تأثیر دی‌اکسید کربن بر صفات مورفوفیزیولوژیک دو گونه فیکوس زینتی (*Ficus benjamina* و *Ficus elastica*) در شرایط گلخانه

ناهید زمردی[۱*]، محمود شور[۱]، علی تهرانی‌فر[۱] و مرتضی گلدانی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۲)

چکیده

غنی‌سازی دی‌اکسید کربن در گلخانه‌ها می‌تواند به عنوان راهکاری برای کاهش زمان تولید، افزایش رشد و همچنین افزایش کیفیت گیاه باشد. به منظور ارزیابی اثر غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن بر برخی صفات رشدی دو گونه فیکوس زینتی شامل *Ficus benjamina* و *Ficus elastica*، یک آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شد. تیمارها شامل دو گونه فیکوس زینتی (فیکوس بنجامینا و فیکوس الاستیکا) و سه غلظت دی‌اکسید کربن (۳۸۰ (شاهد)، ۷۰۰ و ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر، تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمال ۵٪ و نسبت ریشه به اندام هوایی، وزن تر اندام هوایی و ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر متقابل بین گونه‌های فیکوس و غلظت دی‌اکسید کربن بر هیچیک از صفات معنی‌دار نشد. بنا بر نتایج فوق، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در بهبود صفات مورفوفیزیولوژیک این دو گونه فیکوس زینتی مؤثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: غنی‌سازی دی‌اکسید کربن، صفات فیزیولوژیک، صفات مورفولوژیک

مقدمه

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، یکی از تغییرات تثبیت شده اقلیم در مقیاس جهانی در نیم قرن گذشته است. غلظت دی‌اکسید کربن از شروع انقلاب صنعتی در حال افزایش است و انتظار می‌رود که تا اواسط قرن فعلی به دو برابر میزان آن در پیش از انقلاب صنعتی افزایش یابد (۲۴). تحقیقات بسیار زیادی به منظور شناخت نحوه واکنش گیاهان در هر دو اکوسیستم طبیعی و تحت مدیریت به افزایش دی‌اکسید کربن صورت گرفته است. اثرهای اولیه افزایش دی‌اکسید کربن بر گیاهان شامل کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق، افزایش راندمان مصرف آب، سرعت فتوسنتز و راندمان مصرف نور بیشتر است (۹). افزایش دی‌اکسید کربن باعث افزایش سرعت کربوکسیلاسیون رابیسکو و در کنار آن کاهش اکسیژناسیون رابیسکو می‌شود (۹).

تغییر در غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر به طور وسیعی در بسیاری از مطالعات مورد ارزیابی قرار گرفته است (۴). تأمین دی‌اکسید کربن کافی در گلخانه‌ها منجر به افزایش رشد، عملکرد و کیفیت بسیار زیاد محصولات باغبانی شده است (۱۰ و ۲۳). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش فتوسنتز خالص در

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Zomorrodi67@gmail.com

گیاهان گلدانی، گل‌های بریده و سبزی‌ها خواهد شد (٦). اساساً در شرایط افزایش دی‌اکسید کربن، تولید بیوماس افزایش می‌یابد (۱۵ و ۱۹)؛ اگرچه با توجه به فصل رشد و شرایط آزمایش، واکنش گیاهان به این حالت ممکن است متفاوت باشد. از جمله نتایج به‌دست آمده از افزایش دی‌اکسید کربن می‌توان به تولید گیاهان با ارتفاع بیشتر و ساقه‌های قطورتر، افزایش تعداد برگ و شاخه‌دهی بیشتر اشاره کرد (۱۴).

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش ارتفاع، تعداد غلاف و بیوماس اندام هوایی در گیاهان گلدانی و همچنین در شرایط مزرعه‌ای می‌شود (۵).

چنگ و همکاران (٦)، نشان دادند که غلظت ٦۸۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن همراه با دمای شبانه ۳۲ درجه سلسیوس باعث افزایش وزن خشک و عملکرد برنج می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به میزان ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش تولید گل‌های زینتی رعنا زیبا، جعفری و ابری شد (۲). همچنین، افزایش دی‌اکسید کربن منجر به افزایش عملکرد در برخی ارقام رز، کالانکوا (۲۵)، گوجه‌فرنگی (۲۷)، گل استکانی و بنفشه آفریقایی (۲۰) شده است. تحقیق روی هندوانه نیز نشان داد که غلظت ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن باعث افزایش رشد برگ‌ها، محتویات سبزینه برگ‌ها و عملکرد شد (۲۰).

نتایج آزمایش روی پنج رقم آلسترومریا (Alestromeria) نیز نشان داد که غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن باعث افزایش تعداد ساقه‌های گل‌دهنده و کیفیت گل‌های این گیاه گردید (١٦).

