

## اثر غنی سازی دی اکسید کربن بر خصوصیات برگ و تغییرات میزان رنگیزه های دو رقم گل شاخه بریده لیزیانتوس در شرایط کشت هیدروپونیک

مهین نیکو<sup>۱\*</sup>، محمود شور<sup>۱</sup>، علی تهرانی فر<sup>۱</sup> و الهام سعیدی پویا<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۶)

### چکیده

یکی از مصادیق تغییر اقلیم، تغییر میزان گازهای گلخانه ای در اتمسفر کره زمین است. پیش بینی می شود که افزایش دی اکسید کربن بتواند بر موازنه انرژی تشعشعی و در نتیجه اقلیم جهان تأثیر بگذارد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر غنی سازی دی اکسید کربن بر خصوصیات برگ و تغییرات میزان رنگیزه های گیاهی دو رقم گل شاخه بریده لیزیانتوس در شرایط کشت هیدروپونیک می باشد. این تحقیق، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، در قالب آزمایش اسپلیت پلات بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه غلظت دی اکسید کربن (۳۸۰ به عنوان شاهد، ۷۵۰ و ۱۰۵۰ میلی گرم در لیتر) به عنوان کرت اصلی و دو رقم گل شاخه بریده لیزیانتوس (GCREC-Blue و Yolde White) به عنوان کرت فرعی بودند. با توجه به نتایج تجزیه واریانس می توان اینگونه بیان داشت که تنها اثر تیمار ساده دی اکسید کربن بر صفات تعداد برگ، کربوهیدرات و کاروتنوئید در سطح ۵٪ و سایر صفات در سطح ۱٪ معنی دار شد. اثر متقابل رقم و دی اکسید کربن تنها بر میزان آنتوسیانین برگ در سطح ۱٪ اختلاف معنی دار نشان داد. در یک نگاه کلی، با افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۳۸۰ به ۱۰۵۰ میلی گرم در لیتر، تعداد برگ ۸۶٪، سطح برگ ۲۷٪، میزان کربوهیدرات ۶۴٪، کاروتنوئید ۴۳٪/۲، آنتوسیانین ۶۷٪/۱۳ و کلروفیل کل به میزان ۹٪/۰ افزایش یافت. در حالی که هدایت روزنه ای و میزان کلروفیل a و b روند کاهشی نشان دادند.

کلمات کلیدی: آنتوسیانین، کاروتنوئید، کربوهیدرات، کلروفیل

### مقدمه

است (۸) و از آنجایی که یکی از مصادیق تغییر اقلیم، تغییر میزان گازهای گلخانه ای در اتمسفر کره زمین می باشد، پیش بینی می شود افزایش دی اکسید کربن بتواند بر موازنه انرژی تشعشعی و در نتیجه اقلیم جهان تأثیر بگذارد. فعالیت های کشاورزی مانند حذف جنگل ها و ایجاد مزارع و

بررسی های اقلیمی گویای این حقیقت است که تا سال ۲۱۰۰ میلادی، غلظت گاز دی اکسید کربن موجود در اتمسفر به حدود ۴۸۵ تا ۸۵۰ میلی گرم بر لیتر افزایش خواهد یافت. این مقدار افزایش غلظت، وابسته به انتشار گاز دی اکسید کربن در اتمسفر

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

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mnikoo64@gmail.com

شاخه‌های جانبی داوودی مشاهده گردید. همچنین، زمان گل دهی توسط غنی‌سازی با دی‌اکسید کربن در بنفشه آفریقایی کاهش یافت؛ اما در داوودی تغییری مشاهده نگردید. در پژوهشی دیگر، شاکری و فرزانه (۳) گزارش نمودند که افزایش دی‌اکسید کربن منجر به افزایش اثر نور بر عملکرد و توسعه گیاه داوودی گردید، به گونه‌ای که با افزایش دی‌اکسید کربن و نور، طول شاخه، تعداد برگ و رشد جوانه‌های جانبی افزایش یافت. اما در غلظت‌های بیشتر دی‌اکسید کربن (۱۶۰۰ - ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، تأثیری بر رشد و عملکرد مشاهده نشد.

