

Effect of three light intensities and CO₂ concentration on Growth and Biochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum*) in Hydroponic culture

Sahebali Bolandnazar^{1*} , Ghaesm Shekari², Saiedeh Alizadeh Salteh¹, Jafar Hajillo³

Received: September 3, 2023

Accepted: August 20, 2024

1-Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2-PhD student, Dept. of Horticulture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3-Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Sahebali Bolandnazar E-mail: bolandnazar@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Basil is one of the most important plants belonging to the mint family. Today, it has been well proven that carbon dioxide plays an important role in the growth of agricultural products and light is the source of energy for the plant. Light and carbon dioxide are important adjustable environmental factors in the production of greenhouse products. In this study, the effect of different concentrations of carbon dioxide and different light intensities on the growth characteristics of the medicinal plant basil under hydroponic cultivation conditions was investigated in order to achieve the minimum possible time to produce a plant of a certain size. The main objective of this study was to increase the quantity and quality of basil, as well as to investigate the effect of carbon dioxide and artificial light on the growth and development characteristics of basil plants, to investigate the efficiency of element absorption, and to investigate the simultaneous effect of carbon dioxide and artificial light on improving growth characteristics.

Materials and Methods: This research was conducted in the Vegetable Physiology Laboratory of Tabriz University. This experiment was carried out as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. The first factor was light at three levels of 78, 156 and 234 micromoles/m²/s, with high-efficiency LED lamps placed at a height of 40 cm above the plant. And the second factor is carbon dioxide at 3 levels of ambient carbon dioxide, carbon dioxide 750 mg/L and 1500 mg/L, which was a source of pure edible carbon dioxide with a purity of 99.99%. Two 4-liter cylinders, a solenoid valve and a regulator were used for injection, as well as a carbon dioxide sensor manufactured by Unity Taiwan. In order to prepare seedlings, basil seeds of the Genovese variety were sown in cultivation trays (with separate cells) containing peat and perlite in a ratio of 60:40 with a volume of 90 cc. To feed the seedlings, complete Hoagland nutrient solution was used every three days from the end of the first week of cultivation. The daytime temperature was 26 degrees Celsius and the night temperature was 21 degrees Celsius. The average ambient humidity was 65 percent and the air in the room was continuously circulated. In this experiment, plant fresh and dry weight (biomass), leaf area index, chlorophyll content, carotenoid, nitrogen uptake, nitrate, and leaf area index were examined.

Results: The results showed that the increase in light intensity and carbon dioxide concentration led to a significant increase in the leaf area, plant height, shoot fresh and dry weight (shoot biomass), number of leaves, chlorophyll content, carotenoids, nitrate accumulation rate, the percentage of dissolved solids and nitrogen absorption. In this way, in the treatment of 1500 mg/liter of carbon dioxide with 234 μmol/s of light, the amount of dry weight, wet weight, carotenoids, chlorophyll, plant height, surface and number of leaves and nitrogen were increased 280, 100, 160, 123, 100, 163, 128 and 24 % respectively. In the light treatment of 156 μmol/s and carbon dioxide 1500 mg/liter, the amount of dissolved solids increased by 76%. Also, in the light of 234 μmol/s and carbon dioxide of 500 mg/liter, nitrate increased by 115%.

Conclusion: The results of this study showed that the injection of carbon dioxide and light had a positive effect on the growth of basil plants, and the best results occurred with an intensity of 234 micromoles per square meter per second and 1500 mg of carbon dioxide. Of course, acceptable results were also obtained in the treatment of light intensity of 156, which was very different from the control plants. Carbon dioxide requires the availability of light conditions to create a positive effect, while light did not require carbon dioxide to create a positive effect. Therefore, in order to achieve the highest quality and quantity, the treatment of light of 156 and 234 micromoles per square meter per second along with 1500 mg/liter of carbon dioxide will have the best effect.

Keywords: Artificial Light, Basil, Carbon Dioxide, Hydroponics



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Sahebali Bolandnazar E-mail: bolandnazar@tabrizu.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.58270.3105>



تأثیر سه شدت نور و دی اکسیدکربن بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum*) در شرایط آبکشت

صاحبعلی بلندنظر^{۱*}، قاسم شکاری^۲، سعیده علیزاده سالطه^۱، جعفر حاجیلو^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

۱-استاد و دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- دانشجوی دکتری گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳-استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: E-mail: bolandnazar@tabrizu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: ریحان یکی از مهم‌ترین گیاهان متعلق به خانواده نعنائیان است امروزه به‌خوبی اثبات شده است که دی اکسیدکربن نقش مهمی را در رشد محصولات کشاورزی بازی می‌کند و نور منبع انرژی گیاه است. نور و دی اکسیدکربن از عوامل مهم محیطی قابل تنظیم در تولید محصولات گلخانه‌ای هستند. در این تحقیق، تأثیر غلظت‌های مختلف دی اکسیدکربن و شدت‌های مختلف نور بر خصوصیات رشدی گیاه دارویی ریحان در شرایط کشت هیدروپونیک به منظور رسیدن به حداقل زمان ممکن برای تولید گیاه با اندازه معین بررسی شد. هدف اصلی این تحقیق افزایش کمیت و کیفیت در ریحان همچنین بررسی تأثیر دی اکسیدکربن و نور مصنوعی بر خصوصیات رشد و نمو گیاه ریحان بررسی کارایی جذب عناصر و بررسی تأثیر هم‌زمان دی اکسیدکربن و نور مصنوعی بر بهبود خصوصیات رشدی بود

مواد و روش‌ها: این پژوهش در آزمایشگاه فیزیولوژی سبزی دانشگاه تبریز انجام شد، این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول نور در سه سطح ۷۸، ۱۵۶ و ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه که لامپ‌ها با کارایی مصرف بالا و از نوع ال ای دی بود و در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری بالای گیاه قرار گرفت. و فاکتور دوم دی اکسیدکربن در ۳ سطح دی اکسیدکربن محیط، دی اکسیدکربن ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۱۵۰۰ میلیگرم در لیتر می‌باشد که از منبع دی اکسیدکربن خالص خوراکی با خلوص ۹۹.۹۹ درصد استفاده شد برای تزریق از دو سیلندر ۴ لیتری، یک شیر برقی و ریگلاتور تنظیم همچنین سنسور سنجش میزان دی اکسیدکربن استفاده شد که ساخت شرکت یونی تی تایوان بوده به منظور تهیه نشاء، بذره‌های ریحان رقم جنووز (Genovese) در سینی‌های کشت (دارای سلول‌های جداگانه) حاوی پیت و پرلایت با نسبت ۶۰:۴۰ کشت با حجم ۹۰ سی سی شد و جهت تغذیه نشاءها محلول غذایی هوگلدن کامل از پایان هفته اول کشت هر سه روز یک‌بار مورد استفاده قرار گرفت. دمای روز ۲۶ درجه سلسیوس و دمای شب ۲۱ درجه سلسیوس بود. میزان رطوبت متوسط محیط ۶۵ درصد و گردش هوای درون اتاق به صورت مداوم انجام شد. در این آزمایش وزن تر و خشک گیاه (بیوماس)، شاخص سطح برگ، محتوی کلروفیل، کارتنوئید، جذب نیتروژن، نیترات و شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نشان داد که افزایش شدت نور و غلظت دی اکسید کربن منجر به افزایش معنی دار در سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک شاخساره (بیوماس اندام هوایی)، تعداد برگ، محتوی کلروفیل، کارتنوئید، میزان تجمع نیترات، درصد مواد جامد محلول و جذب نیتروژن شد. به این صورت که در تیمار ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر دی اکسیدکربن همراه ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه نور مقدار وزن خشک اندام هوایی، وزن تر اندام هوایی، کارتنوئید، کلروفیل، ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد برگ و نیتروژن به ترتیب ۲۸۰، ۱۰۰، ۱۶۰، ۱۲۳، ۱۰۰، ۱۶۳، ۱۲۸، ۲۴ درصد افزایش یافت. و در تیمار نور ۱۵۶ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و دی اکسیدکربن ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقدار مواد جامد محلول ۷۶ درصد افزایش یافت. همچنین در نور ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و دی اکسیدکربن ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات ۱۱۵ درصد افزایش یافت.