در مطالعه‌ای، محققین با بررسی اثر دی‌اکسیدکربن بر مشخصات مورفولوژیک و رشد سه گونه از خانواده بروملیاسه مشاهده کردند که افزایش دی‌اکسید کربن منجر به اثرهای مغایری روی ارزش زینتی آنها می‌شود. برگ‌های گیاهانی که در معرض دی‌اکسید کربن زیاد رشد کرده بودند، رنگ سبز کمرنگ یا رنگ پریده‌ای را نشان دادند، که به علت نصف شدن مقدار کل کلروفیل بود. همچنین، نسبت‌های اندازه‌گیری شده بین طول و عرض برگ تغییر کرد و باعث فشرده شدن بیشتر شکل گیاه گردید (۷).

در یک مطالعه، سه رقم از گیاه بنفشه آفریقایی و داودی تحت تأثیر دی‌اکسید کربن با غلظت‌های ۳۳۵ (به عنوان شاهد) و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند. با افزایش دی‌اکسید کربن از ۳۳۵ به ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، افزایش وزن خشک همراه با برگ‌های بیشتر و بزرگتر در بنفشه آفریقایی و ایجاد ساقه ضخیم‌تر و طویل‌تر در شاخه‌های جانبی داودی مشاهده شد. زمان گل‌دهی به‌طور معنی‌داری با افزایش دی‌اکسید کربن در بنفشه آفریقایی کاهش یافت؛ اما در داودی، تغییری مشاهده نشد. تعداد گل‌ها و جوانه‌های گل با کاربرد دی‌اکسید کربن در هر دو گونه افزایش یافت (۲۱). ازدیاد غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۳۰ به ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌داری در وزن خشک گیاه بگونیا گردید؛ ضمن اینکه متوسط رشد رویشی را به ١٦٪ افزایش داد و گل‌دهی در این گیاه ۷ روز زودتر شروع شد (٢٦). در آزمایشی دیگر، افزایش دی‌اکسید کربن تا غلظت ۸۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۲۳٪ عملکرد پیاز و ۸٪ هویج، نسبت به گیاهان شاهد، شد. در همین آزمایش، وزن خشک در کاهو به میزان ۱۸٪، در کرفس ۱۷٪ و در هویج ۱۹٪ افزایش یافت (۲۴).

انجام این پژوهش به منظور مطالعه صفات مورفوفیزیولوژیک قلمه‌های دو گونه فیکوس زینتی تحت شرایط غلظت‌های زیاد دی‌اکسید کربن صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در اواخر سال ۱۳۹۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، در قالب آزمایش کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه غلظت دی‌اکسید کربن (۳۸۰ (شاهد)، ۷۰۰ و ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان کرت اصلی و دو گونه فیکوس زینتی (فیکوس بنجامین و فیکوس الاستیکا) به عنوان کرت فرعی بود. برای تنظیم دی‌اکسید کربن با غلظت‌های مورد نظر، از یک سیستم کاملاً خودکار استفاده

گردید. یک فتوسل دستور روشن و خاموش شدن را به ترتیب در روز و شب انجام می‌داد و با استفاده از کپسول‌های ۵۰ کیلویی دی‌اکسید کربن و شیرهای برقی و تایمرهایی که در مسیر قرار داده شده بودند تزریق گاز صورت می‌گرفت. با استفاده از CO_2 متر پرتابل، غلظت دی‌اکسید کربن در طول روز اندازه‌گیری شد. ابتدا قلمه‌ها به مدت ۸ هفته در داخل جعبه‌های حاوی ماسه شسته و ضدعفونی شده با قارچ‌کش کاربندازیم جهت ریشه‌زایی قرار گرفتند و بعد از ریشه‌زایی به بسترهای کشت حاوی خاک زراعی: ماسه: خاک‌برگ به نسبت ۲:۱:۲ منتقل شده و به مدت ۱۶ هفته تحت تأثیر غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن قرار گرفتند. متوسط دمای روزانه ۲۵ و متوسط دمای شبانه ۱۸ درجه سلسیوس برای کلیه تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. فتوپریود، با توجه به زمان آزمایش، ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. رطوبت نسبی به طور متوسط حدود ۶۵٪ اندازه‌گیری و در طول آزمایش ثبت شد.

