Plant Prod., 2025, 48(2), 281-294
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.48202.2220
Received: 22 October 2024
Accepted: 10 December 2024

Plant Productions
Research Article

Effect of different intensities of continuous red and blue LED light on yield and secondary metabolites synthesis of basil microgreens

Afsaneh Abbasi[1], Naser Alemzadeh Ansari[2*], Mohammad Reza Fayezizadeh[3]

1- PhD student, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Associate Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- PhD, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Citation: Abbasi, A., Alemzadeh Ansari, N., Fayezizadeh, M.R. (2025). Effect of different intensities of continuous red and blue LED light on yield and secondary metabolites synthesis of basil microgreens. *Plant Productions*, 48(2), 281-294.

Abstract

Introduction

Nowadays, people pay more attention to proper nutrition and the impact of food on their health. Leafy greens constitute a large part of this diet and play a vital role in ensuring food security and meeting people's daily needs. The reason for the growing interest in consuming leafy greens is that these vegetables contain significant amounts of bioactive nutrients such as minerals, vitamins, dietary fiber, and biochemicals.

Basil (*Ocimum basilicum* L.) microgreen is a valuable plant belonging to the Lamiaceae family, which is known as a superfood in the 21st century due to its high antioxidant index, including phenolic compounds, flavonoids, and carotenoids. In addition to their antioxidant and nutritional properties, microgreens are introduced as one of the strategic products that can be produced in vegetable production factories due to their short growth period, compatibility with soilless cultivation systems, ability to be cultivated in layered cultivation systems and high profitability. However, there are several challenges facing vegetable producers that hinder the development of microgreen cultivation. One of the most important production parameters is light intensity, the results of which are limited on the performance and synthesis of basil microgreen secondary metabolites in past research.

Materials and Methods

This research was conducted at Shahid Chamran University of Ahvaz, in February 2024. In this study, the effects of five light intensity levels including 82.8 µmol $m^{-2}s^{-1}$, 165.6 µmol $m^{-2}s^{-1}$, 248.4 µmol $m^{-2}s^{-1}$ and 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$ on the yield and antioxidant response of three cultivars (Violeto, Kapoor, and Red Rubin) and one genotype (Ablagh genotype) of basil microgreens were investigated using a split-plot approach based on a randomized complete block design in a floating system with four replications.

* **Corresponding Author:** Naser Alemzadeh Ansari
E-mail: ansari_n@scu.ac.ir

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

Results and Discussion

The results showed that the simple effect of light intensity on all studied traits had a significant difference at the 1% level. Also, the simple effect of cultivar and the interaction between light intensity and cultivar on all studied traits created a significant difference. The light intensity of 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$ was able to increase all the biochemical characteristics and yield of all basil microgreens cultivars. The highest yield was obtained in Red Rubin cultivar (4.1 kg m^{-2}) with light intensity of 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$, and had no difference with other cultivars in terms of yield. The highest antioxidant capacity (78.31 %DPPH inhibition), anthocyanin (31.0 mg 100 g^{-1} fresh weight), vitamin C (306.1 mg 100 g^{-1} fresh weight) and phenolic compounds (2039.6 mg 100 g^{-1} fresh weight) were measured in Ablagh genotype under light intensity of 331.2 µmol m^{-2} s^{-1}, and this basil genotype had no difference with other cultivars in terms of this study traits. The highest amount of flavonoid content was measured in Violeto cultivar (8.42 mg g^{-1} fresh weight) under light intensity of 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$, and had no difference with other cultivars in terms of flavonoids content. The highest amount of proline was measured in Red Rubin cultivar (3.61 mg g^{-1} fresh weight) grown under a light intensity of 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$, and had no difference with other cultivars in terms of flavonoids content. Basil microgreen yield had a positive and significant correlation with antioxidant capacity, anthocyanin, carbohydrate, proline, vitamin C, total phenolic compounds, and flavonoids at the 1% level.

Conclusion

The light intensity of red+blue LED lamps affected the synthesis of secondary metabolites and the yield of basil microgreens. Based on the results, all basil microgreen cultivars showed a high potential in the antioxidant compounds synthesis under the light intensity of 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$. In general, Ablagh genotype under continuous red and blue LED light with intensity of 331.2 µmol $m^{-2}s^{-1}$ due to its high antioxidant properties and higher nutritional value can be used for the cultivation of basil microgreens in the floating system.