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که تزریق دی اکسیدکربن و نور روی رشد گیاه ریحان اثر مثبت داشته و بهترین نتایج با شدت ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و دی اکسید کربن ۱۵۰۰ میلی گرم رخ داد. البته در تیمار شدت نور ۱۵۶ نیز نتایج قابل قبول بدست آمد، که تفاوت زیادی با گیاهان شاهد داشت. دی اکسید کربن برای ایجاد اثر مثبت نیازمند فراهم بودن شرایط نوری هست در حالی که نور برای ایجاد اثر مثبت نیازمند دی اکسید کربن نبود لذا به منظور رسیدن به بالاترین کیفیت و کمیت تیمار نور ۱۵۶ و ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه همراه با ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر دی اکسیدکربن بهترین اثر را خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: دی اکسید کربن، ریحان، نور مصنوعی، هیدروپونیک

مقدمه

موثر در رشد و عملکرد گیاه است. رشد و نمو گیاه با کیفیت، شدت و دوره نوری تنظیم می شود. نیاز نوری گیاهان به گونه، رقم، مراحل رشد گیاه و شرایط محیطی بستگی دارد (کانگ و همکاران ۲۰۱۳). شدت نور می تواند تأثیر مثبتی بر تجمع مواد فتوشیمیایی داشته باشد، اما اثرات کیفیت نور پیچیده تر است. طیف نور بر روی ویژگی های کیفی ریحان اثر داشته و برای مثال نور آبی باعث افزایش ۴ برابری مقدار اسانس ریحان می شود (آماکی و همکاران ۲۰۱۵). ریحان یک محصول ایده آل برای کشاورزی عمودی با نور مصنوعی بوده و به شرایط آب و هوایی کنترل شده پاسخ مثبت می دهد (سیپوز و همکاران ۲۰۲۰). تغییرات طیف نور، پاسخ های مورفولوژیک و فتوسنتزی متفاوتی در بین گونه های مختلف گیاهی ایجاد می کند. چنین عکس العمل هایی در فن آوری های اخیر کشت گیاه اهمیت عملی دارند، و از آنجایی که امکان سنجش طیف های روشنایی وجود دارد و اثر طیف های مختلف نور بر روی فیزیولوژی و

ریحان (*Ocimum basilicum L.*) از سبزی های برگی و گیاهی دارویی از خانواده نعنائیان^۱ است، که تنوع زیادی در سطح مورفولوژی و ترکیبات ثانویه به ویژه اسانس دارد. این سبزی معطر حاوی چندین ترکیب آنتی اکسیدانی است و نقش مهمی در سطوح سلولی ایفا می کند (آماکی و همکاران ۲۰۱۵). کشاورزی عمودی و استفاده از نور مصنوعی به طور فزاینده ای برای تولید سبزیجات و گیاهان برگی مانند ریحان در حال استفاده است در ریحان بیشتر تحقیقات در زمینه نور مصنوعی بر افزایش متابولیت های ثانویه با طیف نور متمرکز شده است و یافته ها در مورد تأثیر شدت و طیف های نور بر رشد و مورفولوژی ریحان کلیدی برای بهینه سازی کیفیت در پس از برداشت است. تأثیر طول روز و طیف نور بر رشد و نمو گیاه به گونه وابسته است و در حال حاضر مطالعات کمی در مورد ریحان انجام شده است (لارسن و همکاران ۲۰۲۰). نور، از عوامل مهم و

مورفولوژی گیاه معلوم است به طور هدفمند فرد را قادر می‌سازد تا رشد، نمو گیاه را کنترل کند (کانگ و همکاران ۲۰۱۳). نور با اثر بر روی میزان هدایت روزنه‌ای، نرخ فتوسنتز و همچنین شاخص سطح برگ ریحان بر روی سرعت رشد نسبی و نرخ افزایش زیست توده آن نیز اثر می‌گذارد. میزان اثر نور بسیار وابسته به کیفیت و شدت نور می‌باشد (فرازکت و همکاران ۲۰۱۴).

دی‌اکسیدکربن در پرورش ریحان باعث افزایش سطح آنتوسیانین، کلروفیل و فعالیت فتوسنتز همچنین با کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق باعث افزایش کارایی مصرف آب گیاه شده است (بریکمن و همکاران ۲۰۲۱). افزایش دی‌اکسیدکربن عملکرد سبزیها را افزایش می‌دهد و می‌تواند بر کیفیت غذایی آنها نیز اثر بگذارد. با افزایش دی‌اکسیدکربن میزان فروکتوز، گلوکز، قند محلول، ظرفیت آنتی اکسیدانی، فنول کل، فلاونوئیدها، اسکوربیک اسید و کلسیم در بخش خوراکی سبزیها افزایش یافت اما غلظت پروتئین، نیترات، منیزیم، آهن و روی کاهش یافت. (دانگ و همکاران ۲۰۱۸). گزارش شده است که غنی سازی با دی‌اکسیدکربن بر کیفیت میوه گوجه‌فرنگی در پارامترهای استحکام گوشت، اسیدیته و ویتامین ث، مواد جامد محلول و ماده خشک تأثیر نمی‌گذارد (شوینگ و مارک ۲۰۱۷). غلظت‌های بالاتر دی‌اکسیدکربن باعث افزایش فتوسنتز و در پی آن زیست‌توده گیاهی شده و کیفیت غذایی را نیز تغییر می‌دهد. البته تأثیرات احتمالی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر سلامت انسان از طریق تغییرات روی متابولیت‌های گیاهی باید بررسی شود (سیپوز و همکاران ۲۰۲۰). نهال‌هایی راش اروپایی (*Fagus sylvatica L.*) که تحت دی‌اکسیدکربن بالا رشد کرده بودند، هدایت روزنه‌ای به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر داشتند همچنین شاخص محتوای کلروفیل برگ و محتوای نیتروژن برگ به شدت با یکدیگر و هر دو همبستگی مثبت داشتند و تحت دی‌اکسیدکربن بالا کاهش یافته است. وزن خشک ساقه در اثر دی‌اکسیدکربن بیشتر شده و وزن خشک ریشه تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت (لطفی مرام و همکاران ۲۰۱۶). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن می‌تواند رشد گیاه را از طریق افزایش نرخ فتوسنتزی تحریک کند. (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به طور