اندازه‌گیری‌ها

جهت اندازه‌گیری تعداد برگ‌ها پس از پایان ۱۶ هفته، تعداد کل برگ‌های موجود در هر تکرار محاسبه و میانگین آنها در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سطح برگ-سنج (مدل Licow) استفاده شد و مقادیر برحسب سانتی‌متر مربع گزارش شد. به منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی، قلمه‌ها از ناحیه طوقه قطع و ابتدا وزن تر اندام هوایی اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک بخش هوایی نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند و سپس با ترازوی دیجیتال مدل GF-300 با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. عدد SPAD برای هرتیمار توسط دستگاه SPAD مدل ۵۰۲ قرائت شد. جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای از دستگاه Leaf porometer استفاده گردید. ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش تعیین شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، برگ تازه گیاه به میزان ۰/۲ گرم کاملاً خرد و داخل هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶٪ ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآید (عمل ساییدن و له کردن در محیط خنک و در نور کم انجام شد). مخلوط حاصل از کاغذ صافی عبور داده شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. میزان جذب نور توسط عصاره‌ها در طول موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Bio Quest، CE 2502، UK قرائت گردید. در نهایت، براساس روابط زیر، غلظت کلروفیل a، b و کل محاسبه شد:

$$Chla(\mu g/ml) = 15.65A_{666} - 7.34A_{653} \quad [۱]$$

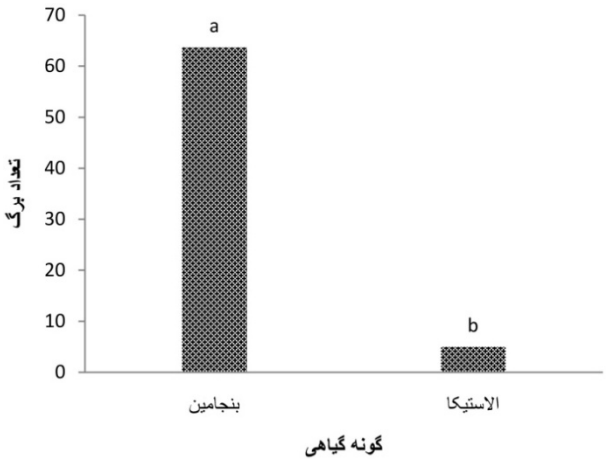
$$Chlb(\mu g/ml) = 27.05A_{653} - 11.21A_{666} \quad [۲]$$

$$Chl_{(total)}(\mu g/ml) = Chla + Chlb \quad [۳]$$

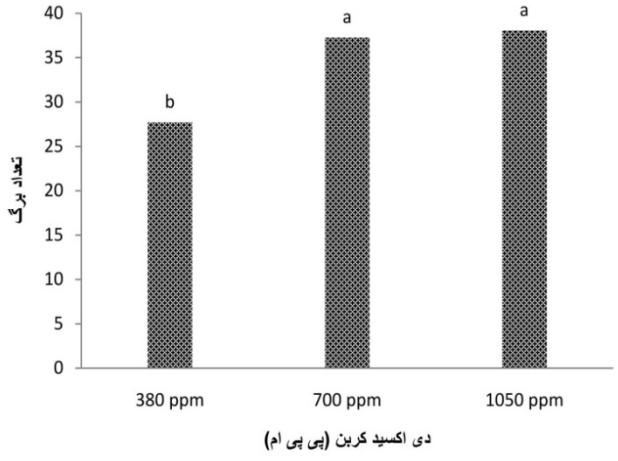
آنالیز آماری داده‌های این پژوهش توسط نرم‌افزار Jmp8 و کلیه مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده صفت تعداد برگ‌ها در گونه‌های گیاهی مورد آزمایش در سطح احتمال ۵٪ و در غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود، ولی برهمکنش آنها اثر معنی‌داری بر صفت مورد نظر نداشت (جدول ۱). بر این اساس، گونه فیکوس بنجامین با میانگین ۶۳/۶۶۶ برگ نسبت به گونه فیکوس الاستیکا برتری نشان داد (شکل ۱). همچنین، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، بر تعداد برگ‌ها افزوده شد. بررسی اثر ساده سطوح متفاوت دی‌اکسید کربن نشان داد که با افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر (شاهد) به ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر، تعداد برگ ۳۴/۵۵ درصد افزایش یافت (شکل ۲). نتایج نشان داد که صفت میزان سبزینگی (SPAD) تنها در بین گونه‌های گیاهی مورد آزمایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بین غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن و برهمکنش آن با گونه گیاهی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). در بین گونه‌های گیاهی، گونه فیکوس الاستیکا با میانگین ۶۰/۶۲۷ میزان سبزینگی بیشتری را نسبت به گونه فیکوس بنجامین با میانگین ۴۸/۷۸۳ داشت (جدول ۲).



