نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، ص. ۲۵۸-۲۴۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 27, No. 3, Fall 2013, P. 247-258
ISSN: 2008 - 4730

اثرات دی‌اکسیدکربن و رژیم‌های نوری بر صفات آناتومیکی و فیزیولوژیکی سه رقم گل بنفشه (*Viola tricolor*) در شرایط گلخانه‌ای

محمود شور[1*]- زهرا کریمیان[2]- مرتضی گلدانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۹

چکیده

اثرات منفی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در دنیا از یک طرف و اثرات مثبت غنی‌سازی گلخانه‌ها با این گاز از طرف دیگر امروزه از مهم‌ترین دلایل تحقیق اثرات این گاز بر روی گیاهان مختلف است. به منظور ارزیابی اثرات دی‌اکسیدکربن و رژیم‌های نوری در ژنوتیپ‌ها مختلف بنفشه، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار و ۱۸ تیمار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی در سال ۱۳۸۸ انجام شد. تیمارها شامل ۲ غلظت دی‌اکسیدکربن (۱۰۰۰ و ۳۸۰ میکرومول بر مول)، ۳ رژیم نوری (۱۱۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ لوکس) و نور معمولی خورشید و ۳ رقم بنفشه (Yellow-Black, Bourdeaux, Sawyers Black) به ترتیب دارای گل‌هایی به رنگ پر کلاغی، شرابی و زرد) بودند. نتایج این آزمایش نشان داد که در بین ۱۱ صفت اندازه‌گیری شده، در اغلب تیمارها صفات طول، عرض و تعداد روزنه و وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار شدند. غلظت ۱۰۰۰ میکرومول بر مول دی‌اکسیدکربن در مقایسه با غلظت ۳۸۰ میکرومول بر مول هدایت روزنه‌ای و وزن خشک را به میزان کمتری کاهش داد. اثر رژیم‌های نوری به طور کلی بر روی صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری با نور معمولی خورشید نشان نداد. در بین ژنوتیپ‌ها نیز به طور کلی ژنوتیپ شرابی رنگ به دلیل تعداد روزنه کمتر و احتمالا کاهش مصرف آب مناسب‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: بنفشه زینتی (*Viola tricolor*)، دی‌اکسیدکربن، صفات رویشی، رژیم‌های نوری

مقدمه

غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر کره زمین در طی هزاران سال گذشته تا سال ۱۸۰۰ میلادی مقداری ثابت و تقریبا برابر با ۲۸۰ میکرومول بر مول بود ولی از این تاریخ به بعد به دلیل افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری زمین‌ها (تخریب جنگل‌ها) غلظت دی‌اکسیدکربن به صورت تصاعدی افزایش یافت (۳۰) به طوری‌که پیش‌بینی‌ها نشان می دهد غلظت آن در سال ۲۰۳۰ میلادی به ۴۵۰ میکرومول بر مول، در سال ۲۰۵۰ میلادی به ۵۰۰ میکرومول بر مول (۱۴) و در اواخر قرن ۲۱ میلادی تا دو برابر افزایش پیدا کند (۳۲). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن همراه با تغییرات اقلیمی منجر به افزایش دمای سطحی کره زمین، تغییر الگوهای جهانی و منطقه‌ای و تغییر اقلیم شده و می تواند تهدیدی برای اکوسیستم و رفاه انسان بوده و تولیدات گیاهی را در سطح وسیع تحت تاثیر قرار دهد (۱۸). به دنبال افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، دمای کره زمین در انتهای قرن ۲۱ نسبت به سال های ۱۹۹۹-۱۹۸۰ حدود ۴-۱/۸ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (۱۳).

بالا بودن غلظت دی‌اکسیدکربن، میزان فتوسنتز، بیومس و عملکرد را در گیاهان تحت تاثیر قرار می دهد و باعث کاهش هدایت روزنه ای و به دنبال آن، افزایش چشمگیر کارایی مصرف آب خواهد شد (۱۷). به طور کلی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن میزان آب و نیتروژن موجود در گیاه کاهش یافته (۵، ۳۹ و ۴۰) و رشد، عملکرد، سطح برگ و نسبت کربن به نیتروژن افزایش می یابد (۳۵). از طرفی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز و تجمع بیومس گیاهی غالبا به صورت کوتاه مدت افزایش می یابد (۲۷ و ۳۷).

صرف‌نظر از اهمیت تاثیرات افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر تغییرات اقلیمی و محصولات کشاورزی، استفاده از دی‌اکسیدکربن اضافی (غنی سازی با دی‌اکسیدکربن) در گلخانه‌ها می تواند به عنوان

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: shoor@um.ac.ir)
۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

روشی برای کاهش زمان تکثیر، افزایش استحکام بافت‌های گیاهی و رشد مطلوب محصولات مورد استفاده قرار گیرد (۳۳). در محصولات فراوانی مثل برخی سبزیجات و گیاهان زینتی امروزه به طور گسترده غنی سازی با دی‌اکسیدکربن انجام می شود (۱۵، ۱۶).

بنابراین محققان زیادی تا کنون به بررسی اثرات افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر روی گیاهان مختلف به مطالعه و تحقیق پرداخته اند (۲، ۳، ۷، ۱۹، ۳۴، ۳۶). اکثر این مطالعات به منظور ارزیابی اثرات افزایش دی‌اکسیدکربن و تغییرات اقلیمی بر روی رشد، عملکرد و مدیریت محصولات انجام شده اند. چنان‌چه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر صفات فیزیولوژیکی محصولات مختلف با تغییر سایر پارامترهای محیطی مثل نور به صورت همزمان مورد مطالعه قرار گیرند، احتمالا اثرات جالب و متفاوتی از خود نشان خواهند داد.

نور و دی‌اکسیدکربن دو عامل مهم در فتوسنتزی محسوب می شوند و صنعت گلخانه‌داری برای کنترل رشد محصولات به دنبال کنترل این دو عامل است (۳۳). روشن است که یک هماهنگی بالقوه بین اثرات دی‌اکسیدکربن و نور وجود دارد (۱۱). غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن در مقادیر نوری پایین به اندازه مقادیر نوری بالا افزایش فتوسنتز خالص و افزایش سرعت رشد را منجر خواهد شد (۲۴). ایدسو و ایدسو (۱۲) نیز نشان دادند مقادیر نور پایین (سایه) اثرات مثبت غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن را تحت تاثیر قرار نمی دهد. تحقیقات دیگری وجود دارد که بیان می کند در کنار غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن استفاده از نور تکمیلی نه تنها سرعت فتوسنتز بلکه ویژگی‌های مورفولوژیکی را نیز تحت تاثیر قرار میدهد (۴). نور تکمیلی وزن خشک اندام هوایی و ریشه کرفس، گوجه فرنگی، کلم بروکلی و کاهو را افزایش داد (۲۰). مطالعات نشان میدهد که تعداد روزنه‌ها در گونه‌های گیاهی در نتیجه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن کاهش می یابد (۳۷). آزمایشات اخیر نشان دهنده کاهش تعداد روزنه‌ها است ولی مطالعات دیگر نشان می دهد که تراکم روزنه‌ها با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش می یابد (۸). پژوهش‌ها نشان میدهد که تراکم روزنه‌ها بسته به گونه‌ها ،عادات و مناطق رشدی گیاهان متغیر است. به علاوه تفاوت در بین گونه‌ها، هنگامی که دی‌اکسیدکربن افزایش می یابد، در پاسخ به پارامترهای روزنه‌ای در بین چهار رقم برنج نیز گزارش شده است (۳۱). در نهایت تحقیقات بر روی برخی گیاهان در گلخانه‌ها نشان می دهد غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن و تیمارهای نوری رشد گیاهان را در گلخانه‌ها تحت تاثیر قرار می دهد و می تواند به عنوان ابزاری برای رسیدن به عملکرد و کیفیت بالا استفاده شود.