از طرف دیگر، در رابطه با گل‌های شاخه بریده، کشت هیدروپونیک در سال‌های اخیر مورد استقبال فراوانی قرار گرفته و در کشورهایی که با محدودیت آب کشاورزی مواجه‌اند، روش هیدروپونیک می‌تواند به عنوان یکی از مؤثرترین راه‌ها برای مصرف بهینه آب کشاورزی باشد. میسن (۱۷)، بیان کرد مقدار مصرف روزانه آب در اغلب سیستم‌های بدون خاک بین ۰/۲۵ تا ۱/۲۵ لیتر در متر مربع است. در واقع، پرورش گیاهان در بسترهای کشت به دلیل مزایای متعدد، نظیر کنترل تغذیه گیاه، کاهش بروز بیماری‌ها و آفات و افزایش کمیت و کیفیت محصول نسبت به کشت خاکی، در حال گسترش است. خصوصیات مواد مختلف مورد استفاده به عنوان بستر کشت، به طور مستقیم و غیر مستقیم، بر رشد گیاه و تولید محصول اثر دارد (۲۵). بنابراین، یکی از مهمترین عوامل در ایجاد یک سیستم کشت بدون خاک، انتخاب بستر کشت مناسب می‌باشد (۲۲). میراپتیان (۱۶) در تحقیقات خود در کشت بدون خاک روی چند گیاه معطر، نشان داد که در تولید بدون خاک، گیاهان عملکرد بیشتری داشتند و میزان اسانس گیاه در مقایسه با شرایط مزرعه ۳ تا ۶ برابر بیشتر شد.

در بین گل‌های شاخه بریده، یکی از زیباترین گل‌ها با گلبرگ‌های چین‌خورده در رنگ‌های سفید، آبی و بنفش، لیزیانتوس است. لیزیانتوس با نام علمی *Eustoma grandiflorum* (Syn. *E. ruussellianum*) از خانواده Gentianaceae، بومی آمریکای شمالی، دارای انواع

چراگاه‌ها، تغییر خاک‌های بکر به زمین‌های کشاورزی، کشت و کار برنج غرقابی، سوزاندن بقایای گیاهی، پرورش گاو و استفاده از کودهای نیتروژن مانند کاربرد کود اوره، در این امر دخیل می‌باشند (۱۳).

گیاهان گلخانه‌ای، شاخه بریده، سبزی‌ها و حتی گیاهان جنگلی آثار مثبتی از افزایش دی‌اکسید کربن را نشان داده‌اند. محققین مختلفی در سراسر جهان گزارش‌هایی مبنی بر واکنش گیاهان مختلف نسبت به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اظهار داشته‌اند که از جمله این واکنش‌ها می‌توان به افزایش وزن خشک، ارتفاع، تعداد برگ و شاخه‌های جانبی اشاره نمود. همچنین، غلظت دی‌اکسید کربن بر میزان ریشه‌زایی قلمه‌ها اثر تحریک‌کننده داشته است (۲۰). میسرا و همکاران (۱۸) نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب افزایش چشمگیر مقدار آب بافت‌ها در کلم شد. از طرفی، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند به طور مستقیم بر رشد گیاهان اثر بگذارد، به طوری که باعث تحریک و افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس و در نتیجه افزایش و بهبود کارایی مصرف آب شود. نتایج یک آزمایش روی گل‌های جعفری (*Tagetes spp.*) ابری (*Ageratum sp.*) و رعنا زیبا (*Gaillaria sp.*) نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، صرف‌نظر از نوع گونه‌های مورد بررسی، سطح برگ تک‌بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به طوری که کمترین سطح برگ ( $66/55 \text{ cm}^2$ ) در غلظت  $350$  و بیشترین سطح برگ ( $176/17 \text{ cm}^2$ ) در غلظت  $1050$  میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. افزایش دی‌اکسید کربن از  $350$  به  $1050$  میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش  $61/1$  درصدی سطح برگ شد. اما افزایش بیشتر غلظت دی‌اکسید کربن، سطح برگ را کاهش داد؛ اگرچه این کاهش معنی‌دار نبود (۴). مورتسنس (۱۹)، در یک مطالعه روی سه رقم گیاه بنفشه آفریقایی و داوودی تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن، مشاهده کرد که غلظت زیاد دی‌اکسید کربن باعث افزایش وزن خشک نهایی شد. ضمن اینکه تعداد گل‌ها و جوانه‌های گل افزایش و تعداد برگ بیشتر و بزرگتر در بنفشه آفریقایی و ساقه ضخیم‌تر و طویل‌تر در