قابل توجهی زیست‌توده‌گیاهی، سرعت فتوسنتز، میزان کربوهیدرات‌های غیرساختاری، فومارات، گلوتامین، گلوکاتینون، آسکوربات، فیلوکینون، آنتوسیانین ها و فلاونوئیدها و مواد معدنی را در ریحان افزایش می‌دهد دی‌اکسیدکربن و اکسیژن برای اتصال به آنزیم روبیسکو با هم رقابت می‌کنند، و دی‌اکسیدکربن زیاد اکسیژن را سرکوب می‌کند. واکنش روبیسکو، منجر به تثبیت کربن می‌شود و کمک زیادی به تنفس از طریق تامین سوپسترا خواهد کرد. بهبود همزمان فتوسنتز و تنفس، واسطه‌ها و انرژی مورد نیاز را برای سنتز مجموعه وسیعی از متابولیت‌های اولیه و ثانویه فراهم می‌کند و در این زمینه، شواهد زیادی برای هماهنگی نزدیک بین متابولیسم‌های کربن و نیتروژن در هر دو سطوح بیوشیمیایی و رونویسی وجود دارد. علاوه بر این، مشخص شده است که تزریق دی‌اکسیدکربن راندمان مصرف آب گیاهان را از طریق کاهش سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای افزایش می‌دهد (الجونی و همکاران ۲۰۱۸). تغییرات اندک در غلظت دی‌اکسیدکربن می‌تواند تأثیر معنی داری بر میزان فتوسنتز گیاهان داشته باشد. و در زمان روشن بودن هوا، هنگامی که غنی سازی دی‌اکسیدکربن و فعالیت انسانی وجود نداشته باشد، غلظت دی‌اکسیدکربن می‌تواند به حد بسیار کم و نزدیک به نقطه جبران دی‌اکسیدکربن کاهش یابد و در صورت کمبود دی‌اکسیدکربن تشخیص "گرسنگی دی‌اکسیدکربن" بسیار دشوار است، زیرا گیاهان به آهستگی و بدون علائم تحت غلظت کم دی‌اکسیدکربن رشد می‌کنند. به طور مشابه، تشخیص غلظت دی‌اکسیدکربن بیش از حد به همان اندازه دشوار است که در بیشتر موارد از علائم گیاه تشخیص داده شود. بنابراین، برای حفظ رشد بهینه گیاه، مهم است که به طور مداوم، غلظت دی‌اکسیدکربن در محل رشد گیاه کنترل شود. حداقل غلظت دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌ها یا اتاق رشد گیاهی باید به اندازه غلظت آن در جو و یا در حدود آن حفظ شود (کوزای و همکاران ۲۰۱۵). بررسی مدل‌های فتوسنتزی محصولات مختلف برای پیش‌بینی غلظت بهینه دی‌اکسیدکربن ضروری است. پیشنهاد شده است که برای بهره‌وری بیشتر در سیستم های کشت بسته در طول دوره رشد غلظت دی‌اکسیدکربن ثابت باشد (جانگ و همکاران ۲۰۱۶). بررسی

مواد و روش ها

این پژوهش در آزمایشگاه فیزیولوژی سبزی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شامل فاکتور اول دی اکسیدکربن در ۳ سطح ۷۵۰، ۳۵۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر که از منبع دی اکسیدکربن خالص خوراکی استفاده شد که توسط یک کپسول ۴ لیتری به محیط گیاه تزریق شد و فاکتور دوم شامل نور مصنوعی در سه سطح ۷۸، ۱۵۶ و ۲۳۴ میکرومول در متر مربع در ثانیه که لامپ‌ها با کارایی مصرف بالا و از نوع ال ای دی بود و در ارتفاع ۴۰ سانتی متری بالای گیاه قرار گرفت. به منظور تهیه نشاء، بذره‌های ریحان رقم جنووز (Genovese) در سینی‌های کشت (دارای سلول‌های جداگانه) حاوی پیت و پرلایت با نسبت ۴۰:۶۰ کشت شده و جهت تغذیه نشاءها محلول غذایی هوگلند کامل از پایان هفته اول کشت هر سه روز یکبار مورد استفاده قرار گرفت. دمای روز ۲۶ درجه سلسیوس و دمای شب ۲۱ درجه سلسیوس تنظیم شد. میزان رطوبت متوسط محیط ۶۵ درصد و گردش هوای درون اتاق به صورت مداوم انجام شد. با شروع دوره گلدهی، قسمت‌های هوایی گیاهان برداشت شد و سپس وزن تر اندام هوایی به وسیله ترازو با دقت ۰.۰۱ گرم توزین و اندام‌های گیاه در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس، خشک شد و وزن خشک آن‌ها به دست آمد. تعیین سطح برگ گیاهان توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل Li-Cor-Model Li 1300 USA صورت گرفت. سطح ویژه برگ، نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ، برحسب سانتی متر مربع بر گرم محاسبه شد (فرازاکت و همکاران ۲۰۱۴). میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دستی مدل Atago-atc-1 اندازه گیری و برای تعیین نیتروژن از روش کج‌لال استفاده شد (برمر ۱۹۶۰). و اندازه‌گیری نیترات با روش سولفوسالسیلیک اندازه گیری شد (طباطبایی ۱۳۹۲). سنجش میزان رنگیزه‌ها، با استفاده از عصاره متانولی و قرائت توسط اسپکتروفتومتر انجام شد. در تمامی بوته‌ها از برگ‌های دوم توسعه‌یافته جهت نمونه‌برداری استفاده شد تا اندازه‌گیری در شرایط یکسانی انجام شده باشد. (طباطبایی ۱۳۹۲). آزمایش‌ها

مکانیسم‌هایی که زیربنای پاسخ فتوسنتز و هدایت روزنه ای به افزایش غلظت دی اکسید کربن هستند و چگونگی فرآیندهای پایین دستی را بیان کرده و محدودیت‌های محیطی این دو را تعدیل می کند بسیار مهم خواهد بود. نحوه اثر دی اکسیدکربن بالا بر روی آنزیم روبیسکو و واکنش‌های تاثیرپذیر از روبیسکو در توضیح نحوه اثر دی اکسیدکربن بالا بر عملکرد گیاه بسیار موثر است (اینسورد و راجرز ۲۰۰۷). تزریق دی اکسیدکربن در گوجه فرنگی باعث افزایش سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی را افزایش می‌دهد. این موضوع به سن برگ نیز وابسته است و دی اکسیدکربن بر روی برگ‌های پیر بی اثر است (یله و همکاران ۱۹۹۰).

دی اکسیدکربن بالا ممکن است تولید ماده خشک را مستقیماً از طریق افزایش نرخ جذب خالص برگ‌ها و همچنین به طور غیر مستقیم از طریق افزایش شاخص سطح برگ افزایش دهد. راندمان مصرف نیتروژن نیز با افزایش دی اکسیدکربن بالاتر خواهد رفت از آنجایی که یک همبستگی کلی بین شاخص سطح برگ و نیتروژن بالای زمین وجود دارد و رشد سطح برگ با مقدار نیتروژن جذب شده از خاک کنترل می شود. این فرضیه نشان می دهد که افزایش سطح شاخص سطح برگ با افزایش دی اکسیدکربن ممکن است به دلیل افزایش جذب نیتروژن با افزایش رشد ریشه باشد (هیروس و همکاران ۱۹۹۶). با افزایش مقدار دی اکسیدکربن محیط مقدار تجمع ماده خشک، سطح برگ، میزان نرخ جذب خالص و واکنش کربوکسیلاسیون آنزیم روبیسکو افزایش می‌یابد (بازار ۱۹۹۰). افزایش دی اکسیدکربن موجب افزایش رشد و تجمع کربوهیدرات می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۴). گیاه در زمان افزایش دی اکسیدکربن محیط، هدایت روزنه‌ای خود را کاهش می‌دهد. بنابراین برای جذب دی اکسیدکربن آب کمتری از دست می‌دهند و کارایی مصرف آب در گیاه بالاتر خواهد بود (بونس ۲۰۰۴). افزایش دی اکسیدکربن ۳۰ تا ۴۰ درصد هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد. که البته این مقدار به گونه گیاهی بستگی دارد (لئو و همکاران ۲۰۰۸).