بنفشه‌ی مورد استفاده در این تحقیق با نام علمی *Viola tricolor* گیاهی یک ساله و مقاوم به سرما است که در ژنوتیپ‌ها و رنگ‌های مختلف به طور گسترده در فضای سبز و همچنین به صورت گلدانی مورد استفاده قرار می گیرد (۱). هدف از انجام این تحقیق از یک طرف اهمیت بالای این گیاه زینتی در باغبانی و کشت و کار وسیع آن به خصوص در فضای سبز است و از طرف دیگر تا کنون تحقیقات زیادی در مورد اثرات غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن و نور تکمیلی بر روی گیاهان نشایی زینتی مثل بنفشه صورت نگرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طی پاییز تا زمستان ۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار (۲۰ مشاهده، هر مشاهده شامل یک گلدان حاوی یک نشای بنفشه) و ۱۸ تیمار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳ رقم بنفشه (Yellow-Black, Bourdeaux, Sawyers Black) به ترتیب دارای گل‌هایی به رنگ پر کلاغی، شرابی و زرد) ، غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۳۸۰ میکرو مول بر مول دی‌اکسیدکربن و سه منبع نوری ۱۱۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ لوکس (لامپ سدیمی پر فشار) و نور معمولی خورشید (میزان نور خورشید بسته به فصل, موقعیت جغرافیایی و میزان ابری بودن آسمان بسیار متغیر است و از آن جایی که تحقیق در طی پاییز صورت گرفته است میزان تقریبی آن ۲۵۰۰۰-۳۲۰۰ لوکس است) بودند. برای تنظیم غلظت دی‌اکسیدکربن از یک سیستم کاملاً خودکار استفاده شد. دستور روشن و خاموش شدن به ترتیب در روز و شب توسط یک فتوسل انجام می شد و تزریق گاز با استفاده از کپسول های ۵۰ کیلویی دی‌اکسیدکربن، شیرهای برقی و تایمرهایی که در مسیر قرار داده شده بودند صورت گرفت . با استفاده از یک Co_2متر قابل حمل اندازه گیری‌های غلظت دی‌اکسیدکربن در طول روز انجام شد. لامپ‌های سدیمی با ولتاژهای بیان شده نیز در طول روز از زمان طلوع تا غروب خورشید به عنوان نور تکمیلی روشن می‌شدند.

بذرهای ۳ ژنوتیپ بنفشه در سینی‌های مخصوص کشت در گلخانه کشت شدند و حدود ۵ هفته بعد و در مرحله ۴ برگی به خزانه انتظار منتقل و به مدت ۶۰ روز در معرض غلظت‌های دی‌اکسیدکربن و تیمارهای نوری قرار گرفتند. متوسط درجه حرارت روزانه و متوسط درجه حرارت شبانه به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی گراد بود که برای کلیه تیمارها یکسان در نظر گرفته شد . فتوپریود با توجه به زمان آزمایش شامل ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود و میانگین رطوبت نسبی حدود ۶۵ درصد اندازه گیری و در طول آزمایش ثبت شد.

کلیه اندازه گیری‌ها حدود ۶۰ روز پس از انتقال به شرایط تیمار با دی‌اکسیدکربن و نور انجام شدند. تعداد برگ‌ها در در همه تکرارها شامل ۵ مشاهده شمارش شدند، برای اندازه‌گیری سطح برگ‌ها نیز در هر تکرار ۵ گیاه انتخاب شدند و با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج

(مدل LI-COR) اندازه گیری و میانگین آن‌ها بر حسب سانتی‌مترمربع گزارش شدند. سطح مخصوص برگ (SLA= Specific Leaf Area) نیز با استفاده از فرمول زیر برای کلیه تیمارها محاسبه شد حاوی (۲۶).

$$SLA=\frac{\text{Leaf Area (cm2)}}{\text{Leaf Dry Weight(g)}}$$

برای اندازه گیری وزن تر اندام هوایی و ریشه، همه تکرارها شامل ۵ گیاه با استفاده از ترازو وزن شدند و همین گیاهان برای اندازه گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه در آون با دمای ۶۵درجه سانتی گراد به مدت زمان لازم خشک شدند و سپس وزن آن‌ها بر حسب گرم در بوته اندازه گیری شد و به صورت میانگین وزن مشاهدات گزارش شد. عدد SPAD نیز برای هر تیمار توسط دستگاه SPAD (model502) از روی برگ پنجم گیاهان در هر ۳ تکرار شامل ۵ مشاهده قرائت شد.

برای اندازه گیری روزنه‌ها از چهارمین برگ کاملا توسعه یافته از راس گیاه استفاده شد (۲۵) و با کمک یک اسکارپل لایه نازکی از بخش میانی سطح زیرین برگ بین نوک و قاعده جدا و با پنس روی لام‌های مدرجی موسوم به لام توما قرار داده شد و با بزرگنمایی ۱۰ و با استفاده از یک میکروسکوپ با قابلیت تصویر برداری، تصاویر مربوط به آن ها ذخیره شد و در مرحله بعد تعداد روزنه‌ها، طول روزنه‌ها و عرض روزنه‌ها در تصاویر با استفاده از نرم افزار-JMicroVision (v127-win32-JRE1.5) بر حسب میکرومتر اندازه گیری شد و تعداد روزنه‌ها بر حسب تعداد روزنه در میلی‌مترمربع ثبت شد.

برای تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های آزمایش، از نرم افزار MSTAT-C، برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد و برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCELL استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیزها نشان می داد تنها صفات طول و عرض روزنه و وزن خشک اندام هوایی در بین سایر صفات اندازه گیری شده دارای اثر معنی‌دار می باشند ($p<۰/۰۵$) (جدول ۱). در هر سه صفت بیشترین مقدار در غلظت ۳۸۰ میکرومول بر مول دیده شد (شکل ۱ و ۲). در این غلظت در مقایسه با غلظت بالاتر (۱۰۰۰ میکرو مول بر مول) به دلیل طول و عرض بیشتر روزنه، گشودگی روزنه بیشتر بوده است و در نتیجه‌ی ورود دی‌اکسیدکربن بیشتر در این غلظت، وزن خشک اندام هوایی افزایش یافته است، محققان دیگر نیز گزارش کرده‌اند افزایش در ماده خشک برنج و سویا در اثر افزایش غلظت‌دی‌اکسیدکربن به‌دست می آید (۸، ۲۹). مورتنسن (۲۴) نیز گزارش کرد گیاهان گلدانی، شاخه بریده، سبزی‌ها و گیاهان جنگلی اثرات مثبت غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن را از طریق افزایش در وزن خشک گیاه و ... نشان می دهند. از آن‌جایی که در این تحقیق افزایش در تعداد و سطح برگ معنی دار نشد احتمالا افزایش در وزن خشک به صورت ضخیم شدن برگ‌ها و ساقه‌ها بوده است همان‌طور که در مورد بنفشه آفریقایی و داوودی گزارش شده است (۲۴).