Keywords: Antioxidant capacity, Carotenoid, Flavonoids, Phenolic compounds, Vitamin C

تولیدات گیاهی، ۱٤۰٤، ٤۸(۲)،۲۸۱-۲۹٤
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.48202.2220
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تأثیر شدت‌های مختلف نور ال ای دی قرمز و آبی دائمی بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه ریزسبزی ریحان

افسانه عباسی[۱]، ناصر عالم زاده انصاری[۲*]، محمدرضا فایضی زاده[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

شدت نور یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که رشد، ریتم درونی گیاه و سنتز متابولیت‌های ثانویه را کنترل می‌کند. این پژوهش در دانشگاه شهید چمران اهواز در بهمن‌ماه سال ۱٤۰۲ انجام شد. در این مطالعه اثر شدت‌های مختلف نور ال ای دی قرمز+آبی دائمی شامل ۸۲/۸ ، ۱٦٥/٦ ، ۲٤۸/٤ و ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه سه رقم (کاپور، رد روبین، وایولتا) و یک ژنوتیپ (ابلق) ریزسبزی ریحان به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در اتاق پرورش با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر ساده شدت نور بر تمام صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت و همچنین اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم بر تمام صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری ایجاد کردند. شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه توانست ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد تمامی ارقام ریزسبزی ریحان را افزایش دهد. بیشترین عملکرد در رقم رد روبین (٤/۱ کیلوگرم در مترمربع) با شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به دست آمد و این رقم از نظر عملکرد با سایر ارقام در این شدت نور تفاوت معنی‌داری نداشت. بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۷۸ درصد مهارکنندگی DPPH)، میزان آنتوسیانین (۳۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر)، ویتامین ث (۳۰٦ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) و ترکیبات فنولی (۲۰۳۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) در ژنوتیپ ابلق تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه اندازه‌گیری شد و این ژنوتیپ از نظر صفات مورد مطالعه با سایر ارقام در این شدت نور تفاوت معنی‌داری نداشت. گرچه بیشترین مقدار فلاونوئید در رقم وایولتا (۸/٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر متر مربع در ثانیه مشاهده شد اما این تفاوت در مقایسه با سایر ارقام تحت همان شدت نور از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیشترین میزان پرولین در رقم رد روبین (۳/٦۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه اندازه‌گیری شد و با سایر ارقام در این شدت نور تفاوت معنی‌داری نداشت. عملکرد ریزسبزی ریحان با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان آنتوسیانین، کربوهیدرات، پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. براساس نتایج تمام ارقام ریزسبزی ریحان مورد مطالعه تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه پتانسیل بالایی در سنتز ترکیبات

* **نویسنده مسئول:** ناصر عالم زاده انصاری
رایانامه: ansari_n@scu.ac.ir

آنتی‌اکسیدانی نشان دادند. به‌طورکلی ژنوتیپ ابلق تحت طیف نور ال ای دی قرمز و آبی دائم با شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی بالا و ارزش غذایی بیشتر می‌تواند جهت پرورش ریزسبزی ریحان در سامانهٔ شناور استفاده گردد.

کلیدواژه‌ها: ترکیبات فنولی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدها، کارتنوئیدها، ویتامین ث

مقدمه

امروزه مردم توجه بیشتری به تغذیهٔ مناسب و تأثیر غذا بر سلامتی خود دارند. سبزی‌های برگی بخش بزرگی از این رژیم غذایی را تشکیل می‌دهند و نقشی حیاتی در تضمین امنیت غذایی و تأمین نیاز روزانه افراد ایفا می‌نماید. علت علاقه روبه رشد مردم برای مصرف سبزی‌های برگی، به دلیل آن است که این دسته از سبزی‌ها حاوی مقادیر قابل‌توجهی از مواد غذایی زیست فعال مانند مواد معدنی، انواع ویتامین‌ها، الیاف رژیمی و مواد بیوشیمیایی می‌باشند (Shukurova *et al*., 2021).

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. گیاهی ارزشمند متعلق به خانوادهٔ Lamiaceae می‌باشد که به دلیل شاخص آنتی‌اکسیدانی بالا شامل ترکیبات فنولیک، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها در قرن ۲۱ به‌عنوان یک گیاه فراسودمند شناخته می‌شود (Kumar *et al*., 2024).