بودند کنترل گردید. به گونه‌ای که دمای شب و روز به ترتیب در حد ۱۹ و ۳۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی در محدوده ۶۰-۷۰ درصد حفظ شد. به منظور تغذیه گیاهان، در ۱۵ روز اول انتقال نشاها به شاسی‌های دی‌اکسید کربن، از NPK به نسبت ۲۰:۲۰:۲۰ استفاده شد و پس از آن NPK به نسبت ۱۲:۱۲:۳۶ به غلظت یک در هزار و به صورت روزانه مصرف گردید. پس از هر سه روز تغذیه گیاهان با کود، یک روز آبیاری بدون کود انجام می‌شد.

### اندازه‌گیری تعداد برگ، سطح برگ و هدایت روزنه‌ای

تعداد برگ پس از ۲۰ روز از تزریق دی‌اکسید کربن شمارش گردید. به منظور اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سطح برگ سنج (مدل Li-cor, Li-3100C Area meter, USA) استفاده شد و هدایت روزنه‌ای با پرومتر (Decagon devices, Inc.) اندازه‌گیری گردید.

### اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات

به این منظور، ۵/۵ گرم برگ تازه در هاون چینی له شده و ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به آن اضافه گردید. سپس، روشناور را جدا و با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ مجدداً استخراج عصاره روی رسوبات باقیمانده ادامه یافت. عصاره استخراج شده به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده، ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون خالص + ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۲٪) اضافه گردید. سپس، به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد و پس از خنک شدن نمونه‌ها، جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید (۷).

### اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید

مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از برگ‌های کاملاً توسعه یافته جدا و در هاون چینی ریخته و کوبیده شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ به نمونه اضافه گردید و سپس در دستگاه

یک‌ساله، دو ساله یا چندساله کوتاه عمر است. برگ‌ها متقابل، تخم مرغی شکل و بدون دم‌برگ و گاهی ساقه آغوش و به رنگ سبز مایل به خاکستری هستند. گل لیزیانتوس به صورت کم‌پر و پرپر در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ در شکل‌های پهن، لوله‌ای و زنگوله‌ای است (۵). این گل شاخه بریده، با توجه به سابقه کمی که در ایران دارد، تحقیقات بیشتری را می‌طلبد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر غنی‌سازی دی‌اکسید کربن در کشت هیدروپونیک، به عنوان یک بستر تجاری تولید گل‌های شاخه بریده، بر خصوصیات برگ و تغییرات میزان رنگیزه‌های گیاهی دو رقم گل لیزیانتوس است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش 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 به عنوان شاهد، ۷۵۰ و ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان کرت اصلی و دو رقم گل شاخه بریده لیزیانتوس (Yolde White و GCREC-Blue) به عنوان کرت فرعی بودند. 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 کیلوپی دی‌اکسید کربن و شیرهای برقی و تایمرهایی که در مسیر قرار داده شده بودند تزریق گاز صورت گرفت. با دی‌اکسید کربن‌متر قابل حمل (مدل AZ-77535 شرکت AZ کشور تایوان)، غلظت دی‌اکسید کربن در طول دوره اندازه‌گیری شد. بدین منظور، نشاها در مرحله شش‌برگی از شرکت توسعه و تجهیز کشت‌های گلخانه‌ای ایران خریداری شده و سپس در بستر حاوی کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۱ کشت و در شاسی‌های تزریق دی‌اکسید کربن قرار گرفتند (شکل‌های ۱ و ۲). طول دوره تزریق گاز دو ماه بود. دما، رطوبت نسبی و شدت نور در گلخانه توسط سنسورهایی که به سیستم مرکزی گلخانه متصل



شکل ۲. رقم GCREC-Blue لیزیانتوس تحت غنی‌سازی CO<sub>2</sub>



شکل ۱. رقم Yolde White لیزیانتوس تحت غنی‌سازی CO<sub>2</sub>

که  $Chla$  میزان کلروفیل  $a$ ،  $Chlb$  میزان کلروفیل  $b$ ،  $C_{x+c}$  کاروتن کل و  $Chlt$  کلروفیل کل است.

#### اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگ از روش واگنر (۲۶) استفاده شد. مقدار ۰/۱ گرم بافت تازه گیاه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسید (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً ساییده و عصاره در لوله آزمایش ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در یخچال قرار گرفت. سپس، بدون تکان دادن محلول، قسمت رویی آن جدا و جذب محلول رویی در طول موج ۵۱۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. غلظت آنتوسیانین با استفاده از فرمول  $A = b.c.\epsilon$  و با در نظر گرفتن ضریب خاموشی ( $\epsilon$ )

سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل گردید. سپس مقداری از نمونه داخل بالن در سل اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه، مقدار جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. در نهایت، با استفاده از فرمول‌های زیر، میزان کلروفیل  $a$ ،  $b$ ، کاروتنوئید و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (۱۱):

$$Chla = 15.65A_{666} - 7.34A_{653} \quad [1]$$

$$Chlb = 27.05A_{653} - 11.21A_{666} \quad [2]$$

$$C_{x+c} = 1000A_{470} - 2.86Chla - 129.2Chlb \quad [3]$$

$$Chlt = Chla + Chlb + C_{x+c} \quad [4]$$

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر، افزایش تعداد برگ و سطح برگ در گیاه گل‌تکمه‌ای مشاهده شد. همچنین مورتنسن و مو (۲۱) نشان دادند که طول شاخه و تعداد برگ با افزایش دی‌اکسید کربن افزایش یافت. 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 و تعداد برگ تک‌بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که کمترین سطح برگ (۶۸/۵۵ سانتی‌متر مربع) و تعداد برگ (۶ عدد) در غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین سطح (۱۷۶/۱۷ سانتی‌متر مربع) و تعداد برگ (۱۰ عدد) در غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. افزایش دی‌اکسید کربن از ۳۵۰ به ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش ۶۱/۱ درصدی سطح برگ شد. اما افزایش بیشتر غلظت دی‌اکسید کربن، سطح برگ را کاهش داد، اگر چه این کاهش معنی‌دار نبود (۴).

با توجه به اینکه برگ گیاهان، به دلیل فعالیت فتوسنتزی، کارخانه‌غذاسازی محسوب می‌شود و مواد اولیه مورد نیاز برای غذاسازی گیاهان، آب و دی‌اکسید کربن بوده و محصول آن مواد قندی و اکسیژن می‌باشد، بنابراین می‌توان اظهار داشت که همزمان با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، شدت فرایند فتوسنتز نیز در برگ‌ها افزایش یافته، در نتیجه مواد ذخیره‌ای بیشتری در گیاه سنتز و از این طریق، رشد رویشی گیاه (سطح و تعداد برگ) افزایش یافت. به بیانی دیگر، از آنجا که یک رابطه مثبت بین افزایش سرعت رشد گیاهان با زمان ظهور و توسعه برگ‌های آن‌ها وجود دارد، به نظر می‌رسد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از طریق افزایش سرعت رشد گیاهان منجر به افزایش تعداد برگ‌های آن‌ها می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (۱۴).

### هدایت روزنه‌ای

مطابق نتایج جدول ۲، غلظت ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن (شاهد) بیشترین تأثیر را بر میزان هدایت روزنه‌ای داشت.

۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول محاسبه شد، که A جذب، b عرض سل و c غلظت محلول مورد نظر می‌باشد (۲۶).

آنالیز آماری داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار Jmp8 و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

### نتایج و بحث

با توجه به نتایج آنالیز واریانس می‌توان اینگونه بیان داشت که تنها اثر تیمار دی‌اکسید کربن بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد که در این میان تعداد برگ، میزان کربوهیدرات و کاروتنوئید در سطح ۵٪ و سایر صفات در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۱). اثر متقابل رقم و دی‌اکسید کربن تنها بر میزان آنتوسیانین برگ در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

### تعداد و سطح برگ

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، بر تعداد برگ‌ها افزوده شد، به‌طوری که بیشترین تعداد برگ (۷۴/۴۴ عدد) مربوط به غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن و کمترین تعداد (۴۰ برگ) مربوط به غلظت ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر (شاهد) بود که معادل ۸۶٪ افزایش تعداد برگ نسبت به شاهد در غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (جدول ۲).