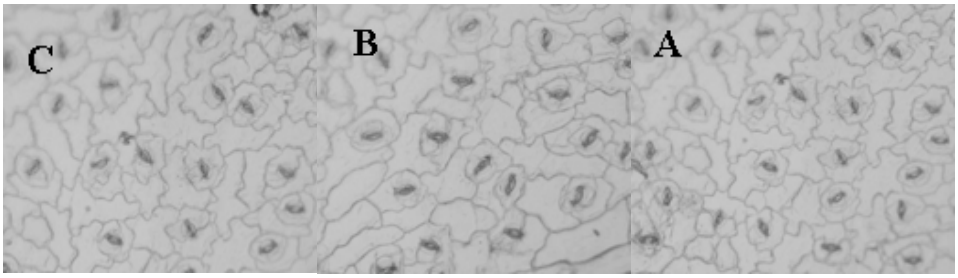
غلظت بالای دی‌اکسیدکربن در اغلب گونه‌های مورد مطالعه، هدایت روزنه‌ای را حدود ۵۰–۳۳ درصد کاهش داد. (۶، ۱۷، ۲۲، ۲۸) نشان دادند که غلظت بالاتر دی‌اکسیدکربن (۱۰۰۰ میکرومول بر مول) مطابق با نتایج تحقیقات گذشته منجر به کاهش طول و عرض روزنه شد که به دنبال آن کاهش هدایت روزنه‌ای و بنابراین افزایش کارایی مصرف آب را موجب شد، نتایج مشابه نیز توسط پندی و همکاران (۲۵) بر روی گل رز گزارش شد، در حالی که در غلظت پایین تر (۵۰۰ میکرومول بر مول) نتایج خلاف این مشاهده شد.

جدول ۱- معنی داری اثر تیمارهای دی‌اکسیدکربن، رژیم‌های نوری، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر صفات اندازه گیری شده در گل بنفشه (*Viola tricolor*)

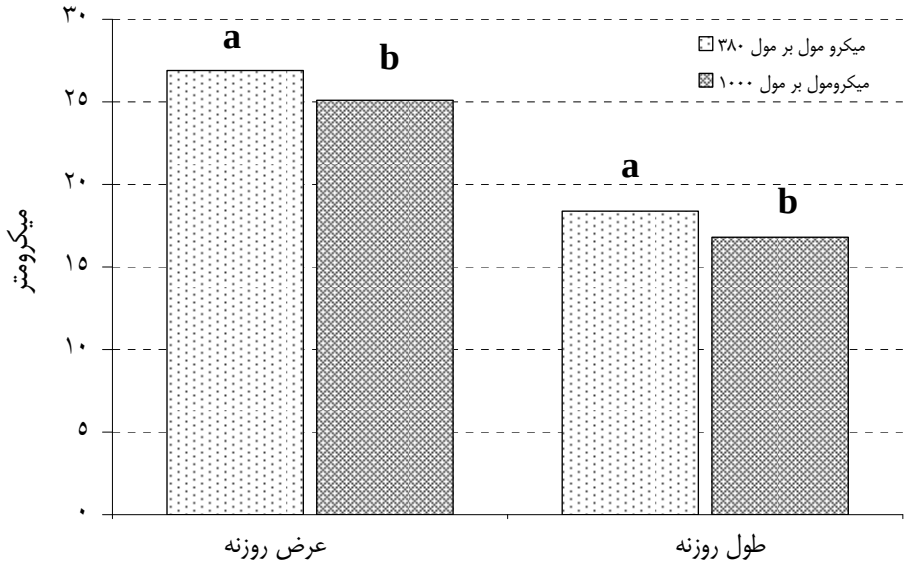
صفات	سطوح Co_2	سطوح نور	ژنوتیپ	Co_2 × نور	Co_2 × ژنوتیپ	نور×ژنوتیپ	Co_2 × نور×ژنوتیپ
عدد SPAD	ns	ns	ns	❋	ns	Ns	*
تعداد برگ هر بوته	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
وزن خشک اندام هوایی	❋	❋	ns	*	❋	❋	*
وزن خشک ریشه	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	*
وزن تر اندام هوایی	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	*
وزن تر ریشه	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	*
سطح برگ	ns	ns	ns	ns	❋	❋	*
سطح مخصوص برگ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
تراکم سلول‌های روزنه	ns	❋	❋	❋	❋	❋	*
طول سلول‌های روزنه	*	❋	❋	❋	❋	❋	*
عرض سلول‌های روزنه	❋	❋	❋	❋	❋	❋	*

❋: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns: بدون اثر معنی‌دار

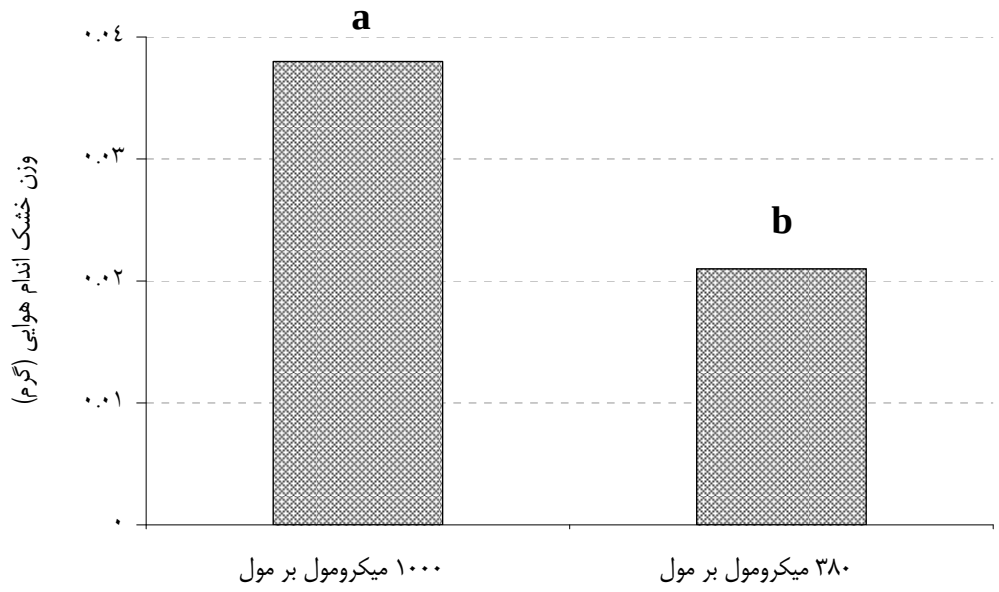
در بین صفات اندازه گیری شده، رژیم‌های نوری تنها بر روی صفات طول، عرض و تعداد روزنه و همچنین وزن خشک اندام هوایی اثر معنی‌دار داشته است ($p <$ ۰/۰۵). در صفت طول روزنه رژیم نوری ۱۴۰۰۰ لوکس (۲۷/۲۹ میکرومتر)، در صفت عرض روزنه به ترتیب رژیم‌های نوری ۱۱۰۰۰ (۲۱/۳ میکرومتر) و ۱۴۰۰۰ لوکس (۱۷/۶۴ میکرومتر) و در تعداد روزنه رژیم نوری ۱۴۰۰۰ لوکس (۱۶/۷۸) و نور معمولی (۱۷/۷۸) و در مورد وزن خشک اندام هوایی رژیم نوری ۱۱۰۰۰ لوکس (۰/۰۲۳ گرم) و نور معمولی (۰/۰۲۸ گرم) بیشترین اثر را داشته است (شکل های۳، ۴ و ۵). در صفت تعداد روزنه بین رژیم‌های نوری، ۱۴۰۰۰ لوکس و نور معمولی و در صفات طول روزنه و وزن خشک اندام هوایی بین رژیم های نوری ۱۱۰۰۰ لوکس و نور معمولی تفاوت معنی دار وجود نداشت. این نتایج نشان می دهد به طور کلی استفاده از رژیم‌های نوری تقریبا باعث افزایش گشودگی روزنه‌ها (افزایش طول و عرض) شده است. افزایش در وزن خشک اندام هوایی نیز در استفاده از رژیم نوری ۱۱۰۰۰ لوکس در مقایسه با نور ۱۴۰۰۰ لوکس دیده شد هر چند که در رژیم نوری ۱۱۰۰۰ لوکس تعداد روزنه ای کمتر و گشودگی روزنه تقریبا برابر با رژیم نوری ۱۴۰۰۰ لوکس بود (شکل های ۳، ۴ و ۵). در این صفات به جز صفت طول روزنه، نور معمولی خورشید در مقایسه با رژیم‌های نوری استفاده شده اثر مشابه و یا بیشتر داشت. در تایید این نتیجه برخی تحقیقات نیز نشان می دهد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مستقل از مقدار نور (مقدار نورکم یا زیاد) افزایش میزان فتوسنتز خالص و میزان رشد دیده می‌شود (۱۲). بنابراین در حضور دی‌اکسیدکربن بالا مقدار نور تاثیر چندانی بر این صفات نخواهد داشت.



