichment on the establishment of seedlings of jotoba, *Hymenaea courbaril* L. Biota Neotropica 2: 1-10.

2- Andalo, C.H., Rraquin, C.H., Machon, N., Godelle, B., and Mousseau, M. 1998. Direct and maternal effects of elevated CO_2 on early root growth of germination *Arabidopsis thaliana* seedling. Annals of Botany 81: 405-411.

3- Berntson, G.M., and Bazzaz, F.A. 1996. Belowground positive and negative feedbacks on CO_2 growth enrichment. Plant and Soil 187: 119-131.

4- Booker, F.L., Miller, J.E., Pursley, W.A., and Stefanski, L.A. 2005. Comparative responses of container versus ground- grown soybean to elevated carbon dioxide and ozone. Crop Science 45: 883-895.

5- Burkart, S., Manderscheid, R., and Weigel, H.J. 2004. Interactive effects of elevated atmospheric CO_2 concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat. European Jornal of Agronomy 21: 401-417.

6- Chen, D.X., Hunt, H.W., and Morgan, J.A. 1996. Responses of a C_3 and C_4 perennial grass to CO_2 enrichment and climate change: comparison between model predictions and experimental data. Ecological Modeling 87: 11-27.

7- Cosins,A.B., Adam, N.R., Wall, G.W., Kimball, B.A., PinterJr, P.J., Leavit, S.W., Lamorte, R.L., Matthias, A.D., Ottman, M.J., Thompson, T.L., and Webber, A.N. 2001. Reduced photorespiration and increased energy-use efficiency in young CO_2 enriched sorghum leaves. New Phytologist 150: 275-284.

8- Fritschi, F.B., Boote, K.J., Sollenberger, L.E., Allen, Jr. L.H., and Sinclair, T.R. 1999. Carbon dioxide and temperature effects on forage establishment: photosynthesis and biomass production. Global Change Biology 5: 441-453.
9- Galavi, M. 2004. The effect of soybean cultivars and redroot pigweed (*Amaranthus*) inter and intraspecific competition on physiomorphological characteristics, yield components and canopy stracture. PhD Thesis from Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
10- Ghorbani, R., Rashed Mohassel, M.H., Hosseini, S.A., Mousavi, S.K., and Haj-Mohammadnia Ghalibaf, K. 2009. Sastainable Weed Management. Ferdowi University of Mashhad Publication, Iran 924 pp. (In Persian with English Summary)
11- Griffin, K.L., Bashkin, M.A., Thomas, R.B. and Strain, B.R. 1997. Interactive effects of soil nitrogen and atmospheric carbon dioxide on root/rhizosphere carbon dioxide efflux from loblolly and ponderosa pine seedlings. Plant and Soil 190: 11-18.
12- Idso, S.B., Kimball, B.A., Pettit, G.R., Garner, L.C., Pettit, G.R., and Backhaus, R.A. 2000. Effects of atmospheric CO_2 enrichment on the growth and development of *Hymenocallis littoralis* (Amaryllidaceae) and the concentrations of several antineoplastic and antiviral constituentsof its bulbs. American Journal of Botany 87: 769-773.
13- Kafi, M., Lahootee, M., Zand, E., Shareefee, H.R., and Goldani, M. 2000. Plant Physiology. Jihadeh Daneshgahi Press. 456 pp. (In Persian with English Sumury)
14- Koocheki, A., and Hosseini, M. 2006. Climate Change and Global Crop Prodactivity. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Iran p. 90-93.
15- Koocheki, A., Soltani, A., Sharifi, H.R., and Kamali, G.A. 2001. Effects of climate changing on growth, development and yield of irrigated and rainfed chickpea and sunflower in Tabriz. Jurnal Agriculture Science and Tecnology15: 164-179.
16- Lambers, H., Stulen, I., and Werf, A. 1996. Carbon use in root respiration as affected by elevated atmospheric CO_2. Plant and Soil 187: 251-263.
17- Pritchard, S.G., Prior, S.A., Rogers, H.H., Davis, M.A., Runion, G.B., and Popham, T.W. 2006. Effects of elevated atmospheric CO_2 on root dynamics and productivity of sorghum grown under conventional and conservation agricultural management practices. Agriculture, Ecosystems and Environment 1113: 175-183.
18- Raoofi, M.R. 2008. Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. M.Sc. Thesis from Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Sumury)
19- Read, J.J., and Morgan, J.A. 1996. Growth and partitioning in *Pascopyrum smithii* (C_3) and *Bouteloua gracilis* (C_4) influenced by carbon dioxide and tempreture. Annals of Botany 77: 487-496.
20- Sherwood, K., and Idso, C. 2004. Plant micronutrient concentratins in a CO_2 – enriched world. Available at www. CO_2 science.org/scripts/ CO_2 science B_2c/Subject/n/nutrition.jsp.
21- Sowerby, A., Herbert, B., and Andrew, S. 2005. Elevated atmospheric CO_2 affects the turnover of nitrogen in European grassland. Soil Ecology 28: 37-46.
22- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggad, K. 2004. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. https://uhra.herts.ac.uk/dspace/handle/2299/3045.
23- Wolf, D.W., Gifford, R.M., Hilbert, D., and Luos, Y. 1998. Integration of photosynthetic acclimation to CO_2 at the whole-plant level. Global Change Biology 4: 879-893.
24- Zavareh, M. 2005.Modeling sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and development. PhD Thesis from Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran. (In Persian with English Sumury)
25- Ziska, L.H., Teasdale, J.R., and Bunce, J.A. 1999. Future atmospheric carbon dioxide may increase tolerance to glyphosate. Weed Science 47: 608-615.