همچنین، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، میزان سطح برگ افزایش یافت. بیشترین مقدار (۱۱۷/۶۱ سانتی‌متر مربع) مربوط به غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود و بعد از آن (۱۰۱/۶۵ سانتی‌متر مربع) مربوط به ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار (۹۲/۵ سانتی‌متر مربع) مربوط به سطح ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر (شاهد) بود (جدول ۲). به عبارتی دیگر، در بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن، ۲۷٪ افزایش سطح برگ نسبت به شاهد مشاهده گردید.

مطابق نتایج پژوهش‌های کمالی و همکاران (۶)، با

جدول ۱. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم لیزیاتوس

کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل a	کلروفیل کل	آنتوسیانین	آنتوسیانین	کاروتنوئید کل	کاروتنوئید کل	کربوهیدرات کل	هدایت روزانه‌ای	سطح برگ	تعداد برگ	درجه آزادی	تیمار
۱۴/۲۳**	۰/۳۴**	۲/۱۷**	۲۵۵۰۳/۷**	۱۱/۷۲*	۵۵۵۵/۱۸*	۴۱/۹۸**	۹۶۸/۶**	۱۹۳۵/۳*	۲	دی‌اکسیدکربن				
۹/۴	۰/۱۱	۰/۱۳	۵۷/۱۶	۸/۹۴	۶۸۳/۹۱	۱/۳۷	۱۱۳/۲۸	۱۲۸/۸	۶	خطای a				
۰/۲۲ NS	۰/۰۱۴ NS	۰/۰۰۰۰۵ NS	۹۶۴۶۲۹۶/۱**	۰/۰۰۵ NS	۲۹۰/۱۶ NS	۰/۰۵ NS	۱/۰۱ NS	۶۵۲/۰۸ NS	۱	رقم				
۰/۱۸ NS	۰/۰۲۳ NS	۰/۰۱۹ NS	۱۷۱۴۶/۷**	۰/۰۰۵ NS	۳۳۱۶/۷ NS	۰/۱۷ NS	۷/۴۴ NS	۲۸۵/۹ NS	۲	رقم × دی‌اکسید کربن				
۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۱۹۴	۴۷	۰/۰۵	۱۰۴۷/۱	۰/۲۹	۳۲/۵	۲۲۸/۷	۶	خطای b				

ns و \*، \*\* به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی دار

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر ساده دی‌اکسید کربن بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم لیزیاتوس

کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل کل	آنتوسیانین	کاروتنوئید کل	کاروتنوئید کل	کربوهیدرات کل	هدایت روزانه	سطح برگ	تعداد برگ	تیمار
(mg/g Fw)	(mg/g Fw)	(mg/g Fw)	(μmol/g Fw)	(mg/g Fw)	(mg/g Fw)	(mg)	(Δmmol/m <sup>2</sup> .s)	(Cm <sup>2</sup> )	دی‌اکسید کربن (mg/L)		
۱۰۹/۹ b	۰/۹۷ a	۶/۲ a	۸۳۱/۶ b	۱۰۲/۸ b	۹۰/۴۱ b	۱۳/۰۴ a	۹۷/۵ c	۴۰ b	۲۸۰		
۱۰۸/۷ c	۰/۵۷ b	۵/۲ b	۹۴۳/۸ a	۱۰۳ b	۱۳۴/۸ ab	۱۱/۹ b	۱۰۱/۶ b	۶۶/۰۵ a	۷۵۰		
۱۱۰/۹ a	۰/۵۵ b	۵/۱۴ b	۹۴۵/۳ a	۱۰۵/۳ a	۱۴۸/۹۱ a	۸ c	۱۱۷/۶ a	۷۴/۴۴ a	۱۰۵۰		

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، از نظر آماری مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

تجزیه شوند. تحت شرایط تنش، افزایش نسبت ساکارز به نشاسته و همچنین کاهش انتقال ساکارز به خارج از برگ‌ها منجر به افزایش کربوهیدرات‌های محلول می‌گردد.

### کاروتنوئید و آنتوسیانین

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن منجر به افزایش کاروتنوئید برگ به میزان ۲/۴۳ درصد نسبت به شاهد شد، به طوری که بیشترین مقدار کاروتنوئید (۱۰۵/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار (۱۰۲/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، مربوط به ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر (شاهد) بود. هر چند بین غلظت‌های ۷۵۰ و ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که میزان آنتوسیانین تحت اثرهای ساده رقم و سطوح دی‌اکسید کربن و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). در مورد اثر متقابل، بیشترین میزان آنتوسیانین مربوط به تیمار ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر و رقم GCREC Blue و کمترین آن مربوط به تیمار ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر و رقم Yolde White بود (شکل ۳).