شکل ۱. اثر گونه گیاهی بر تعداد برگ گیاه فیکوس



شکل ۲. اثر غلظت دی‌اکسید کربن بر تعداد برگ گیاه فیکوس

صفت سطح کل برگ‌ها در تیمار غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن معنی‌دار شد ($P\leq 0.05$)، ولی در بین گونه‌های گیاهی و برهمکنش آن با غلظت دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). به این ترتیب، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سطح برگ از ۳۶۶/۲۷۳ سانتی‌متر مربع در تیمار شاهد به ۵۱۹/۳۶۵ سانتی‌متر مربع رسید. اگرچه بین سطوح دی‌اکسید کربن در دو سطح ۷۰۰ و ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما نتایج حاکی از کاهش جزئی سطح برگ در تیمار ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس برای صفت نسبت ریشه به اندام هوایی نشان داد که اثر ساده گونه و دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). بر این اساس، گونه گیاهی فیکوس بنجامین با میانگین ۰/۱۱۴، نسبت ریشه به اندام هوایی بیشتری در مقایسه با گونه فیکوس الاستیکا داشت. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، نسبت ریشه به اندام هوایی افزوده شد (جدول ۲).

نتایج مربوط به وزن تر اندام هوایی نشان داد که اثر ساده گونه و غلظت‌های متفاوت دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل گونه و دی‌اکسید کربن معنی‌دار نبود (جدول ۱). بر این اساس، گونه فیکوس الاستیکا نسبت به فیکوس بنجامین با میانگین وزن تر ۴۸/۰۰۵ گرم در هر بوته برتری نشان داد (جدول ۲). از نظر وزن تر اندام هوائی، بین غلظت‌های زیاد دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها نسب به شاهد معنی‌دار بودند. ولی غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن بیشترین تأثیر را داشت، به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت دی-اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر، وزن تر اندام هوایی ۳۸/۵۷ درصد افزایش یافت (جدول ۲).

صفت وزن خشک اندام هوایی فقط تحت تأثیر گونه‌های مورد آزمایش قرار گرفت. بین غلظت‌های متفاوت دی‌اکسید کربن و برهمکنش آن با گونه‌های گیاهی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). بر این اساس، بین دوگونه فیکوس، گونه الاستیکا (با میانگین وزن خشک ۹/۴۱۵ گرم در هر بوته) نسبت به گونه بنجامین (با میانگین وزن خشک ۶/۰۵۳ گرم در بوته) وزن خشک اندام هوایی بیشتری داشت (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفت ارتفاع گیاه، تفاوت معنی‌داری را بین گونه‌های گیاهی مورد آزمایش و غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (جدول ۱). بر این اساس، گونه فیکوس بنجامین با میانگین ۴۸/۲۲۹ سانتی‌متر نسبت به فیکوس الاستیکا ارتفاع بیشتری داشت (شکل ۳). همچنین، بین تیمارهای با غلظت‌های زیاد دی‌اکسید کربن از نظر ارتفاع گیاه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی این دو مقدار نسبت به میانگین شاهد معنی‌دار بودند. در این بین، غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین تأثیر را بر ارتفاع گیاه داشت و با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، ارتفاع گیاه کم شد (شکل ۴).

جدول ۱. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در دو گونه فیکوس زینتی

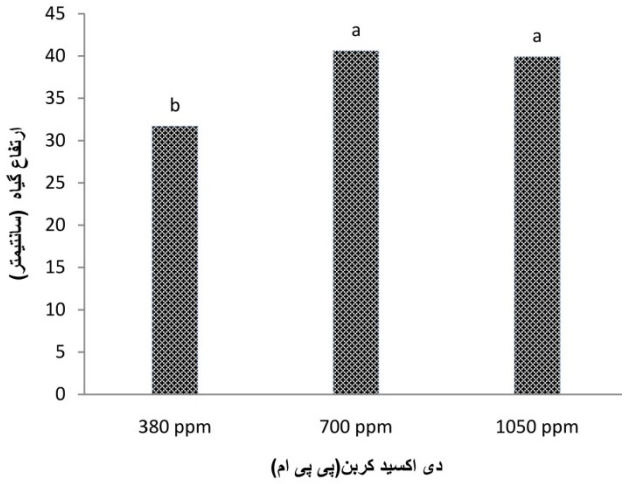
تیمارها	درجه آزادی	تعداد برگ	SPAD	هدایت روزنه‌ای	کلروفیل کل	سطح برگ	نسبت ریشه به اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	ارتفاع گیاه
دی‌اکسید کربن	۲	۱۹۹/۴۴۳*	۳۳/۹۷۷ ns	۳۲/۲۰۳ ns	۵/۵۲۸ns	۴۴۹۴۶/۴۸۹*	۰/۰۰۶ **	۱۲/۹۸۱ ns	۴۷۴/۸۳۵**	۱۴۷/۵۳۱**
خطای کرت اصلی	٦	۳۰/۴۴۰	۵۹/۷۳۲	۳۲/۸۴۹	۳/۴۶۶	۸۴۰۰/۸۸۰	۰/۰۰۰	۳/۴۶۲	۵۶/۰۷۹	۱۳/۴۷۲
گونه	۱	۱۵۴۹٦.۸۰**	۶۳۱/۱۹۰ **	۱۳/۴۶۸ ns	۳/۳۸۰ns	۸۶۱/۲۶۳ns	۰/۰۱۳ **	۵۰/۸۷۰ *	۳۱۲۳/۶۶۰**	۲۱۱۳/۵۸۳**
گونه × دی‌اکسیدکربن	۲	۱۱۳/۸۳۰ ns	۱۳۰/۶۶۰ ns	۶/۵۵۲ns	۱/۵۴۰ns	۱۳۵۲۷/۸۳۳ ns	۰/۰۰۰ ns	۲/۲۵۰ ns	۲۱۸/۰۲۱ns	۰/۰۰۲ns
خطای کرت فرعی	٦	۲۵.۸	۳۶/۲۲۶	۲۰.۸۸۸	۲/۵۹۹	۸۴۵۴/۸۰۰	۰/۰۰۰	۴/۰۲۸	۷۳/۸۵۴	۴/۸۸۱