ریزسبزی‌ها معمولاً در مراحل ابتدایی رشد شامل برگ‌های لپه‌ای، برگ‌های حقیقی اول و برگ‌های حقیقی دوم برداشت می‌شوند و مدت چرخهٔ رشد آن‌ها بسته به سامانهٔ کشت، شرایط آب و هوایی و گونهٔ گیاهی بین ۷ تا ۲۸ روز پس از سبز شدن می‌باشد و دارای ویژگی‌های حسی مانند طعم، بافت، عطر، ظاهر و رنگ‌های بسیار جذابی به جهت انتخاب مصرف‌کنندگان هستند (Zhang *et al*., 2021). علاوه بر خواص آنتی‌اکسیدانی و غذایی آن‌ها، ریزسبزی‌ها به دلیل دورهٔ رشد کوتاه، سازگاری با سامانه‌های کشت بدون خاک، قابلیت کشت در سامانه‌های کشت طبقاتی و سودآوری بالا به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی قابل تولید در کارخانه‌های تولید گیاهی معرفی‌شده‌اند (Fayezizadeh *et al*., 2024). بااین‌حال، چالش‌های متعددی پیش روی تولیدکنندگان سبزی وجود دارد که مانع توسعه پرورش ریز سبزی‌ها می‌شود.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای تولید شدت نور می‌باشد که نتایج آن بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه ریزسبزی ریحان در تحقیقات گذشته محدود می‌باشد. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که تغییر در پارامترهای نوری می‌تواند سبب بهبود کیفیت و افزایش زیست‌تودهٔ نهایی گردد (Pashkevich *et al*., 2023). Fayezizadeh *et al*. (2024) در تحقیق خود بر پرورش ریزسبزی ریحان گزارش کردند که بالاترین میزان ویتامین ث، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، عملکرد و شاخص ترکیبی پتانسیل آنتی‌اکسیدانی تحت دورهٔ نوری ۲۴ ساعت لامپ ال ای دی قرمز+آبی با شدت نور ۳۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه به دست آمد و از بین ارقام بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در رقم کاپور و بیشترین مقدار ترکیب فنولی کل، پرولین و عملکرد در ژنوتیپ ابلق در یک دورهٔ نوری ۲۴ ساعته اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش دیگری نشان داد در پرورش ریزسبزی ریحان لیمویی و ریحان مقدس قرمز کاربرد شدت نور ۳۳۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه باعث بهبود رشد، عملکرد و سنتز ترکیبات زیستی می‌گردد (Harakotr *et al*., 2019). در تحقیق دیگری اثرات شدت‌های مختلف نور ال ای دی بر رشد و سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی کلم چینی (*Brassica alboglabra*) بررسی گردید و نتایج نشان داد که نور ۹۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه برای بهبود کیفیت غذایی ریزسبزی‌های کلم که دارای محتوای بالاتری از ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بودند مفید بود (Liu *et al*., 2022). تحقیق دیگری اثر شدت‌های مختلف نور ال ای دی شامل ۱۰۵، ۲۱۰ و ۳۱۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه را بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ریزسبزی‌های خانوادهٔ براسیکاسه مورد ارزیابی قرار داد و گزارش کرد که شدت نور ۳۱۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه باعث افزایش محتوای آنتوسیانین گردید و شدت نور ۱۰۵ میکرو مول بر مترمربع در

ثانیه در افزایش غلظت ترکیبات فنولی کل مؤثر بود (Gerovac *et al.*, 2016). نتایج تحقیق دیگری در پرورش ریزسبزی چغندر نشان داد که شدت نور ۲۲۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه به‌ترتیب ۳۲ و ۲۵ درصد ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد، اما کاهش ۲۳ درصدی در عملکرد ریزسبزی در مقایسه با شدت نور ۱۲۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه مشاهده شد (Hernández-Adasme *et al.*, 2023).