گرفت. مقایسات میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا و داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نور (L) و دی‌اکسید کربن (CO_2) بر صفات مختلف گیاه ریحان

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	سطح برگ	تعداد برگ	نیتрат	نیتروژن کل
L	۲	۳۳۲.۳۳**	۸۱۱۰.۰۳**	۵۲.۷**	۲۶۵۹۴۲۴.۳**	۰.۱۶**
CO_2	۲	۳۸.۱**	۳۵۵.۷**	۳.۳۷*	۸۱۵۷.۲۴**	۰.۰۰۰۶ns
$L*CO_2$	۴	۱۳.۲۷**	۱۶۷.۷۵*	۰.۱۴۸ns	۱۸۴۱.۶*	۰.۰۰۲۲ns
خطا	۲۶	۱.۴۸	۴۱.۲۲	۰.۵۹	۵۰۷.۶	۰.۰۰۵۶
ضریب تغییرات (%)		۵.۹	۷.۸	۹.۴۴	۱.۵۳	۵.۵

نتایج و بحث

وزن تر و خشک

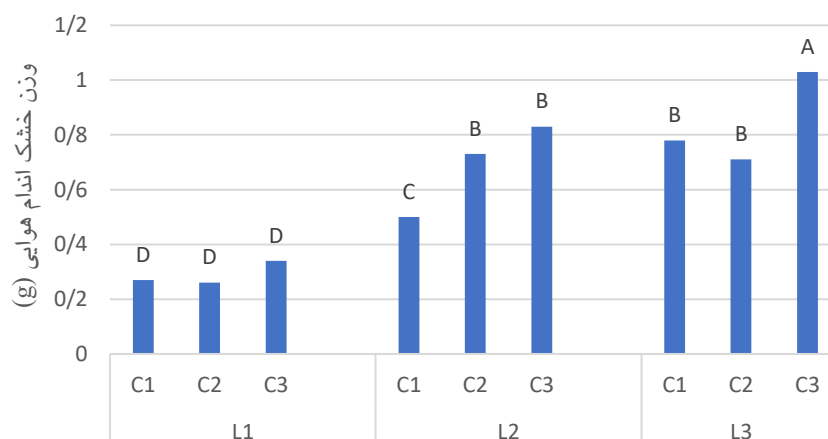
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل دو تیمار نیز در سطح یک درصد و همچنین اثر نور و

دی‌اکسیدکربن در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱) با افزایش مقدار نور مقدار وزن خشک و تر اندام هوایی افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۱ و ۲).

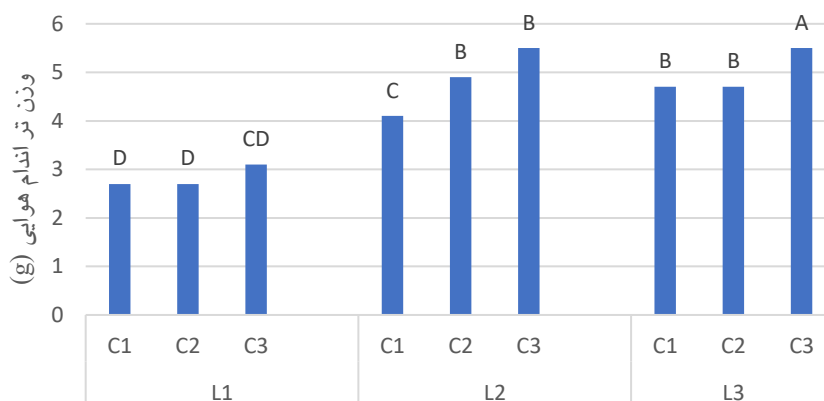
ادامه جدول ۱

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	کارتونوئید	کلروفیل	مواد جامد محلول
L	۲	**۷.۰	**۸۷.۱۲	**۹.۱	**۱۵.۲	**۱۹.۰
Co_2	۲	**۱۱.۰	**۹۸.۱	*۱۰.۸.۰	**۷۵.۰	*۰.۱۹.۰
$L*CO_2$	۴	*۰.۳.۰	*۲۶.۰	*۰.۱۹.۰	*۱۴.۰	*۰.۱۹.۰
خطا	۲۶	۰.۱.۰	۱۳.۰	۰.۱۹.۰	۰.۶۶.۰	۰.۰۴۴.۰
ضریب تغییرات (%)		۶۶.۱۶	۴۳.۸	۲۸.۱۰	۶.۱۲	۰.۴۳.۱۱

NS عدم معنی‌داری، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد



شکل ۱- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی وزن خشک اندام هوایی گیاه ریحان



نور L و دی اکسید کربن C

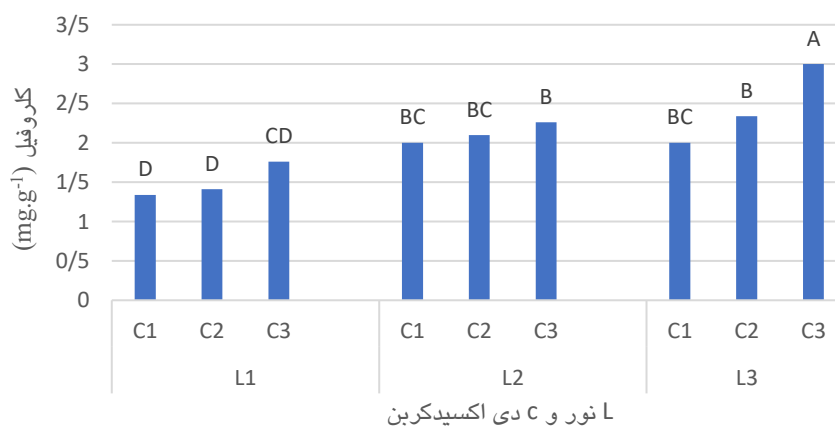
شکل ۲- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی وزن تر اندام هوایی گیاه ریحان

اعلام کردند که دی اکسیدکربن بالا تا حدی جبران کمبود نور را نیز می کند (مو و مورتسنس ۱۹۸۳). در گوجه فرنگی تیمار نور و دی اکسیدکربن به تنهایی و همراه باهم اثر مثبت و معنی داری بر روی وزن تر و خشک داشتند و تیمار توام تا ۹ برابر وزن خشک گیاه را افزایش داد (مرگان ۱۹۸۶). در تولید نشا مارچوبه، استفاده از نور مصنوعی به همراه دی اکسیدکربن، وزن خشک شاخساره را تا دو برابر افزایش داد، به نظر می رسد این افزایش وزن خشک مربوط به تاثیر غلظت دی اکسیدکربن بر روی فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات و کاهش تنفس نوری و در پی آن تثبیت بیشتر کربن باشد. از طرفی نور مصنوعی در شرایط آزمایشگاهی با تغییر در ساختار برگ و مقدار سطح برگ، شرایط بهتری را برای استفاده از دی اکسیدکربن فراهم می کند (دسجاردین و همکاران ۱۹۹۰).

تزریق دی اکسیدکربن در هر سه سطح در مقدار نور ۷۸ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه تاثیر معنی دار نداشت و افزایش نور مصنوعی، و مقدار دی اکسید کربن باعث افزایش وزن خشک شاخساره شد. به طوری که در نور ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر دی اکسیدکربن، مقدار وزن تر و خشک شاخساره به ترتیب ۱۰۰ و ۲۸۰ درصد افزایش یافت که در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). به نظر می رسد که اثر دی اکسیدکربن بر روی وزن تر و خشک نیازمند وجود یک مقدار حداقلی از نور است و با افزایش مقدار نور اثر دی اکسیدکربن نیز بیشتر می شود. در گوجه فرنگی استفاده از نور مصنوعی و تزریق دی اکسیدکربن باعث افزایش ۵۰ درصدی وزن خشک شده است (فیرو ۱۹۹۴). در گیاه داوودی ترکیب نور مصنوعی و تزریق دی اکسیدکربن باعث افزایش میزان نرخ رشد شده و



شکل ۳- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی میزان کارتنوئید گیاه ریحان