در مطالعه حاضر، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن منجر به افزایش میزان آنتوسیانین گردید. متداول‌ترین گروه فلاونوئید های رنگیزه‌ای آنتوسیانین‌ها هستند که مسئول بستر رنگ قرمز و بنفش و آبی مشاهده شده در قسمت‌های مختلف گیاه می‌باشند. سیستم دفاعی غیر آنزیمی در گیاهان شامل ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی است. فلاونوئیدهای آنتوسیانینی از مهمترین این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که در زمان افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، در هماهنگی با مولکول حفاظتی در یاخته‌های گیاهی، عمل خود را انجام می‌دهند و برای جبران نقص در غلظت مولکول‌ها طی این افزایش، وارد عمل شده و در نتیجه باعث افزایش این رنگیزه‌ها در گیاه می‌شوند.

به گونه‌ای که بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای (۱۳/۰۴ میلی‌مول در متر مربع در ثانیه) مربوط به غلظت ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار (۸/۰ میلی‌مول در متر مربع در ثانیه) مربوط به غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود.

واکنش مختلف گیاهان نسبت به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن شامل افزایش فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای (۱۲)، نمو برگ‌های ضخیم و سنگین‌تر و افزایش رشد و عملکرد در گیاهان چهار کربنه سورگوم (*Sorghum bicolor moench.*) و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه می‌باشد (۱۰ و ۱۵). زیسکا و بونس (۲۷) گزارش کردند که با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن محیط، میزان هدایت روزنه‌ای گیاهان چهارکربنه ذرت و سورگوم تقریباً ۵٪ کاهش یافت. با کاهش هدایت روزنه‌ای، میزان ورود دی‌اکسید کربن به برگ کاهش می‌یابد. شاید علت کاهش ورود دی‌اکسید کربن، یا به عبارتی هدایت روزنه‌ای کمتر، را بتوان به ظرفیت محدود گیاه در جذب دی‌اکسید کربن نسبت داد.

### کربوهیدرات

مطابق جدول ۲، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، میزان قند برگ افزایش یافت. در این میان، غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید کربن بیشترین تأثیر را بر صفت مورد مطالعه داشت، به گونه‌ای که بیشترین مقدار قند برگ (۱۴۸/۹۱ میلی‌گرم) مربوط به غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج، حاکی از افزایش میزان قند برگ از غلظت ۳۸۰ به ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، که این افزایش معادل ۶۴٪ نسبت به شاهد است.

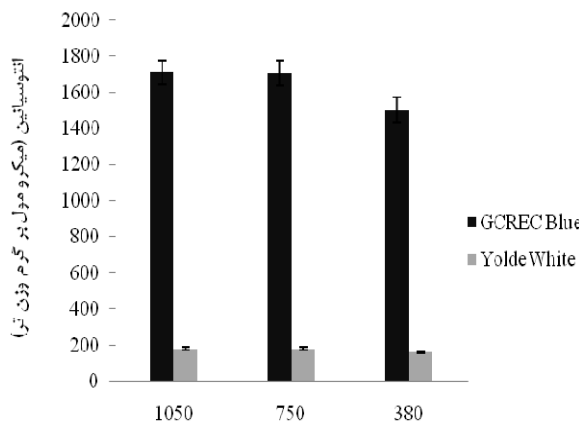
پرز- لوپز و همکاران (۲۳) گزارش کردند که با غنی‌سازی دی‌اکسید کربن، به علت افزایش جریان دی‌اکسید کربن در داخل برگ‌ها و افزایش جذب آن، میزان تأمین کربوهیدرات افزایش یافت. افزایش میزان کربوهیدرات، پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد و به گیاه اجازه می‌دهد به صورت آماس باقی بماند. به نظر می‌رسد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث می‌شود که کربوهیدرات‌های مرکب به کربوهیدرات‌های ساده

تحقیقاتی که روی گندم دوروم تحت غنی‌سازی دی‌اکسید کربن انجام دادند مشاهده کردند که کلروفیل a, b و میزان کلروفیل کل به ترتیب در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد تحت تأثیر دی‌اکسید کربن قرار گرفتند. همچنین، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از سطح ۴۰۰ به ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل در برگ گندم دوروم کاهش یافت.