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال خطای ۱٪ و ۵٪ و عدم اختلاف معنی‌دار

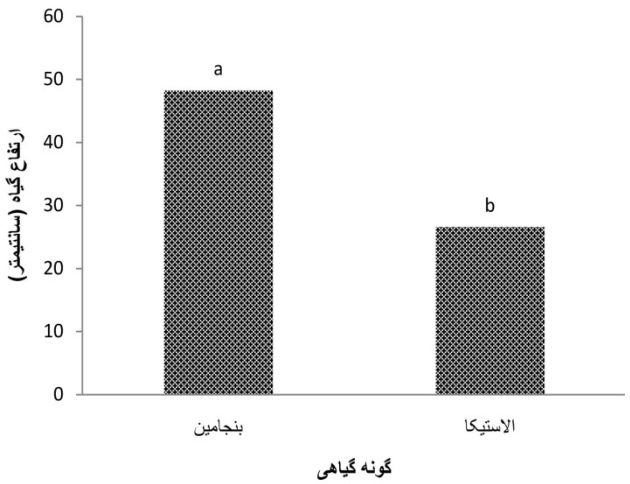
جدول ۲. مقایسه میانگین اثر ساده صفات اندازه‌گیری شده دو گونه فیکوس زینتی

تیمارها	SPAD	نسبت ریشه به اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن تر اندام هوایی (g/plant)	سطح برگ (cm^2)
گونه					
بنجامین	۴۸/۷۸۳ b	۰/۱۱۴ a	۶/۰۵۳ b	۲۱/۶۵۹ b	-
الاستیکا	۶۰/۶۲۷ a	۰/۰۶۱ b	۹/۴۱۵ a	۴۸/۰۰۵ a	-
CO_2					
۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر	-	۰/۰۵۲ b	-	۲۴/۵۶۰ b	۳۶۶/۲۷۳ b
۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر	–	۰/۱۰۰ a	-	۳۹/۹۸۶ a	۵۱۹/۳۶۵ a
۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر	-	۰/۱۱۲ a	-	۳۹/۹۵۰ a	۵۱۲/۷۸۶ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند از نظر آماری مطابق آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۳. اثر دی‌اکسید کربن بر ارتفاع گیاه فیکوس



شکل ۴. اثر گونه گیاهی بر ارتفاع گیاه فیکوس

بحث

پاندی و همکاران (۲۸) گزارش نمودند هنگامی که ارقام رز تحت تأثیر دی‌اکسید کربن با غلظت زیاد قرار می‌گیرند، تقسیمات مریستمی و تمایز در مراحل اولیه رشد برگ القا می‌شود. همچنین، آنها بیان کردند که هنگامی که گیاهان تحت شرایط دی‌اکسید کربن زیاد قرار می‌گیرند افزایش معنی‌داری در تراکم روزنه‌ها به‌وجود می‌آید که نتیجه آن افزایش تقسیم سلولی، افزایش حجم سلولی و در نتیجه تعداد برگ‌ها می‌باشد که از نتایج این تحقیق حمایت می‌کند.