شکل ۴- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی کلروفیل گیاه ریحان

کلروفیل و کارتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل دو تیمار در سطح ۱ درصد معنی دار و اثر شدت نور و دی اکسیدکربن نیز در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۱) در مورد رنگیتهای نوری با افزایش مقدار نور از ۷۸ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه تا ۱۵۶ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه میزان رنگیته نوری افزایش معنی داری نشان داد. با افزایش نور از ۱۵۶ به ۲۳۴ میکرو

مول بر متر مربع در ثانیه فقط با افزایش مقدار دی اکسیدکربن تا ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر ، مقدار رنگیتهها افزایش یافت. به نظر می رسد برای مشاهده اثر دی اکسید کربن بر روی مقدار رنگیتهها باید مقادیر بالای آن را تزریق کرد و نور را نیز در سطح ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه به عنوان حداقل در نظر گرفت. تیمار دی اکسیدکربن ۱۵۶ میلی گرم همراه ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه نور باعث افزایش به ترتیب ۱۲۳ و ۱۶۰



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Sahebali Bolandnazar E-mail: bolandnazar@tabrizu.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.58270.3105>

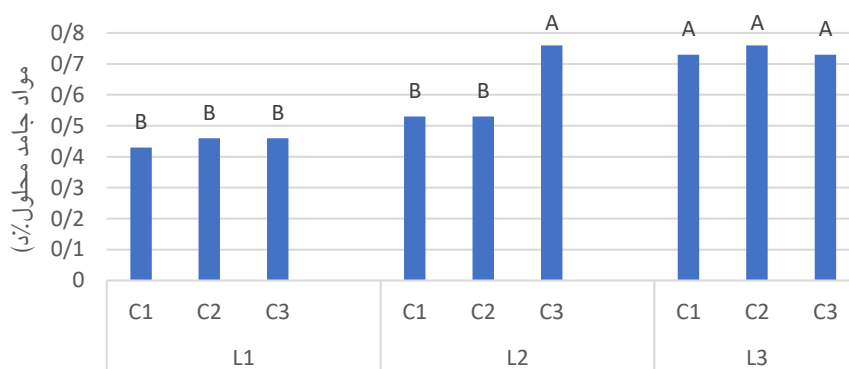


غذایی کاروتنوئیدها پاسخ متفاوتی به سطوح بالای دی-اکسید کربن دیده شده است (بسلام و همکاران ۲۰۱۳).

درصد مواد جامد محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده نور بر روی درصد ماده جامد محلول در سطح ۵ درصد و اثر دی اکسید کربن بر روی ماده جامد محلول در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱) درصد مواد جامد محلول با اعمال تیمارها به مقدار قابل توجهی تحت تأثیر قرار گرفت به نحوی که در تیمار نور ۱۵۶ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و دی اکسید کربن ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقدار مواد جامد محلول ۷۶ درصد افزایش یافت. (شکل ۵).

درصدی مقدار کلروفیل و کارتنوئید گردید (شکل ۳ و ۴). این افزایش با توجه به جدول تجزیه واریانس در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). افزایش روشنائی تکمیلی روی رشد خیار اثر مثبت داشته و مقدار فتوسنتز، زیست توده، کلروفیل برگ و عملکرد را افزایش داد (هائو و پاپادوپولوس ۱۹۹۹). با تغییر نور، نرخ فتوسنتز، مقدار نشاسته و ساختار تیلاکوئیدها در گوجه فرنگی در اثر نورهای مختلف تغییر می کند (زیائو و همکاران ۲۰۱۱). در بادنجان تیمار با دی اکسید کربن در سطح ۹۵۰ میلی گرم در لیتر مقدار کلروفیل را افزایش داد، اما همین تیمار در سیب زمینی، پیاز خوراکی و کلم تأثیری در مقدار کلروفیل نداشت (ساج و همکاران ۱۹۸۹). بین گونه‌های گیاهی از نظر تغییرات ارزش



شکل ۵- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی درصد مواد جامد محلول گیاه ریحان

غذایی محصولات زراعی مرتبط است. درکاهو غلظت آنتوسیانین، زانتوفیل، کلروفیل و مواد معدنی، وزن تازه و خشک کاهو با افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش می یابد (هالی و همکاران ۲۰۲۲).

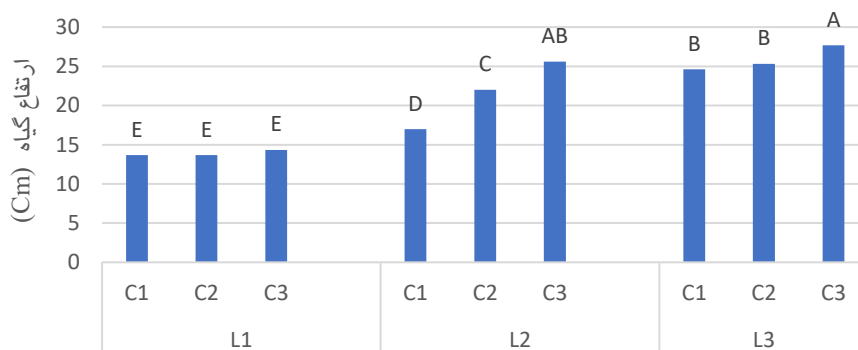
ارتفاع گیاه، سطح برگ و تعداد برگ

اثر متقابل نور و دی اکسید کربن روی ارتفاع گیاه و سطح برگ به ترتیب در سطح ۵ و یک درصد معنی دار بود. شدت نور در سطح ۵ درصد بر روی ارتفاع گیاه، سطح برگ و تعداد برگ اثر مثبت داشت. غلظت دی-اکسید کربن بر روی ارتفاع و سطح برگ در سطح ۵ درصد و بر روی تعداد برگ در سطح یک درصد اثر معنی دار داشت، (جدول ۱). در مقدار نور ۷۸ میکرو مول

رشد و نمو گیاهان به فتوسنتز بستگی دارد و تزریق دی اکسید کربن باعث افزایش فتوسنتز، مقدار قندهای محلول و نشاسته در گوجه فرنگی و تنباکو شده است. افزایش دی اکسید کربن همچنین با افزایش تنفس تاریکی باعث ایجاد مواد حدواسط چرخه کربس و رشد بهتر می شود (لی و همکاران ۲۰۱۳). در ژربرا غنی سازی دی اکسید کربن محتویات فتوآسیمیلات ها (قند محلول، نشاسته و کلروفیل) را به طور معنی داری افزایش داد (شپینگ و همکاران ۲۰۱۴). افزایش دی اکسید کربن در محیط کنترل شده وسیله‌ای برای افزایش عملکرد یا کاهش نیازهای روزانه نور فراهم می کند. با این حال، افزایش غلظت دی اکسید کربن اغلب با کاهش ارزش

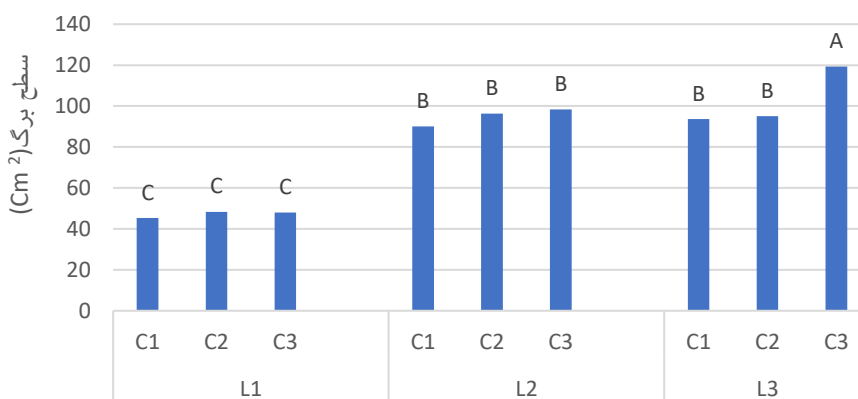
میلی گرم در لیتر همراه نور ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بهترین نتیجه را داشت و با افزایش ۱۰۰ درصدی ارتفاع گیاه شد (شکل ۶، ۷ و ۸).