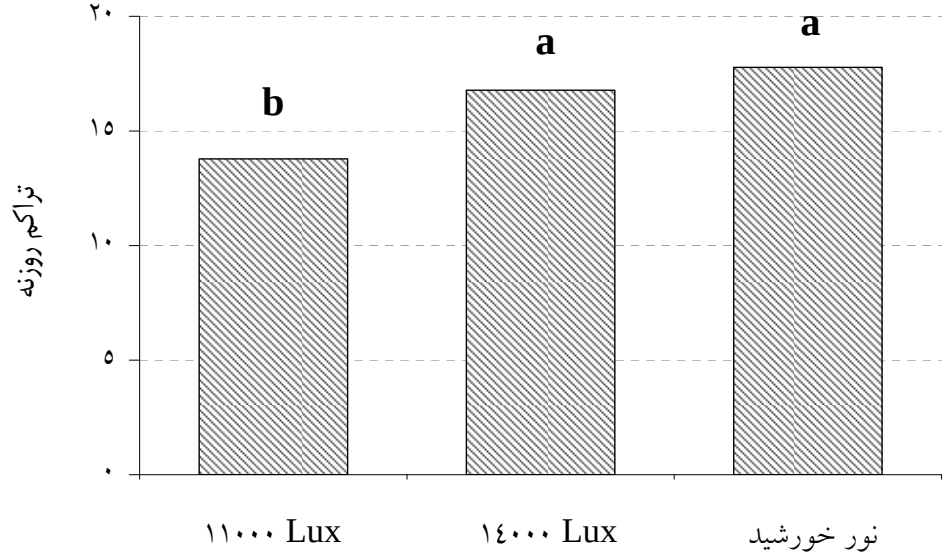
تصویر ۱- تصاویر میکروسکوپی اثر دی‌اکسیدکربن و رژیم‌های نوری بر طول، عرض و تعداد روزنه رقم Yellow-Black (زرد) (A)، Bourdeaux (شرابی) (B) و Sawyers Black (پرکلاغی)



شکل ۱- اثر اصلی سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن بر طول و عرض روزنه گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*)



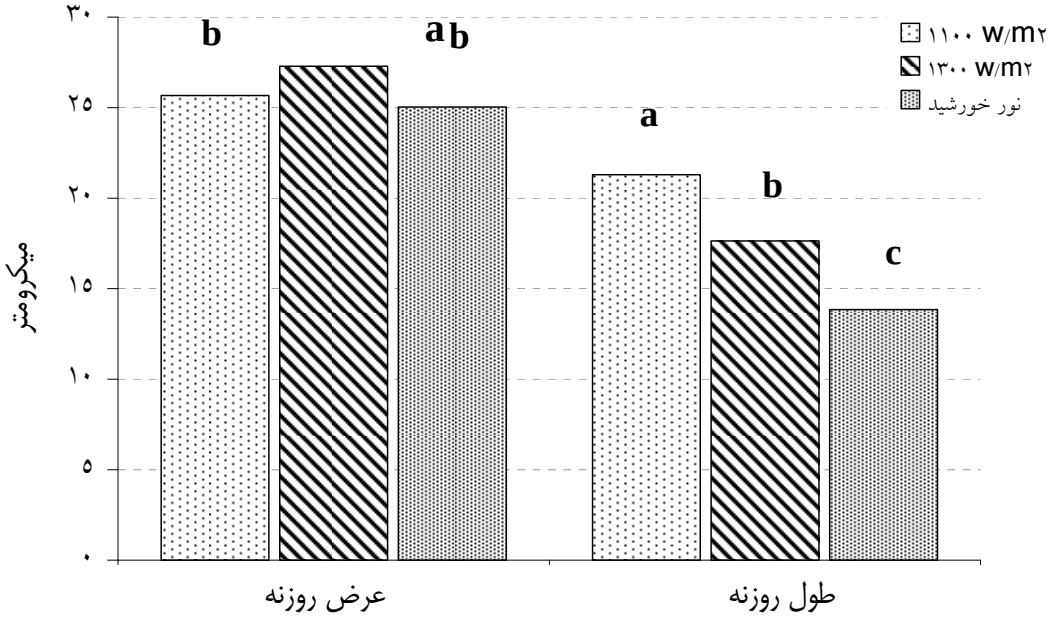
شکل ۲- اثراصلی سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن بر وزن خشک اندام هوایی گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*)