همچنین، می‌توان اینگونه بیان کرد که از آنجا که یک رابطه مثبت بین افزایش سرعت رشد گیاهان با زمان ظهور و توسعه برگ‌های آنها وجود دارد، به‌نظر می‌رسد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از طریق افزایش سرعت رشد گونه‌های مورد بررسی منجر به افزایش تعداد برگ‌های آنها شود (۱۱). مورتنسن و مو (۲۵) نیز نشان دادند که طول شاخه و تعداد برگ‌ها با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. همچنین، در بگونیا، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۳۰ به ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، وزن خشک، تعداد برگ‌ها و گل‌ها را به طور معنی‌داری افزایش داد (۲۶). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از میزان ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میکرومول بر لیتر در گل‌های افوربیا، بگونیا و افلاندرا تعداد برگ را ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش داد (۲۱). همچنین، در گیاهان چهارکربنه ذرت، سورگوم و نیشکر گزارش شده که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا دو برابر میزان فعلی باعث افزایش سطح برگ می‌شود. این در حالی است که درنر و همکاران (۸) گزارش نمودند که در گیاه سورگوم، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا دو برابر میزان فعلی تأثیری در افزایش ارتفاع و سطح برگ گیاه ندارد. از آنجا که سطح برگ یک عامل مؤثر در میزان جذب نور و افزایش تولید می‌باشد، سطح برگ زیاد از طریق جذب بیشتر نور، فتوسنتز بیشتر را به همراه داشته و در نهایت باعث افزایش تولید ماده خشک گونه‌های مورد بررسی می‌شود. در یک آزمایش، محققین گزارش کردند که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر، سطح برگ گیاه *Guzmania hilda*، ۳۴٪ افزایش یافت (۷). جذب بیشتر دی‌اکسید کربن توسط گونه‌های مورد بررسی از طریق افزایش میزان فتوسنتز منجر به تولید بیشتر ترکیبات فتوسنتزی و بنابراین تجمع ماده خشک تک بوته شد. محققین دیگر نیز افزایش تجمع ماده خشک را در برنج (۳۰) و سویا (۱۱) به علت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن گزارش کردند، که از نتایج این تحقیق حمایت می‌کند. در مطالعه‌ای دیگر، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۳۵ میلی‌گرم در لیتر (شاهد) به ۸۰۰–۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر در پیاز و هویج (به ترتیب ۲۳ و ۸

درصد) شد؛ همچنین، وزن خشک کاهو، هویج و جعفری نیز به ترتیب ۱۸، ۱۹ و ۱۷ درصد افزایش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (۲۴).

افزایش دی‌اکسید کربن محیط تا دو برابر، وزن خشک گیاه *Amaranthus Hypochondriacus* و سطح برگ هر بوته را افزایش داد (۳۱). در گیاه کالانکوئه، کاربرد غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن سبب افزایش وزن خشک گیاه گردید.

همچنین، مورتنسن (۲۲) نشان داد که کاربرد دی‌اکسید کربن در غلظت‌های ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۲۷ تا ۶۰ درصدی وزن خشک قلمه‌های گیاه داوودی گردید که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. وی همچنین نشان داد که طول شاخه و تعداد برگ‌ها با غنی سازی دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. در طالبی، افزایش دی‌اکسید کربن تا ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، تأثیر معنی‌داری بر وزن تر اندام هوایی و ارتفاع ساقه گیاهانی که تحت تیمار شوری قرار گرفته بودند داشت و منجر به افزایش میانگین مقادیر صفات فوق گردید (۲۰). صالحی (۳) بیان کرد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، ارتفاع گیاه در گیاه گندم ۱۵٪ افزایش یافت که نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند.

نتایج آزمایش روی گل‌های جعفری، رعنا زیبا و ابری نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، صرف‌نظر از نوع گونه‌های مورد بررسی، سطح برگ تک بوته به طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که کمترین سطح برگ (۶۵/۵۵ سانتی‌متر مربع) در غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین آن (۱۷۶/۱۷ سانتی‌متر مربع) در غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن حاصل گردید. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۵۰ به ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش ۶۱/۱٪ سطح برگ شد. اما افزایش بیشتر دی‌اکسید کربن، سطح برگ را کاهش داد؛ اگرچه این کاهش معنی‌دار نبود، که نتایج مطالعه حاضر را تأیید می‌کند (۱).

در یک مطالعه، سه رقم از گیاهان بنفشه آفریقایی و داوودی تحت دی‌اکسید کربن با غلظت ۳۳۵ (شاهد) و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، افزایش وزن خشک همراه با برگ‌های بیشتر و بزرگتر در بنفشه آفریقایی و داوودی و ایجاد ساقه ضخیم‌تر و طویل‌تر در شاخه-های جانبی داوودی مشاهده گردید که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (۲۰). همچنین، در تحقیق دیگری، کاربرد ۶۸۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن در گیاه برنج باعث افزایش وزن خشک و عملکرد آن شد (۹). هانت و همکاران (۱۲) بیان نمودند که تغییرات نسبت ریشه به اندام هوایی در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بسیار متفاوت است، به‌طوری که دامنه‌ای از افزایش، کاهش تا عدم تغییر را شامل می‌شود. رید و مورگان (۲۹)، گزارش نمودند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، رشد رویشی اندام هوایی را بیشتر از رشد ریشه (اندام زیرزمینی) تحریک می‌کند که موجب کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌شود، که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد. نتایج آزمایش‌های ایشیزاکی و همکاران (۱۳) نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، وزن خشک کل گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد و این افزایش دی‌اکسید کربن در غلظت‌های زیاد نیتروژن بیشتر است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب افزایش اندام خشک هوایی می‌گردد؛ اما بر میزان ماده خشک ریشه بی‌تأثیر است. مطالعات انجام شده روی گندم نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند باعث افزایش یا کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی گردد که این امر به مقدار بهینه یا نامحدود مواد غذایی بستگی دارد (۳۱).