انورخواه (۱)، در گزارشی بیان کرد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، میزان کلروفیل، چه در گیاهان سه‌کربنه و چه در گیاهان چهارکربنه، کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد این کاهش میزان کلروفیل به علت کاهش غلظت نیتروژن گیاه باشد. چن و همکاران (۹) نیز اظهار داشتند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب کاهش میزان کلروفیل در گیاه پپینو (*Solanum muricatum* Ait) می‌گردد. این محققین، کاهش میزان کلروفیل را به کاهش در میزان آنزیم روپیسکو نسبت دادند.

### نتیجه‌گیری

در یک نگاه کلی، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر، تعداد برگ (۸۶٪)، سطح برگ (۲۷٪)، میزان کربوهیدرات (۶۴٪)، کاروتنوئید (۲/۴۳٪)، آنتوسیانین (۱۳/۶۷٪) و کلروفیل کل به میزان ۰/۹ درصد افزایش یافت. در حالی که هدایت روزنه‌ای و میزان کلروفیل a و b روند کاهشی نشان دادند. در نتیجه، مطابق با ماحصل نتایج، تغییرات گاز دی‌اکسید کربن در اتمسفر می‌تواند تأثیرات بسیار چشمگیری بر گیاهان بگذارد که بدین ترتیب می‌توان برخی آثار تغییر اقلیم در آینده را روی کیفیت تولید تجاری گل‌های شاخه بریده پیش‌بینی و بررسی نمود.



شکل ۳. برهمکنش دی‌اکسید کربن و رقم بر میزان آنتوسیانین برگ در لیزیانوس

### کلروفیل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در مورد کلروفیل a, b و کل نشان داد که تنها اثر تیمار دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱٪ بر میزان کلروفیل‌ها معنی‌دار شد. و با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، روند کاهشی در میزان کلروفیل a وجود دارد به گونه‌ای که بیشترین مقدار کلروفیل a (۶/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به غلظت ۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار کلروفیل a (۵/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به غلظت ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. هر چند بین غلظت‌های ۷۵۰ و ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). اما در مورد کلروفیل کل، روند برعکس بود. به گونه‌ای که بیشترین مقدار کلروفیل کل به ترتیب به صورت  $۳۸۰ < ۱۰۵۰ < ۷۵۰$  میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد.

سیچر و بونس (۲۴) در مطالعاتی روی اثر  $CO_2$  بر گندم، کاهش محتوای کلروفیل را در برگ‌های گندم زمستانه رشد کرده در  $CO_2$  زیاد گزارش کردند. بلوچی و همکاران (۲)، در