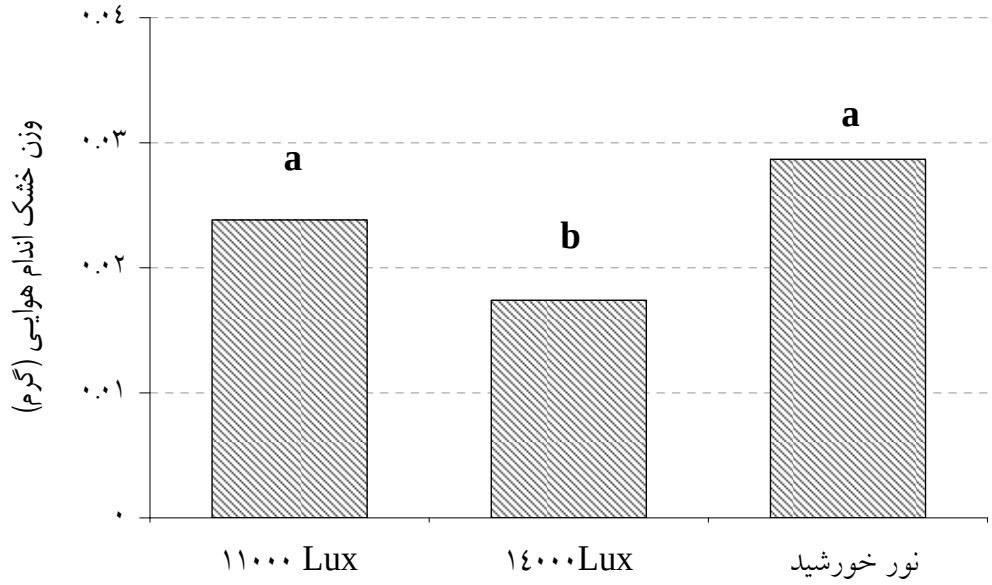
شکل ۳- اثر اصلی سطوح مختلف نوری بر تراکم روزنه گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*)

آنالیز صفات نشان داد که ژنوتیپ تنها بر روی صفات طول، عرض و تعداد روزنه دارای اثر معنی‌دار بوده است ($p<0/05$). در صفات طول و عرض روزنه به ترتیب ارقام Sawyers Black (پرکلاغی) و Bourdeaux (شرابی) (شکل ۶) و در صفت تعداد روزنه به ترتیب ارقام Yellow-Black (زرد) و Sawyers Black (پرکلاغی) بیشترین تاثیر را داشتند (شکل ۷). بنابراین در کل رقم Sawyers Black (پرکلاغی) تعداد و گشودگی روزنه بالاتری را به طور توام دارا بوده است که بسته به شرایط رشد آن می تواند یک رقم مناسب تر و یا بر عکس به حساب آید. برای مثال در شرایط گرم و خشک به دلیل تعرق بالا این رقم نامناسب است ولی در شرایط تولید

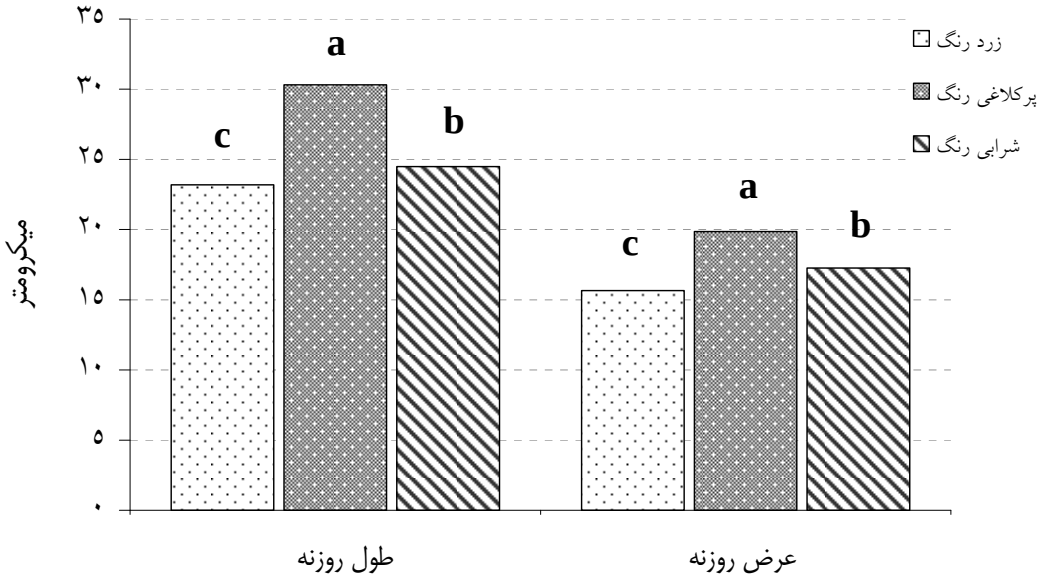
نشای گلخانه‌ای با غنی‌سازی با دی‌اکسیدکربن به دلیل افزایش جذب دی‌اکسیدکربن، رقم بهتری در بین سایر ارقام مذکور است. بنابراین به جز صفات ذکر شده، سایر صفات تابع ژنوتیپ نیستند. تصویر ۱ (A، B و C) تصاویر میکروسکوپی اثر دی‌اکسیدکربن و رژیم‌های نوری بر طول، عرض و تعداد روزنه رقم Yellow-Black (زرد) (A)، Bourdeaux (شرابی) (B) و Sawyers Black (پرکلاغی) را نشان می دهد.



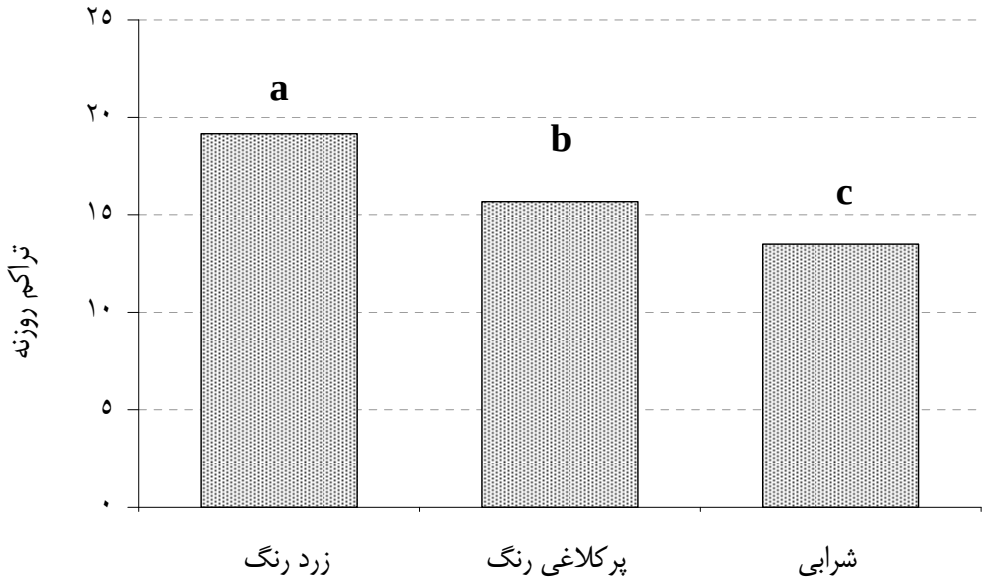
شکل ٤- اثر اصلی رژیم‌های نوری بر تعداد روزنه گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*)



شکل ٥- اثر اصلی سطوح مختلف نوری بر وزن خشک اندام هوایی روزنه گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*)



شکل ٦- اثر اصلی ارقام مختلف گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*) بر طول و عرض روزنه



شکل ۷- اثر اصلی ارقام مختلف گیاه زینتی بنفشه (*Viola tricolor*) بر تعداد روزنه

اثر متقابل دی‌اکسیدکربن و نور بر روی صفات طول، عرض و تعداد روزنه، وزن خشک اندام هوایی و سطح مخصوص برگ معنی‌دار شده است ($p < ۰/۰۵$). اثر متقابل دی‌اکسیدکربن و نور بر روی این صفات روند مشخصی نداشت و در صفات مختلف، اثرات متقابل تفاوت زیادی نشان دادند.