عدد SPAD نشان دهنده سبزی برگ است. هر چه این عدد بزرگتر باشد، رنگ برگ به علت محتوای کلروفیل بیشتر، تیره‌تر شده و جذب نور نیز می‌تواند بیشتر شود. از آنجا که یک رابطه مثبت بین محتوای کلروفیل و جذب نور و میزان فتوسنتز در گیاهان وجود دارد (۷)، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، گیاه برای اینکه بتواند دی‌اکسید کربن جذب شده را به ماده خشک تبدیل کند، به انرژی نورانی (NADPH و ATP) بیشتری نیازمند است. بنابراین، افزایش غلظت کلروفیل منجر به جذب نور بیشتر و تولید انرژی بیشتر

می‌شود. در آزمایش حاضر، میزان سبزینگی تحت تأثیر دی‌اکسید کربن قرار نگرفت و با نتایج این محققین (۷) که کاهش محتوای کلروفیل را در افزایش غلظت دی‌اکسید کربن گزارش نمودند مطابقت نداشت. نتایج آزمایش روی سه گونه جعفری، رعنا زیبا و ابری نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، صرف‌نظر از نوع گونه‌های مورد بررسی، عدد SPAD قرائت شده تا غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که غلظت‌های زیاد دی‌اکسید کربن می‌تواند بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گونه‌های زینتی فیکوس اثرگذار باشد. در این بین، غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن بیشترین تأثیر را بر صفاتی نظیر تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر اندام هوایی و ارتفاع گیاه داشت. با ادامه مصرف سوخت‌های فسیلی در سطح جهان، غلظت دی‌اکسید کربن همچنان افزایش خواهد یافت. لذا، باید از این افزایش بهره جست و از گنجینه گیاهان باغی و زراعی آنهایی را انتخاب نمود که در شرایط غنی‌سازی دی‌اکسید کربن ظرفیت بیشتری برای تولید داشته باشند و از این پتانسیل برای جمعیت رو به افزایش، غذا تولید نمود.

منابع مورد استفاده

۱. شور، م.، م. گلدانی و ف. مندنی. ۱۳۸۸. اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گل جعفری (*Tagets* spp)، رعنا زیبا (*Gaillardia* spp) و ابری (*Ageratum* spp) در شرایط گلخانه. مجلهٔ بوم‌شناسی کشاورزی ۱(۲): ۱۰۱–۱۰۸.

۲. شور، م.، م. زرگریان و س. بستانی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر افزایش دی‌اکسید کربن بر صفات آناتومیکی و مورفولوژیکی گل جعفری (*Tagets tenuifolia*) در شرایط گلخانه. نشریه علوم باغبانی ۲۴(۲): ۱۲۸–۱۳۵.

۳. صالحی، م. ۱۳۸۱. اثر افزایش دی‌اکسید کربن و تنش‌های شوری، خشکی و نیتروژن بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک گندم بهاره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

4. Beerling, D.J. and C.K. Kelly. 1997. Stomatal density responses of temperate woodland plants over the past seven decades of CO_2 increase: A comparison of Salisbury (1927) with contemporary data. Am. J. Bot. 84: 1572-1583.
5. Booker, F., J.E. Miller, E.L. Fiscus, W.A. Pursley and L.A. Stefanski. 2005. Comparative responses of container ground-grown soybean to elevated carbon dioxide and ozone. Crop Sci. 45: 883-895.
6. Cheng, W., H. Sakai, K. Yagi and T. Hasegawa. 2009. Interactions of elevated CO_2 and night temperature on rice growth and yield. Agric. Forest. Meteor. 149: 51-58.
7. Croonenborghs, S., J. Ceusters, E. Londers, and M.P. De Proft. 2009. Effects of elevated CO_2 on growth and morphological characteristics of ornamental bromeliads. Hort. Sci.121: 192-198.
8. Derner, J., H. Johnson, B. Kimball, P. Pinter, H.W. Polley, C. Tischler, T. Bouttons, R.L. Lamorte, G.W. Wall, N.R. Adam, S.W. Leavitt, M.J. Ottman, A.D. Matthias and T.G. Brooks. 2003. Above and below-ground responses of C3-C4 species mixtures to elevated CO_2 and soil water availability. Global Change Biol. 9: 452-460.
9. Drake, B.G. and M.A. Gonzàlez-Meler. 1997. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO_2? Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48: 609-639.
10. Enoch, H.Z. 1990. Crop responses to aerial carbon dioxide. Acta Hort. 268: 17-32.
11. Heinemann, A.B., A. De H.N. Maia, D. Dourado-Neto, K.T. Ingram and G. Hoogenboom. 2006. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and development response to CO_2 enrichment under different temperature regimes. Eur. J. Agron. 24: 52-61.
12. Hunt, H.W., J.A. Morgan and J.J. Read. 1998. Simulating growth and root-shoot partitioning in prairie grasses under elevated atmospheric CO_2 and water stress. Ann. Bot. 81: 489-501.
13. Ishizaki, S.H., K. Hikosaka and T. Hirose. 2003. Increase in leaf mass per area benefits plant growth at elevated CO_2 concentration. Ann. Bot. 91: 905-914.
14. Jablonski, L.M., X. Wang and P.S. Curtis. 2002. Plant reproduction under elevated CO_2 conditions: A meta-analysis