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر شدت‌های مختلف نور ال ای دی قرمز+آبی دائم بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه ریزسبزی‌های ریحان و نقش پتانسیل ژنتیکی ارقام مختلف در بهبود ویژگی‌های غذایی و افزایش راندمان تولید اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اتاق پرورش گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در بهمن‌ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر شدت‌های مختلف نور ال ای دی قرمز+آبی با نسبت (۱:۱) شامل ۸۲/۸، ۱۶۵/۶، ۲۴۸/۴ و ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به‌صورت نور دائم (۲۴ ساعته) بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه سه رقم (کاپور، رد روبین، وایولتا) و یک ژنوتیپ (ابلق) ریزسبزی ریحان به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. بذور ریحان در سینی‌های پلاستیکی کشت با ابعاد ۵×۳۰×۵۰ سانتی‌متر حاوی ۱۰۵ سلول و تراکم بذر ۴۸ گرم بر مترمربع در بستر حاوی کوکوپیت و پرلایت به نسبت (۱:۱) کشت شدند. پس از کاشت سینی‌های کشت در اتاقک پرورش با دمای ۲±۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد قرار گرفتند. پس از سبز شدن ریزسبزی‌های ریحان، سینی‌های کشت بر روی گلدان‌هایی با ابعاد ۱۴×۱۸×۹۶ سانتی‌متر با حجم محلول غذایی ۲۰ لیتر به صورت سامانه شناور قرار گرفتند و با استفاده از محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند (جدول۱).

pH محلول غذایی برابر ۶/۲ و هدایت الکتریکی برابر ۲/۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. ریزسبزی‌های ریحان ۲۰ روز پس از کاشت و در مرحهٔ ۴ برگ حقیقی برداشت شدند.

عملکرد ریزسبزی ریحان با استفاده از ترازوی دو رقم اعشار برحسب کیلوگرم بر مترمربع در زمان برداشت اندازه‌گیری شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به روش DPPH با استفاده از دستگاه میکروپلیت خوان (INNO, LTEK, Gyeonggi-do, Korea) در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد و درنهایت میزان درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Sharma and Bhat, 2009).

(رابطه ۱)

$$\%Inhibition = \frac{Abs\ control - Abs\ sample}{Abs\ control} \times 100$$

اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین براساس روش تغییر pH انجام شد. بدین منظور دو بافر شامل کلرید پتاسیم (۰/۰۲۵ مولار) با pH برابر یک و بافر سدیم استات (۰/۴ مولار) با pH برابر ۴/۵ تهیه شدند. درنهایت ۴۰ میکرولیتر عصاره و ۱۶۰ میکرولیتر بافر به چاهک میکروپلیت اضافه شد و جذب در طول‌موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه میکروپلیت خوان اندازه‌گیری شد (Lee *et al.*, 2005).

Table 1. Hoagland's nutrient solution components.

Components	Concentration (mg l^{-1})	Components	Concentration (mg l^{-1})
$Ca(No_3)_2.3H_2O$	1180.75	H_3BO_3	2.81
KNO_3	505.52	$MnSO_4.H_2O$	1.37
KH_2PO_4	136.09	$ZnSO_4.2H_2O$	0.12
K_2SO_4	2.32	$CuSO_4.5H_2O$	0.08
$MgSO_4.7H_2O$	492.94	$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.05
Fe(EDTA)	23.08		

جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول کل ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ۰/۱ گرم برگ تازه اضافه شد و مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ شد. در ادامه ۲۵ میکرولیتر عصاره گیاه به همراه ۲۵ میکرولیتر محلول فنل پنج درصد و ۱۲۵ میکرولیتر اسید سولفوریک خالص ترکیب شدند. سپس جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه میکروپلیت خوان در طول موج ۴۹۰ نانومتر ثبت شد (McCready *et al.*, 1950). اندازه‌گیری پرولین به روش (Paquin amd Lechasseur, 1979) صورت گرفت. مقدار ویتامین ث با استفاده از روش تیتراسیون با ۲، ۶ -دی کلرو ایندوفنل انجام شد (OCHOA-VELASCO, 2016 *et al.*,). استخراج و اندازه‌گیری فنول کل از روش رنگ سنجی فولین-سیوکالتیو در طول موج ۷۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه میکروپلیت خوان انجام شد (Benzie and Strai, 1996). برای سنجش محتوای فلاونوئید کل از روش رنگ سنجی آلومینیوم کلرید در طول موج ۵۱۰ نانومتر استفاده شد (Dou *et al.*, 2018).

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار 9.1 SAS تجزیه و تحلیل شد. تفاوت بین مقادیر میانگین‌ها با استفاده آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد بررسی قرار گرفتند و همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS 26.0 مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد کل

اثر سادهٔ شدت نور، اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد کل معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد کل در رقم رد روبین (۴/۱ کیلوگرم در مترمربع) تحت تیمار شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه اندازه‌گیری شد که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین عملکرد در رقم وایولتا (۰/۵ کیلوگرم در مترمربع) تحت تیمار شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه اندازه‌گیری شد (جدول ۳). عملکرد ریزسبزی ریحان با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، آنتوسیانین، کربوهیدرات، پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴).