در صفات طول، عرض و تعداد روزنه، وزن خشک اندام هوایی و

سطح برگ اثرات متقابل دی‌اکسیدکربن و رقم معنی‌دار بود (p ۰/۰۵ >). در این اثر متقابل نیز در بین صفات مذکور به جز صفات طول و عرض روزنه روند مشابهی وجود نداشت. در هر دو صفت طول و عرض روزنه با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تقریبا در ۳ رقم کاهش گشودگی روزنه دیده شد و بر عکس که این نتیجه مطابق تحقیقات گذشته است که نشان می دهد در گونه‌های گیاهی مختلف با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن کاهش هدایت روزنه ای را خواهیم داشت (۱۷, ۲۱). محققین نشان داده اند که صفات آناتومیکی گیاهان (تراکم روزنه، تراکم سلول‌های اپیدرمی وطول روزنه و....) تحت تاثیر عوامل محیطی بوده و به عنوان یک عامل وراثتی شناخته نمی شود (۲۵). این نتایج با تحقیق ما کاملا سازگاری داشت. ژانگ و مارتین (۴۱) نیز نشان دادند که کوددهی با دی‌اکسیدکربن سبب افزایش طوقه گیاه می‌گردد. در گیاه کالانکوئه غلظت ۹۰۰ پی پی ام دی‌اکسیدکربن سبب افزایش وزن خشک گردید (۲۳).

در اثرات متقابل نور و رقم نیز صفات طول، عرض و تعداد روزنه، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ معنی‌دار شدند (p <۰/۰۵). در این اثر متقابل نیز بسته به صفت اندازه گیری شده اثرات متقابل نور و رقم بسیار متفاوت بودند و به طور کلی در صفات مذکور روند مشابهی نشان وجود نداشت. در بین صفات اندازه گیری شده اثرات متقابل سه‌گانه روی کلیه صفات به جز تعداد برگ هر گیاه و سطح مخصوص برگ معنی‌دار شد (p <۰/۰۵). به طور کل به دلیل اثرات متقابل پیچیده بین صفات اندازه گیری شده و نبود روند مشخص این اثرات بر روی صفات اندازه گیری شده و همچنین محدودیت صفحات مقاله از توضیح بیشتر این اثرات در اینجا خودداری شد و تنها جدول اثرات متقابل دی‌اکسیدکربن، نور و رقم در ادامه ارایه شده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه ۳ رقم بنفشه (*Viola tricolor*) در سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن و نور

ژنوتیپ	دی‌اکسیدکربن (میکرومول بر مول)	نور (لوکس)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)
Yellow-Black (زرد)	۵۰۰	۰	b ۰/۰۳۵۶۷	ab۰/۰۴۴۳۳	ab۰/۱۴۱۷	ab۰/۳۰۳۳
		۱۱۰۰۰	j۰/۰۱۸۶۷	ab۰/۰۳۵۶۷	ab۰/۰۹۸۶۷	abc۰/۱۴۸۰
		۱۴۰۰۰	fj۰/۰۲۲۰۰	ab۰/۰۳۶۰۰	ab۰/۰۸۳۶۷	a۰/۳۱۲۰
	۱۰۰۰	۰	f۰/۰۲۲۳۳	ab۰/۰۳۴۳۳	ab۰/۱۲۵۰	abc۰/۲۶۳۷
		۱۱۰۰۰	l۰/۰۱۰۳۳	ab۰/۰۲۵۳۳	ab۰/۰۸۹۰۰	bc۰/۱۱۲۷
		۱۴۰۰۰	fgh۰/۰۲۱۳۳	ab۰/۰۱۹۰۰	ab۰/۰۶۵۰۰	abc۰/۱۷۳۳
Sawyers-Black (پر کلاغی)	۵۰۰	۰	hij۰/۰۲۰۰	ab۰/۰۳۸۸۳	ab۰/۰۶۶۸۳	abc۰/۱۵۲۳
		۱۱۰۰۰	k۰/۰۱۲۶۷	ab۰/۰۱۸۳۳	ab۰/۰۴۴۶۷	abc۰/۱۱۶۷
		۱۴۰۰۰	a۰/۰۶۳۰۰	ab۰/۰۱۷۳۳	b۰/۰۲۸۶۷	c۰/۰۹۸۰۰
	۱۰۰۰	۰	l۰/۰۱۰۳۳	ab۰/۰۳۳۳۳	ab۰/۱۵۴۷	abc۰/۱۲۷۳
		۱۱۰۰۰	d۰/۰۳۰۰۰	ab۰/۰۱۴۶۷	b۰/۰۴۲۶۳	c۰/۰۹۲۳
		۱۴۰۰۰	ghij۰/۰۲۰۳۳	ab۰/۰۱۷۳۳	b۰/۰۳۳۳۳	c۰/۰۸۹۵۷
Bourdeaux (شرابی)	۵۰۰	۰	c۰/۰۳۲۳۳	ab۰/۰۵۳۳۳	ab۰/۱۴۲۰	abc۰/۲۶۳۰
		۱۱۰۰۰	fghi۰/۰۲۰۶۷	a۰/۰۷۷۳۳	ab۰/۰۴۹۳۳	abc۰/۲۷۴۳
		۱۴۰۰۰	e۰/۰۲۶۰۰	ab۰/۰۲۱۶۷	ab۰/۰۸۵۳۳	abc۰/۱۳۸۳
	۱۰۰۰	۰	f۰/۰۲۲۳۳	ab۰/۰۱۸۳۳	ab۰/۱۰۵۷	abc۰/۲۴۲۰
		۱۱۰۰۰	k۰/۰۱۲۰۰	ab۰/۰۱۵۳۳	a۰/۳۰۲۷	abc۰/۲۱۰۳
		۱۴۰۰۰	ij۰/۰۱۹۳۳	b۰/۰۱۲۶۷	ab۰/۰۸۲۳۳	abc۰/۱۳۰۷

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد و سطح هر برگ و عدد اسپد ۳ رقم بنفشه (*Viola tricolor*) در سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن و نور