## منابع مورد استفاده

۱. انورخواه، س. ۱۳۸۶. بررسی اثر افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر رقابت چند گونه زراعی و علف هرز C<sub>3</sub> و C<sub>4</sub>. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. بلوچی، ح.، ع. مدرس ثانوی، ی. امام و م. برزگر. ۱۳۸۷. تأثیر تنش کم‌آبی، ازدیاد CO<sub>2</sub> و اشعه ماورای بنفش بر صفات کمی برگ پرچمی گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum Desf). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۵: ۱۶۷-۱۸۱.
۳. شاکری، م. و ا. فرزانه. ۱۳۸۸. بررسی اثرات کمیت و کیفیت نور (مدیریت نور) بر میزان رشد و عملکرد محصولات گلخانه‌ای. اولین کنگره ملی هیدروپونیک و تولیدات گلخانه‌ای، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. شور، م.، م. گلدانی و ف. مندی. ۱۳۸۸. اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گل جعفری (*Tagetes spp*), رعنا زیبا (*Gaillaria spp*) و ابری (*Ageratum spp*) در شرایط گلخانه. مجله بوم‌شناسی کشاورزی ۱(۲): ۱۰۱-۱۰۸.
۵. قاسمی قهساره، م. و م. کافی. ۱۳۸۶. گلکاری علمی و عملی. انتشارات گلبن، ۱۲۵ صفحه.
۶. کمالی، م.، م. شور، م. گلدانی، ی. سلاح‌ورزی و ع. تهرانی‌فر. ۱۳۹۰. تأثیر غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن بر برخی صفات مورفولوژیکی گل تکمه‌ای تحت تنش شوری. هفتمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۷. کمالی، م. ۱۳۹۱. بررسی اثر متقابل دی‌اکسید کربن و تنش شوری بر دو گیاه چهارکربنه زیتنی: گل تکمه‌ای (*Gompherenza globosa*) و آمارانتوس (*Amaranthus tricolor*). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد.
8. Carter, T.R. 1996. Developing scenarios of atmosphere, weather and climate for northern regions. *Agric. Food Sci. Finland.* 5: 235-249.
9. Chen, K., G. Hu, N. Keutgen, M.J. Janssens and F. Lenz. 1999. Effects of NaCl salinity and CO<sub>2</sub> enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.). II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange. *Scientia Hort.* 81: 43-56.
10. Cosins, A.B., N.R. Adam, G.W. Wall, B.A. Kimball, P.J. Pinter, Jr., S.W. Leavit, R.L. Lamorte, A.D. Matthias, M.J. Ottman, T.L. Thompson and A.N. Webber. 2001. Reduced photorespiration and increased energy-use efficiency in young CO<sub>2</sub> enriched sorghum leaves. *New Phytol.* 150: 275-284.
11. Dere, S., T. Gunes and R. Sivaci. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b, total and carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turk. J. Bot.* 22: 13- 17.
12. Drake, B.G., M.A. Gonzalez-Meler and S.P. Long. 1997. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>. *Ann Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48: 609-639.
13. Guo, J. and C.H. Zhou. 2006. Greenhouse gas emissions and mitigation measures in Chinese agroecosystem. *Agric. Forest Meteorol.* 142: 270-277.
14. Heinemann, A.B., A.H.N. Maia, D. Dourado-Neto, K.T. Ingram and G. Hoogenboom. 2006. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Growth and development response to CO<sub>2</sub> enrichment under different temperature regimes. *Eur. J. Agron.* 24: 52-61.
15. Idso, S.B., B.A. Kimball, G.R. Pettit II, L.C. Garner, G.R. Pettit and R.A. Backhaus. 2000. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on the growth and development of *Hymenocallis littoralis* (Amaryllidaceae) and the concentrations of several antineoplastic and antiviral constituents of its bulbs. *Am. J. Bot.* 87: 769-773.
16. Mairapetyan, S.K. 1999. Optimization of plant mineral nutrition under hydroponic conditions. Yerevan, pp. 59-74.
17. Mason, J. 2000. Commercial Hydroponic. Thorsons Publishers Limited.
18. Mishra, R.S., M.Z. Abdin and D.C. Uprety. 1999. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub> and moisture stress on the photosynthesis, water relation and growth of Brassica species. *J. Agron. Crop Sci.* 182: 223-229.
19. Mortensen, L.M. 1986. Effect of intermittent as compared to continuous CO<sub>2</sub> enrichment on growth and flowering of *Chrysanthemum×morifolium* Ramat. and *Saintpaulia ionantha* H. Wendl. *Sci. Hort.* 29(3): 283-289.
20. Mortensen, L.M. 1987. CO<sub>2</sub> enrichment in greenhouses. Crop responses. *Sci. Hort.* 33: 1-25.
21. Mortensen, L.M. and R. Moe. 1992. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment and different day/night temperature combinations on growth and flowering of *Rosa* L. and *Kalanchoe blossfeldiana* v. poelln. *Sci. Hort.* 51: 145-153.
22. Olympios, C.M. 1995. Overview of soilless culture advantage, constraints and perspective for its use in Mediterranean countries. *Cahier Option* 31: 307-324.
23. Perez-Lopez, U., A. Robredo, M. Lacuesta, A. Mena-petite and A. Munoz-Rueda. 2009. The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO<sub>2</sub>. *Environ. Exp. Bot.* 66: 463-470.

24. Sicher, R.C. and J.A. Bunce. 1997. Relationship of photosynthetic acclimation to changes of Robisco activity in field-grown winter wheat and barley during growth in elevated carbon dioxide. *Photosynthesis Res.* 52: 27-13.
25. Verdonck, O., D. De Vleeschauwer and M. De Boodt. 1982. The influence of the substrates to plant growth. *Acta Hort.* 126: 251-258.
26. Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplast. *Plant Physiol.* 64: 88-93.
27. 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. *Photosynthesis Res.* 54: 199-208.