of reports on 79 crop and wild species. New Phytol.156: 9-26.
15. Kimball, B.A., K. Kobayashi and M. Bindi. 2002. Responses of agricultural crops to free air CO_2 enrichment. Adv. Agron. 77: 293-368.
16. Labeke, M.C.V. and P. Dambre. 1998. Effect of supplementary lighting and CO_2 enrichment on yield and flower stem quality of *Alestromeria* cultivars. Sci. Hort. 74: 269-278.
17. Lake, J.A., W.P. Quick, D.J. Beerling and F.I. Woodward. 2001. Signals from mature to new leaves. Nature 411: 154.
18. Liu-Gitz, L., S.J. Britz and W.P. Wergin. 2000. Blue light inhibits stomatal development in soybean isolines containing kaempferol-3-O-2G-glycosyl- gentiobioside (K9), a unique flavonoid glycoside. Plant, Cell Environ. 23: 883-891.
19. Mauney, J.R., B.A. Kimball, P.J. Pinter, R.L. Lamorte, K.F. Lewin, J. Nagy and G.R. Hendrey. 1994. The free-air carbon dioxide enrichment (FACE) cotton project: A new field approach to assess the biological consequences of global change. Agric. For. Meteor. l70: 49-67.
20. Mavrogianopoulos, G.N., J. Spanakis and P. Tsikalas. 1999. Effect of CO_2 enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon. Sci. Hort. 79: 51-63.
21. Mortensen, L.M. 1986a. Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants. Sci. Hort. 29: 301-307.
22. Mortensen, L.M. 1986b. Effect of intermittent as compared to continuous CO_2 enrichment on growth and flowering of *Chrysanthemum* × *morifolium* Ramat. and *Saintpaulia ionantha* H. Wendl. Sci. Hort. 29: 283-289.
23. Mortensen, L.M. 1987. Review: CO_2 enrichment in greenhouses. Crop responses. Sci. Hort. 33: 1-25.
24. Mortensen, L.M. 1994. Effects of elevated CO_2 concentrations on growth and yield of eight vegetable species in a cool climate. Sci. Hort. 58: 177-185.
25. Mortensen, L.M. and R. Moe. 1992. Effects of CO_2 enrichment and different day/night temperature combinations on growth and flowering of *Rosa* L. and *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poelln. Sci. Hort. 51: 145-153.
26. Mortensen, L.M. and R. Ulsaker. 1985. Effect of CO_2 concentration and light levels on growth, flowering and photosynthesis of *Begonia x hiemalis* Fotsch. Sci. Hort. 27: 133-141.
27. Nilsen, S., K. Hovland, C. Dons and S.P. Sletten. 1983. Effect of CO_2 enrichment on photosynthesis, growth and yield of tomato. Sci. Hort. 20: 1-14.
28. Pandey, R., P.M. Chacko, M.L. Choudhary, K.V. Prasad and M. Pal. 2007. Higher than optimum temperature under CO_2 enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). Sci. Hort. 113: 74-81.
29. Read, J.J. and J.A. Morgan. 1996. Growth and partitioning in *Pascopyrum smithii* (C_3) and *Bouteloua gracilis* (C_4) influenced by carbon dioxide and temperature. Ann. Bot. 77: 487-496.
30. Sasaki, H., T. Hara, S. Ito, N. Uehara, H.Y. Kim, M. Lieffering, M. Okada and K. Kobayashi. 2007. Effect of free-air CO_2 enrichment on the storage of carbohydrate fixed at different stages in rice (*Oryza sativa* L.). Field Crops Res. 100: 24-31.
31. Wolf, J. 1996. Effects of nutrient supply (NPK) on spring wheat response to elevated atmospheric CO_2. Plant Soil 185: 113-123.
32. Ziska, L.H. and J.A. Bunce. 1997. Influence of increasing carbon dioxide concentration on the photosynthetic and growth stimulation of selected C4 crops and weeds. Photosynth. Res. 54: 199-208.