ژنوتیپ	دی‌اکسیدکربن (میکرومول بر مول)	نور (لوکس)	تعداد برگ هر گیاه	سطح برگ $(cm)^2$	سطح مخصوص برگ	عدد اسپد
Yellow-Black (زرد)	۵۰۰	۰	a۶/۳۳۳	a۶/۲۴۷	a۸۹۲/۷	۳۳/۳۲ abc
		۱۱۰۰۰	a۶/۰۰۰	bcd۲/۸۰۷	a۷۱۸/۳	bc۳۲/۹۳
		۱۴۰۰۰	a۵/۶۶۷	a۶/۳۹۳	a۸۵۷/۲	۳۱/۸۳ bcd
	۱۰۰۰	۰	a۵/۶۶۷	abc۵/۲۱۰	a۷۱۹/۱	cd۳۰/۶۷
		۱۱۰۰۰	a۷/۳۳۳	cd۲/۲۳۳	a۶۹۹/۵	۳۳/۵۳
		۱۴۰۰۰	a۶/۳۳۳	abc۵/۳۳۳	a۷۷۲/۱	abc d۲۵/۶۷
Sawyers-Black (پر کلاغی)	۵۰۰	۰	a۵/۶۶۷	bcd۳/۰۷۷	a۱۱۲۱	bc۲۹/۷۳
		۱۱۰۰۰	a۶/۳۳۳	cd۲/۲۲۰	a۴۳۲/۴	۳۳/۵۷
		۱۴۰۰۰	a۵/۶۶۷	bcd۲/۷۳۷	a۹۲۷/۲	abc a ۳۹/۱۳
	۱۰۰۰	۰	a۷/۰۰۰	d۱/۸۳۷	a۹۶۰/۸	cd۲۹/۲۰
		۱۱۰۰۰	a۶/۳۳۳	d۱/۶۴۰	a۱۸۰۲	cd۳۰/۶۲
		۱۴۰۰۰	a۵/۳۳۳	cd۲/۲۰۰	a۷۰۱/۱	cd۲۷/۱۷
Bourdeaux (شرابی)	۵۰۰	۰	a۵/۰۰۰	ab۵/۳۹۷	a۱۱۱۴	ab۳۷/۷۰
		۱۱۰۰۰	a۵/۶۶۷	abcd۳/۶۰۰	a۴۵۳/۵	۲۷/۲۳
		۱۴۰۰۰	a۶/۶۶۷	abcd۳/۴۶۷	a۳۷۷/۷	cd bc۳۲/۸۷
	۱۰۰۰	۰	a۵/۰۰۰	abcd۴/۴۶۷	a۵۰۷/۶	cd۲۸/۴۰
		۱۱۰۰۰	a۶/۰۰۰	bcd۲/۹۸۳	a۴۱۸/۱	cd۲۹/۴۳
		۱۴۰۰۰	a۶/۳۳۳	bcd۲/۶۱۳	a۶۴۵	d۲۶/۲۰

همانگونه که نتایج این تحقیق نشان می دهد غلظت بالاتر دی‌اکسیدکربن (۱۰۰۰ میکرومول بر مول) باعث کاهش گشودگی روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای در بنفشه شد اما به‌رغم این‌که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از این نقطه نظر مثبت بود اما از طرف دیگر دیده شد که در این غلظت کاهش وزن ماده خشک دیده می‌شود هر چند بنفشه یک گیاه زینتی است و افزایش ماده خشک اهمیت زیادی در این گیاه ندارد با این وجود افزایش ماده خشک می‌تواند بر روی برخی صفات زایشی مثل زودرسی، تعداد گل و برخی صفات کیفی مثل رنگ گل تاثیر گذار باشد. در مورد استفاده از رژیم‌های نوری دیده شد که نور معمولی خورشید در مقایسه با کاربرد رژیم‌های نوری به طور کلی باعث افزایش وزن خشک بیشتری شد که شاید یکی از دلایل آن کاهش میزان تبخیر و تعرق ناشی از کاهش گشودگی روزنه‌ها باشد. بنابراین استفاده از رژیم‌های نوری در این آزمایش تاثیر مثبت بسزایی در بهبود صفات نداشت. در بین ارقام به‌کار گرفته شده، هر چند رقم Yellow-Blacke (زرد) گشودگی روزنه کمتری داشت اما رقم Sawyers Black (شرابی) به طور کلی در صفات بررسی شده نتایج بهتری را نشان داد چرا که تعداد روزنه بسیار کمتری از رقم Yellow-Blacke (زرد) نشان داد و بنابراین در کل، تعرق کمتری داشت. اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه دی‌اکسیدکربن، نور و رقم بسیار متغیر بودند و روند مشخص و نسبتا یکسانی بین هیچ یک از صفات جهت تفسیر و نتیجه گیری کلی وجود نداشت. در نهایت استفاده از دی‌اکسیدکربن و رژیم‌های نوری برای تولید نشای گلخانه‌ای گیاهان زینتی نشایی مثل بنفشه نیاز به تحقیقات بیشتر از نظر آزمایش سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن و نور و همچنین پیگیری اثر این تیمارها در مراحل بعدی رویشی و زایشی بویژه مرحله گلدهی دارد.

جدول ٤- مقایسه میانگین تعداد، طول و عرض ۳ رقم بنفشه (*Viola tricolor*) در سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن و نور

ژنوتیپ	دی‌اکسیدکربن (میکرومول بر مول)	نور (لوکس)	تعداد روزنه ($1mm^2$)	طول روزنه (میکرومتر)	عرض روزنه (میکرومتر)
Yellow-Black (زرد)	۵۰۰	۰	ef۱۵	g۲۳/۶۴	hi۱۶/۱۴
		۱۱۰۰۰	a۲۴	d۲۷/۳۱	d۲۰/۵۲
		۱۴۰۰۰	bc۲۱	ig۲۱/۱۷	l۱۱/۷۳
	۱۰۰۰	۰	ef۱۴	hi۲۱/۴۴	j۱۴/۸۳
		۱۱۰۰۰	b۲۱/۶۷	ef۲۵/۱۱	e۱۹/۸۲
		۱۴۰۰۰	cd۱۹/۳۳	j۲۰/۴۷	m۱۰/۸۷
Sawyers-Black (پر کلاغی)	۵۰۰	۰	e۱۶	c۲۹/۸۵	a۲۶/۵۱
		۱۱۰۰۰	fg۱۳	b۳۱/۵۹	h۱۶/۵۳
		۱۴۰۰۰	bc۲۰	a۳۲/۴۱	f۱۹/۲۳
	۱۰۰۰	۰	ef۱۵	d۲۷/۳۰	b۲۴/۲۱
		۱۱۰۰۰	gh۱۲	c۳۰/۱۲	j۱۴/۹۴
		۱۴۰۰۰	d۱۸	c۳۰/۵۹	g۱۷/۷۲
Bourdeaux (شرابی)	۵۰۰	۰	gh۱۲	d۲۶/۸۸	b۲۴/۳۵
		۱۱۰۰۰	ef۱۵	e۲۵/۷۰	g۱۸
		۱۴۰۰۰	ef۱۵	g۲۳/۵۵	k۱۲/۴۳
	۱۰۰۰	۰	h۱۰/۶۷	f۲۴/۹۲	c۲۱/۷۶
		۱۱۰۰۰	ef۱۵	g۲۳/۹۲	i۱۶
		۱۴۰۰۰	fg۱۳/۳۳	h۲۱/۹۹	m۱۱/۰۴

منابع

۱- خلیقی ا. ۱۳۶۴. پرورش گیاهان زینتی ایران، انتشارات روزبهان. تهران.

2- Aranjuelo I., Irigoyen J.J., P´erez P., Mart´ınez-Carrasco R. and S´anchez-D´ıaz M. 2005. The use of temperature gradient greenhouses for studying the combined effect of CO_2, temperature and water availability in N2 fixing alfalfa plants. Ann. Appl. Biol., 146:51–60.

3- Aranjuelo I., Irigoyen J.J., P´erez P., Mart´ınez-Carrasco R. and S´anchez-D´ıaz M. 2006. Response of nodulated alfalfa to water supply, temperature and elevated CO2: productivity and water relations. Environ. Exp. Bot., 55:130–141.