در این تحقیق عملکرد ریزسبزی‌های ریحان از ۰/۵-۴/۱ کیلوگرم در مترمربع اندازه‌گیری شد که بیشتر از بازهٔ گزارش شده توسط Bulgari *et al.* (2024) بود که با استفاده از دورهٔ رشد کوتاه‌تر، ریزسبزی‌ها را در مرحلهٔ برگ‌های لپه‌ای برداشت کردند. نتایج تحقیق دیگری بر ۱۰ گونه ریزسبزی عملکرد بیش از ۳ کیلوگرم در مترمربع را نشان داد (Kyriacou *et al.*, 2020). همچنین Žlabur *et al.* (2021) عملکرد ریزسبزی ریحان در سامانه شناور را بین ۱/۸۲-۴/۰۱ کیلوگرم در مترمربع گزارش کردند.

عملکرد ریزسبزی‌ها به شدت وابسته به شرایط محیطی مانند پارامترهای نوری و ژنتیک است. با افزایش شدت نور، زیست‌تودهٔ کل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تحقیقات گذشته در مورد کشت ریزسبزی‌ها نشان داده است که نور دائم سرعت رشد گیاهان آروگولا (*Eruca sativa*)، کلم بروکلی (*Brassica oleracea*)، تربچه (*Raphanus sativus*) و ریحان را افزایش می‌دهد (Shibaeva *et al.*, 2022; Fayezizadeh *et al.*, 2024). از آنجایی که فتوسنتز و جذب کربن همیشه توسط انرژی نور انجام می‌شود، استفاده از نور دائم پتانسیل بهبود تولید محصول را دارد (Pham *et al.*, 2019). در این مطالعه، ریزسبزی‌های ریحان تحت نور دائم آبی+قرمز با شدت نور۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه به‌طور مداوم در حال فتوسنتز و انباشت کربوهیدرات بودند. بنابراین می‌توان استفاده از نور دائم آبی+قرمز با شدت نور۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه را جهت افزایش عملکرد به‌عنوان یک راهبرد مناسب برای رشد ریزسبزی ریحان معرفی کرد.

Table 2. Analysis of variance for quality and biochemical traits

		Means of squares							
Source	df	Yield	Antioxidant capacity	Anthocyanin content	Carbohydrate content	Proline content	Vitamin C content	Phenolic compound content	Flavonoid compound contents
Block	3	0.001^{ns}	20.29^{ns}	0.009^{ns}	0.017^{ns}	0.01^{ns}	5.28^{ns}	0.63^{ns}	0.003^{ns}
Light intensity	3	16.27**	1251.63 **	403.39 **	0.177 **	0.046**	0.49 **	5.57 **	1.415**
Error a	6	0.001	29.51	0.06	0.143	0.053	1.758	0.027	0.007
Cultivar	3	2.490**	19.09*	33.85**	0.066*	0.027 **	0.098**	2.77 **	0.037*
Light×Cultivar	9	0.037**	8.40*	2.70**	0.56**	0.061**	0.023*	0.740 **	0.032*
Error b	24	0.001	6.22	0.09	0.031	0.19	3.40	0.021	0.01
CV (%)		8.96	3.96	7.87	6.48	9.03	2.89	12.88	10.42

ns, ** and *: Non-significant, significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively.

Table 3. Mean comparison of biochemical traits and yield of basil microgreens cultivars