بر متر مربع در ثانیه تیمار با دی اکسید کربن اثر معنی داری نداشت. با افزایش شدت نور ارتفاع گیاه بیشتر شد و وقتی افزایش نور با افزایش دی اکسید کربن همراه بود این اثر بیشتر شد. و تیمار دی اکسید کربن در سطح ۱۵۰۰



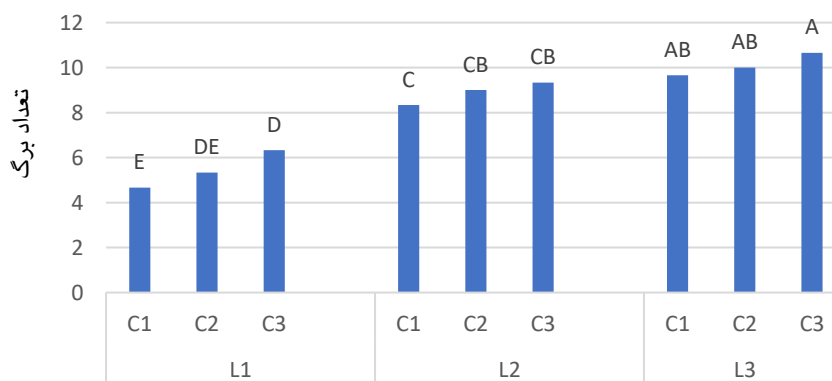
نور L و دی اکسید کربن C

شکل ۶- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی ارتفاع گیاه ریحان



نور L و دی اکسید کربن C

شکل ۷- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی سطح برگ گیاه ریحان



نور L و دی اکسید کربن C

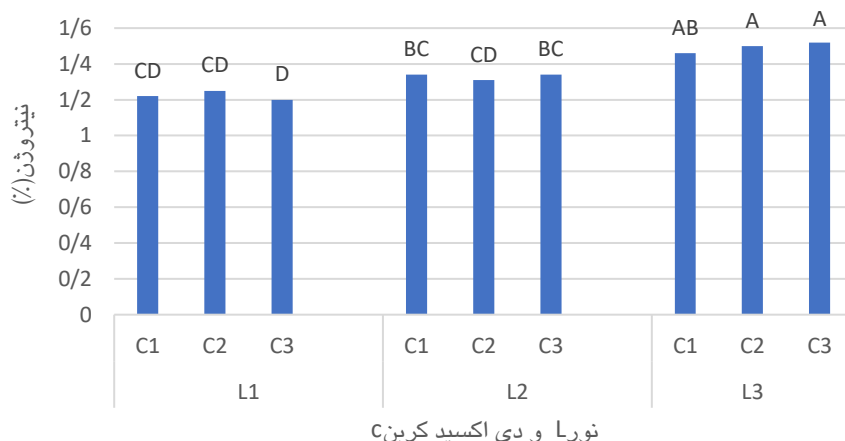
شکل ۸- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی تعداد برگ گیاه ریحان

نور و دی اکسید کربن به صورت توأم و تنها باعث افزایش تعداد برگ می شود. در گیاه صنوبر تعداد برگ، طول ساقه، سطح برگ، سرعت رشد به افزایش غلظت دی اکسیدکربن پاسخ مثبت داد. تعداد سلولهای برگ تحت تأثیر غنی سازی دی اکسیدکربن قرار نگرفت. ضخامت برگ نیز افزایش یافت که عمدتاً نتیجه سلول های مزوفیل بزرگتر و فضاهای بین سلولی گسترده تر بود (رادوگلو و جارویز ۱۹۹۰).

درصد نیتروژن کل و نیترات

نور روی جذب مقدار نیترات و درصد نیتروژن کل شاخساره اثر مثبت و معنی دار در سطح ۵ درصد داشت. دی اکسیدکربن روی مقدار نیترات اثر مثبت و معنی دار در سطح ۵ درصد داشت و روی مقدار نیتروژن اثر معنی داری نداشت. اثر متقابل نور و دی اکسید کربن نیز روی مقدار نیترات معنی دار نبود. افزایش تجمع نیترات و مقدار نیتروژن در برگ با افزایش نور مشاهده شد. کاهش مقدار نیترات در نور کم در روکولا، چغندر و اسکارول دیده شده است غلظت نیترات انباشته شده در گیاهان به نوع یا رقم گیاه، فصل کشت، سیستم کشت مورد استفاده، شیوه های مدیریت و مواد غذایی یون های اعمال شده بستگی دارد (ناجرا و آرستارازو ۲۰۱۹). در این تحقیق منبع نیتروژن در محلول غذایی نیترات بوده است و با افزایش مقدار نور میزان نیتروژن و نیترات بافت برگ افزایش یافت به نحوی که در نور ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه همراه ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر دی اکسیدکربن ۲۴ درصد نیتروژن بیشتری جذب شد و در همین نور و بدون تزریق دی اکسیدکربن، ۱۱۵ درصد نیترات بیشتر جذب شد (شکل ۹ و ۱۰).

نور منبع اولیه انرژی است و نقش مهمی در رشد گیاه، مورفولوژیکی و فیزیولوژی دارد. افزایش شدت نور می تواند پارامترهای فتوسنتز خالص، وزن تر و خشک، میزان کلروفیل و راندمان مصرف آب را با بهینه سازی مورفولوژی روزنه ها، افزایش فعالیت آنزیم ها (به عنوان مثال، روبیسکو و ۱،۶-دی فسفات فروکتوز فسفاتاز) ارتقا دهد. از آنجا که دی اکسیدکربن بستر کلیدی برای فتوسنتز است، غلظت بالای آن ممکن است به طور قابل توجهی فتوسنتز را افزایش دهد با این حال، اثرات غنی سازی دی اکسیدکربن معمولاً توسط شرایط نور تعدیل می شود از این رو، نور تکمیلی باید با غنی سازی دی اکسیدکربن ترکیب شود. نور تکمیلی به طور قابل توجهی ارتفاع گیاه، سطح برگ و تعداد برگ را افزایش می دهد. همچنین غنی سازی دی اکسیدکربن و روشنایی تکمیلی اثرات متقابل مثبتی بر وزن خشک و عملکرد گیاه دارند و علت احتمالی این موضوع را اینطور بیان کرده اند که نور مکمل و غنی سازی ممکن است با افزایش فتوسنتز جذب مواد مغذی از بستر کشت را افزایش دهد (پان و همکاران ۲۰۱۹). سطح برگ گیاه با بالا رفتن شدت نور افزایش یافت و در سطح ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه در صورتی که مقدار دی اکسیدکربن به سطح ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر برسد ۱۶۳ درصد افزایش یافت. گیاهان از تابش فعال فتوسنتزی (طول موج محدوده: ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) برای فتوسنتز، جوانه زنی بذر، فوتوتروپیسم و رفع اتیلاسیون استفاده می کنند و در گیاه نور قرمز با اثر بر فیتوکروم قرمز و افزایش فعالیت آن و کاهش فعالیت فیتوکروم مادون قرمز باعث افزایش رشد برگ خواهد شد که با تحقیقات گذشته نیز همسو می باشد (رادسکی و همکاران ۲۰۲۰). تعداد برگ با اعمال تیمارها افزایش معنی داری داشت به نظر می رسد افزایش



شکل ۹- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی درصد نیتروژن کل گیاه ریحان