4- Bruggink G.T. 1992. A comparative analysis of the influence of light on growth of young tomato and carnation plants. Sci. Hort.-Amsterdam., 51:71-81.

5- Chen F.J., Wu G., Ge F., Parajulee M.N. and Shrestha R.B. 2005. Effects of elevated CO2 and transgenic Bt cotton on plant chemistry, performance, and feeding of an insect herbivore, the cotton bollworm. Entomol. Exp. Appl., 115:341–350.

6- Drake B.G. and Gonzàlez-Meler M.A. 1997. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO2? Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 48: 609–639.

7- Erice G., Irigoyen J.J., P´erez P., Mart´ınez-Carrasco R. and S´anchez-D´ıaz M. 2006. Effect of elevated CO2, temperature and drought on photosynthesis of nodulated alfalfa during a cutting regrowth cycle. Physiol. Plant., 126(3):458–468.

8- Ferris R., and Taylor G. 1994. Stomatal characteristics of four native herbs following exposure to elevated CO2. Ann. Bot., 73:447–453.

9- Heinemann A.B., Maia A.H.N., Dourado-Neto D., Ingram K.T., Hoogenboom G. 2006. Soybean (*Glycine max*(L.) Merr.) Growth and development response to CO2 enrichment under different temperature regimes. Eur. J.Agron.,

24:52–61.
10- Hurd R.G. and Thornley J.H.M. 1974. An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO2 concentrations. I. Physiological aspects. Ann. Bot., 38:375-388.
11- Idso K.E. and Idso S.B. 1994. Plant responses to atmospheric CO2 enrichment in the face of environmental constraints: A review of the past 10 years' research. Agricultural and Forest Meteorology, 69: 153-203.
12- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Summary for Policy-makers, Climate Change: The Physical Science Basis.
13- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. In: Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (Eds.), The Scientific Basis. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 335.
14- Jiao J. and Grodzinski B. 1998. Environmental influences on photosynthesis and carbon export in greenhouse roses during development of the flowering shoot. J. Am. Soc. Horticult., Sci. 123:1081–1088.
15- Jiao J., Tsujita M.J. and Grodzinski B. 1991. Optimizing aerial environments for greenhouse rose production utilizing whole-plant net CO2 exchange data. Can. J. Plant Sci. 71: 253–261.
16- Kimball, B.A., Kobayashi, K. and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO2 enrichment. Adv. Agron., 77:293- 368.
17- Lincoln D.E. and Couvet D. 1989. The effect of carbon supply on allocation to allelochemicals and caterpillar consumption of peppermint. Oecologia, 78:112–11.
18- Long S.P., Ainsworth E.A., Rogers A. and Ort D.R. 2004. Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future. Annu. Rev. Plant Biol., 55:591–628.
19- Masson J., N. Tremblay and Gosselin A. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. Transplant growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 116(4):594-598.
20- Masson J., N. Tremblay and Gosselin A. 1990. Effets de la fertilisation azotée sur la croissance de transplants de tomate et de laitue cultivés en plateaux multicellulaires avec ou sans éclairage d'appoint. Can. J. Plant Sci., 70(4):1199-1205.
21- Medlyn B.E., Barton C.V.M., Broadmeadow M.S.J., Ceulemans R., De Angelis P., Forstreuter M., Freeman M., Jackson S.B., Kellomäki S., Laitat E., Rey A., Roberntz P., Sigurdsson B.D., Strassemeyer J., Wang K., Curtis P.S. and Jarvis P.G. 2001. Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated CO2 concentration: a synthesis. New Phytol., 149:247–264.
22- Mortensen L. M. 1994. Effects of day/night temperature variations on growth, morphogenesis and flowering of *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poelln. at different CO2 concentrations, daylengths and photon flux densities, Scientia Horticulturae, 59:(3-4) 233-241.
23- Mortensen M. 1987. Review: CO_2 enrichment in greenhouses. Crop responses, Scientia Horticulture, (33) 1-2.
24- Pandey R., Chenhacko P.M., Choudhary M.L., Prasad K.V. and Madan P. 2007. Higher than optimum temperature under CO2 enrichment influences stomata anatomical chracters in rose (*Rosa hibrida*). Sci. Horti., 113:74-81.
25- Poorter H and Remkes C. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. Oecologia, 83:553–559.
26- Pritchard S.G., Rogers H.H., Prior S.A. and Peterson C.M. 1999. Elevated CO2 and plant structure: a review. Global Change Biol., 5:807–837.
27- Samarakoon A.B., Muller W.J. and Gifford R.M., 1995. Transpiration and leaf area under elevated CO2: effects of soil water status and genotype in wheat. Aust. J. Plant Physiol., 22:33–44.
28- Sasaki H., Hara T., Ito S., Uehara N., Kim H.Y., Lieffering M., Okada M. and Kobayashi K. 2007. Effect of free-air CO2 enrichment on the storage of carbohydrate fixed at different stages in rice (*Oryza sativa* L.). Field Crop Res., 100:24–31.
29- Schimel D.S. 1994. Radioactive forcing of climate change. Climate Change, pp. 39–71.
30- Serna L. and Fenoll C. 1997. Tracing the ontogeny of stomatal clusters in Arabidopsis with molecular markers. Plant J., 12:747–755.
31- Stacey D.A. and Fellowes M.D.E. 2002. Influence of elevated CO2 on interspecific interactions at higher trophic levels. Glob. Change Biol., 8:668–678.
32- Tremblay N and Gosselin A.1998. Effect of Carbon Dioxide Enrichment and Light, Hort Technology, 8(4):524-528.
33- Urban O. 2003. Physiological impacts of elevated CO2 concentration ranging from molecular to whole plant responses. Photosynthetica, 41(1):9–20.
34- Wang X.Z., Curtis P.S. and Vogel C.S. 2001. Effects of soil fertility and atom- spheric CO2 enrichment on leaf stem and root dark respiration of *Populus tremuloides*. Pedosphere, 11(3):199–208.
35- Wolfe D.W., Gifford R.M., Hilbert D. and Luo Y. 1998. Integration of photosynthetic acclimation to CO2 at the whole-plant level. Global Change Biol., 4:879–893.
36- Woodward F.I. and Kelly C. K. 1995. The influence of CO2 concentration on stomatal density. New Phytol., 131:311–327.

37- Woodward F.I. and Williams B.G. 1987. Climate and plant distribution at global and local scale. Vegetation, 69: 197-189.
38- Wu G., Chen F.J., Ge F. and Sun Y.C. 2007. Effects of elevated CO2 on the growth and foliar chemistry of transgenic Bt cotton. J. Integr. Plant Biol., 49(9):1361–1369
39- Wu G., Chen F.J. and Ge F. 2006. Response of multiple generations of cotton bollworm Helicoverpa armigera Hu¨bner, feeding on spring wheat, to elevated CO2. J. Appl. Entomol., 130(1):2–9.
40- Zhang J. and Lechowicz M.J. 1995. Responses to CO_2 Enrichment by Two Genotypes of *Arabidopsis thaliana* differing in their Sensitivity to Nutrient Availability. Annals of Botany., 75:(5), 491-499.
41- http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf, 2007.