شکل ۱۰- اثر نور (L) و دی اکسید کربن (C) بر روی مقدار نیترات گیاه ریحان

بازیافت نیتروژن و مسیر گلوتامین سنتتاز-گلوتامات سنتتاز تأثیر می‌گذارد (لئا و همکاران ۲۰۰۶). تزریق دی-اکسیدکربن باعث افزایش جذب نیترات و از طرفی افزایش فعالیت ریداکتاز در چندین گیاه از جمله در خیار و تنباکو شده است (لوریس و همکاران ۲۰۰۱ مت و همکاران ۲۰۰۱). بیوسنتز اسیدهای چرب نیز به متابولیسم کربن وابسته است (براون و همکاران ۲۰۱۰). البته مقدار افزایش اسیدهای چرب به گونه بستگی دارد مثلاً در ریحان بیشتر از نعنا تحت تاثیر قرار گرفته و افزایش می‌یابد (الجونی و همکاران ۲۰۱۸). بیوسنتز متابولیت‌های آنتی اکسیدانی در نعنا و ریحان وابسته به واسطه‌های متابولیسم کربن و نیتروژن است (ریچی و دماریا ۲۰۱۵) گزارش شده است که هم رنگدانه‌های فتوسنتزی و هم

تیمار با دی اکسیدکربن در سطح ۹۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش مقدار نیتروژن در بافت برگ پیازخوراکی، بادنجان و سیب‌زمینی گردید و در کلم باعث کاهش مقدار نیتروژن شد (ساج و همکاران ۱۹۸۹). متابولیسم کربن و نیتروژن در سطح رو نویسی و بیوشیمیایی ارتباط تنگانی دارد چرا که برای ساخت ترکیبات آلی نیتروژن‌دار مثل آمینواسید و پروتئین از انرژی و اسکلت‌کربنی حاصل از متابولیسم کربن استفاده می‌شود (نانس و همکاران ۲۰۱۰). افزایش دی-اکسیدکربن ممکن است با در دسترس قرار دادن واسطه‌ها و انرژی مورد نیاز از طریق تنظیم متابولیسم کربن بهبود سنتز آمینو اسیدها را تقویت کند با این حال، دی-اکسیدکربن باعث کاهش تنفس نوری می‌شود و روی

پارامترهای تبادل گاز با تزریق دی اکسیدکربن و نور تکمیلی به طور قابل توجهی افزایش یافته اند که ممکن است نتیجه افزایش فعالیت آنزیمهای مرتبط با فتوسنتز باشد (نیلسن و همکاران ۱۹۸۳ و یو و وانگ ۲۰۱۰). به نظر می رسد از آنجایی که غلظت های مختلف دی-اکسیدکربن همراه شدت های نور متفاوت ممکن است اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاهان داشته باشند، باید در آینده کارهای زیادی برای کشف ترکیب بهینه غلظت دی اکسیدکربن و شدت نور برای به دست آوردن بیشترین عملکرد و کیفیت انجام شود.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تزریق دی اکسیدکربن و نور روی رشد گیاه ریحان اثر مثبت داشته و بهترین

نتایج با شدت ۲۳۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و دی اکسید کربن ۱۵۰۰ میلی گرم رخ داد. البته در تیمار شدت نور ۸۴۰۰ نیز نتایج قابل قبول بدست آمد، که تفاوت زیادی با گیاهان شاهد داشت. دی اکسید کربن برای ایجاد اثر مثبت نیازمند فراهم بودن شرایط نوری هست در حالی که نور برای ایجاد اثر مثبت نیازمند دی-اکسید کربن نبود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل رساله دکتری در دانشگاه تبریز بوده که با کد ایران داک ۱۷۷۲۱۹۹ ثبت شده است و بدینوسیله تشکر و قدردانی می گردد.

منابع مورد استفاده

- Ainsworth E and A Rogers. 2007. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising $[CO_2]$: mechanisms and environmental interactions. *Plant cell & environment*, 30(3):258-270. doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x.
- Al Jaouni S, Saleh A, Wadaan M, Hozzein W, Selim S and Abdelgavad H. 2018. Elevated CO_2 induces a global metabolic change in basil (*Ocimum basilicum* L.) and peppermint (*Mentha piperita* L.) and improves their biological activity. *Journal of plant physiology*, 224: 121-131. doi: 10.1016/j.jplph.2018.03.016.
- Amaki W and Kunii M. 2015. Effects of light quality on the flowering responses in *Kalanchoe blossfeldiana*. *Acta Horticulturae*, 1107: 279-284. doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1107.38
- Barickman T, Adhikari B, Sehgal A, Walne C, Reddy K, and Gao W. 2021. Drought and Elevated CarbonDioxide Impact the Morphophysiological Profile of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Crops*, 1(3): 118-128. doi.org/10.3390/crops1030012.
- Baslam M, Morales F, Garmendia I and Goicoechea N. 2013. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae*, 151: 103–111 doi10.1016/j.scienta.2012.12.023.
- Bazzaz F. 1990. The Response of Natural Ecosystems to the Rising Global CO_2 Levels. *Annual Review of Ecology and Systematics*. *Annual Reviews*, 21: 167-196. doi: 10.1146/annurev.es.21.110190.001123.
- Bremner J. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*, 55(1): 11-33. doi: 10.1017/S0021859600021572.
- Brown A, Slabas A and Rafferty J. 2010. Fatty acid biosynthesis in plants metabolic pathways, structure and organization. *Lipids Photosynth*, 30: 11–34. doi: 10.1007/978-90-481-2863-1_2.
- Bunce J. 2004. Carbon dioxide effects on stomatal responses to the environment and water use by crops under field conditions. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 140:1–10. doi: 10.21273/JASHS.115.3.364.
- Desjardins Y, Gosselin A and Lamnarre M. 1990. Growth of transplants and in vitro-cultured clones of

- asparagus in response to CO₂ enrichment and supplemental lighting. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 115:364- 368. doi: 10.21273/JASHS.115.3.364.
- Dong J, Gruda N, Lam S, Li X and Duan Z. 2018. Effects of elevated CO₂ on nutritional quality of vegetables: a review. *Frontiers in plant science*, 9: 924. doi.10.3389/fpls.2018.00924.
- Dou H, Niu G, Gu M, and Masabni J. (2018). Responses of Sweet Basil to Different Daily Light Integrals in Photosynthesis, Morphology, Yield, and Nutritional Quality. *HortScience*, 53(4), 496-503. Retrieved May 1, 2024, from <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12785-17>.
- Fierro A, Gosselin A and Tremblay N. 1994. Supplemental Carbon Dioxide and Light Improved Tomato and Pepper Seedling Growth and Yield." *HortScience*, 29(3): 152-154. doi:10.21273/HORTSCI.29.3.152.
- Fraszczak B, Golcz Zawirska A, Wojtasiak R and Janowska B. 2014. Growth rate of sweet basil and lemon balm plants grown under fluorescent lamps and LED modules. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 13: 3– 13.
- Gillig S, Heinemann R, Hurd G, Pittore K and Powell D. 2008. Response of basil (*Ocimum basilicum*) to increased CO₂ levels. E&ES359 *Global Climate Change*, Johan Varekamp; Wesleyan University: Middletown, CT, USA. <http://dx.doi.org/10.3390/metabo13010085>.
- Hao X and Athanasios P. 1999. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. *Scientia Horticulturae*, 80(1-2): 1-18. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00217-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00217-9).
- Hirse T and Bazzaz F. 1996. Trade-off Between Light and Nitrogen-use Efficiency in Canopy Photosynthesis. *Annals of Botany*, 82: 195–202. <http://dx.doi.org/10.1006/anbo.1998.0668>.
- Holley J, Mattson N, Ashenafi E and Nyman M. 2022. The Impact of CO₂ Enrichment on Biomass, Carotenoids, Xanthophyll, and Mineral Content of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*, 8, 820.
- Huang Y, Eglinton G, Ineson P, Bol R and Harkness D. 1999. The effects of nitrogen fertilisation and elevated CO₂ on the lipid biosynthesis and carbon isotopic discrimination in birch seedlings (*Betula pendula*). *Plant Soil*, 216(1–2); 35–45. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004771431093>.
- Hurd R and Thomley J. 1972. An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integral and CO₂ concentrations: I. Physiological aspects. *Annals of Botany*, 38:375-388. <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.Annals of Botany.a084822>.
- Jung D, Kim D, Yoon H, Moon T, Park K and Son J. 2016. Modeling the canopy photosynthetic rate of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in a plant factory at varying CO₂ concentrations and growth stages. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(5): 487-492. <http://dx.doi.org/10.1007/s13580-016-0103-z>.
- Kang H, KrishnaKumar S, Atulba SS, Jeong BR and Hwang SJ. 2013. Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6): 501-509. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>.
- Larios B, Agüera E, de la Haba P, Pérez-Vicente R and Maldonado J. 2001. A shortterm exposure of cucumber plants to rising atmospheric CO₂ increases leaf carbohydrate content and enhances nitrate

- reductase expression and activity. *Planta*, 212 (2): 305–312. <http://dx.doi.org/10.1007/s004250000395>.
- Larsen D, Woltering E, Nicole C and Marcelis L. 2020. Response of Basil Growth and Morphology to Light Intensity and Spectrum in a Vertical Farm. *Frontiers in Plant Science*. 2020 Dec 4;11:597906. doi: 10.3389/fpls.2020.597906. PMID: 33424894; PMCID: PMC7793858.
- Lea US, Leydecker M, Quilleré I, Meyer C and Lillo C. 2006. Posttranslational regulation of nitrate reductase strongly affects the levels of free amino acids and nitrate, whereas transcriptional regulation has only minor influence. *Plant Physiology. American. Society. Plant Biology*, 140(3): 1085–1094. doi.org/10.1104/pp.105.074633.
- Li X, Zhang G, Sun B, Zhang S, Zhang Y, Liao Y, Zhou Y, Xia X, Shi K and Yu J. 2013. Stimulated leaf dark respiration in tomato in an elevated carbon dioxide atmosphere. *Nature Publishing Group Sciences. Reports*, 3: 3433. <http://dx.doi.org/10.1038/srep03433>.
- Liu JX, Zhang DQ, Zhou G, FaivreVuillin B, Deng Q and Wang CL. 2008. CO₂ enrichment increases nutrient leaching from model forest ecosystems in subtropical China. *Biogeosciences Discussions*, 5:2679–2706. <http://dx.doi.org/10.5194/bgd-5-2679-2008>.
- Lotfiomran N, Kohl M and Fromm J. 2016. Interaction effect between elevated CO₂ and fertilization on biomass, gas exchange and C/N ratio of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Plants*, 5(3): 38. <http://dx.doi.org/10.3390/plants5030038>.
- Matt P, Geiger M, Walch-Liu P, Engels C, Krapp A and Stitt M. 2001. Elevated carbon dioxide increases nitrate uptake and nitrate reductase activity when Tobacco is growing on nitrate, but increases ammonium uptake and inhibits nitrate reductase activity when tobacco is growing on ammonium nitrate. *Plant Cell Environment*, 24 (11): 1119–1137. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00771.x>.
- Morgan JV. 1986. Chemical and environmental control of growth during propagation of tomato plants for transplanting. *Acta Horticulture*, 190:523-530. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90137-F](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238(93)90137-F).
- Mortensen LM and Moe R. 1983. Growth responses of some greenhouse plants to environment. VI. Effect of CO₂ and artificial light on growth of *Chrysanthemum morfolium* Ramat. *Scientia Horticulturae*, 19(1/2):141–147.
- Nájera C and Urrestarazu M. 2019. Effect of the Intensity and Spectral Quality of LED Light on Yield and Nitrate Accumulation in Vegetables. *Hort Science Hortci*, 54(10): 1745-1750. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14263-19>.
- Nilsen S, Hovland K, Dons C and Sletten SP. 1983. Effect of CO₂ enrichment on photosynthesis, growth and yield of tomato *Scientia Horticulturae*. 20: 1-14. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(83\)90106-1](https://doi.org/10.1016/0304-4238(83)90106-1).
- Nunes-Nesi A, Fernie AR and Stitt M. 2010. Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions. *Molecular Plant*, 3 (6): 973–996.
- Pan T, Ding J, Qin G, Wang Y, Xi L, Yang J, Li J, Zhang J and Zou Z. 2019. Interaction of Supplementary Light and CO₂ Enrichment Improves Growth, Photosynthesis, Yield, and Quality of Tomato in Autumn hrough Spring Greenhouse Production. *Hort Science Hortci*, 54(2): 246-252. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13709-18>.
- Radetsky L, Patel J S and Rea MS. 2020. Continuous and Intermittent Light at Night, Using Red and Blue

- LEDs to Suppress Basil Downy Mildew Sporulation. Hort Science Hortsci, 55(4): 483-486. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14822-19>.
- Radoglou K M and Jarvis PG. 1990. Effects of CO₂ Enrichment on Four Poplar Clones. I. Growth and Leaf Anatomy, Annals of Botany, 65(6): 617–626. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087978>.
- Riachi L and De Maria C. 2015. Peppermint antioxidants revisited. Food Chem. 176, 72–81.
- Sage RF, Sharkey TD and Seemann JR. 1989. Acclimation of Photosynthesis to Elevated CO₂ in Five C(3) Species. Plant Physiology, 89(2):590-6. doi: 10.1104/pp.89.2.590.
- Shenping Xu, Xiaoshu Z, Chao L and Qingsheng Ye. 2014. Effects of CO₂ enrichment on photosynthesis and growth in *Gerbera jamesonii* Scientia Horticulturae, 177: 77-84. doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.022.
- Shuyang Z and Van-iersel M. 2017. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis. Journal of Plant Physiology, 209: 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.12.004>.
- Sipos L, Boros IF, Csambalik L, Székely, G. Jung A and Balázs L. 2020. Horticultural lighting system optimization: a review Scientia Horticulturae, 273: 109631. doi.10.1016/j.scienta.2020.109631.
- Tabatabaie SJ. 2013. Principles of mineral nutrition of plants. Tabriz University Press, 562p. (In Persian)
- Walters K, Lopez R and Behe B. 2021. Leveraging controlled-environment agriculture to increase key basil terpenoid and phenylpropanoid concentrations: The effects of radiation intensity and CO₂ concentration on consumer preference. Frontiers in Plant Science, 11: 598519. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.598519>.
- Wang J, Liu X, Zhang X, Li L, Lam SK and Pan G. 2019. Changes in plant C, N and P ratios under elevated [CO₂] and canopy warming in a rice-winter wheat rotation system. Scientific reports, 9(1): 1-9. doi.org/10.1038/s41598-019-41944-1.
- Wang SY, Bunce JA and Maas L. 2003. Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in field-grown strawberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51 (15): 4315–4320. doi.org/10.1021/jf021172d.
- XiaoYing L, ShiRong G, ZhiGang X, Xue Lei J and Tezuka T. 2011. Regulation of Chloroplast Ultrastructure, Cross-section Anatomy of Leaves, and Morphology of Stomata of Cherry Tomato by Different Light Irradiations of Light-emitting Diodes. HortScience, 46(2): 217-221. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.217>.
- Yelle S, Richard C, Beeson Jr, Trudel MJ and Gosselin A. 1990. Duration of CO₂ Enrichment Influences Growth, Yield, and Gas Exchange of Two Tomato Species. Horticultural science, 115(1):52-57. doi: 10.1021/jf021172d.