Treatments		Yield	Antioxidant	Anthocyanin contents	Carbohydrate contents	Proline content	Vitamin C content	Phenolic compound contents	Flavonoid compound contents
Light intensity (µmol $m^{-2}s^{-1}$)	Cultivar	Kg m^{-2}	(%DPPH inhibition)	(mg 100 g^{-1} FW)	(g 100g^{-1} FW)	(mg g^{-1} FW)	(mg 100g^{-1} FW)	(mg GA 100g^{-1} FW)	(mg CAE g^{-1} FW)
82.2	Kapoor	0.5^{d}	59.1^{d}	13.6^{d}	1.7^{d}	1.5^{d}	154.7^{d}	1006.6^{d}	3.7^{d}
	Red Rubin	0.6^{d}	58.0^{d}	14.0^{d}	1.7^{d}	1.7^{d}	153.0^{d}	1005.9^{d}	3.4^{d}
	Violetto	0.5^{d}	60.0^{d}	13.7^{d}	1.5^{d}	1.5^{d}	154.0^{d}	1006.7^{d}	3.6^{d}
	Ablagh	0.6^{d}	59.0^{d}	14.0^{d}	1.8^{d}	1.6^{d}	153.8^{d}	1006.6^{d}	3.6^{d}
165.6	Kapoor	1.7^{c}	66.5^{c}	18.3^{c}	2.8^{c}	2.2^{c}	205.0^{c}	1303.2^{c}	5.0^{c}
	Red Rubin	1.7^{c}	65.6^{c}	19.9^{c}	1.7^{c}	2.0^{c}	205.9^{c}	1304.9^{c}	4.7^{c}
	Violetto	1.9^{c}	63.7^{c}	19.4^{c}	2.7^{c}	2.0^{c}	205.5^{c}	1309.4^{c}	4.0^{c}
	Ablagh	1.8^{c}	61.5^{c}	16.6^{c}	2.6^{c}	2.1^{c}	203.8^{c}	1303.0^{c}	4.2^{c}
248.4	Kapoor	3.1^{b}	73.1^{b}	26.7^{b}	2.4^{b}	3.0^{b}	259.6^{b}	1807.2^{b}	5.0^{b}
	Red Rubin	3.1^{b}	72.5^{b}	25.4^{b}	3.0^{b}	2.7^{b}	259.4^{b}	1805.1^{b}	5.9^{b}
	Violetto	3.1^{b}	73.3^{b}	26.1^{b}	2.8^{b}	2.8^{b}	258.6^{b}	1809.2^{b}	6.0^{b}
	Ablagh	3.1^{b}	72.7^{b}	25.4^{b}	3.0^{b}	2.7^{b}	252.9^{b}	1803.1^{b}	5.9^{b}
331.2	Kapoor	4.1^{a}	75.6^{a}	31.0^{a}	3.7^{a}	3.57^{a}	306.1^{a}	2036.7^{a}	8.1^{a}
	Red Rubin	4.1^{a}	76.0^{a}	29.8^{a}	4.6^{a}	3.6^{a}	300.8^{a}	2039.6^{a}	7.9^{a}
	Violetto	4.0^{a}	78.2^{a}	30.4^{a}	4.0^{a}	3.2^{a}	302.2^{a}	2034.5^{a}	8.3^{a}
	Ablagh	4.0^{a}	78.3^{a}	30.1^{a}	4.8^{a}	3.4^{a}	304.6^{a}	2027.5^{a}	8.4^{a}

Different letters within each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test (p =0.05).

Table 4. Correlation coefficient between studied characters

	Yield	Antioxidant capacity	Anthocyanin contents	Carbohydrate contents	Proline contents	Vitamin C contents	Phenolic compound contents	Flavonoid compound contents
Yield	1							
Antioxidant capacity	0.977**	1						
Anthocyanin contents	0.991**	0.986**	1					
Carbohydrate contents	0.889**	0.857**	0.857**	1				
Proline contents	0.981**	0.958**	0.978**	0.895**	1			
Vitamin C contents	0.998**	0.980**	0.991**	0.897**	0.984**	1		
Phenolic compound contents	0.995**	0.985**	0.993**	0.869**	0.979**	0.993**	1	
Flavonoid compound contents	0.935**	0.936**	0.936**	0.928**	0.939**	0.950**	0.930**	1

**Correlation is significant at the 0.01 level, * correlation is significant at the 0.05.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

اثر ساده شدت نور در سطح احتمال یک درصد بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌داری بود، درحالی‌که اثر ساده رقم و برهم‌کنش رقم و شدت نور بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدان (۷۸/۳ درصد بازدارندگی DPPH) مربوط به ژنوتیپ ابلق رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵۸/۰ درصد بازدارندگی DPPH) مربوط به رقم رد روبین رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با محتوای آنتوسیانین، کربوهیدرات، پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). پتانسیل آنتی‌اکسیدانی تحت تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند نوسانات شرایط محیطی در طول تولید ریزسبزی افزایش می‌یابد. ریزسبزی‌های ریحان به تنش اکسیداتیو نوری ناشی از نور مداوم با تولید بیشتر مواد بیوشیمیایی آنتی‌اکسیدانی زیست فعال پاسخ می‌دهند (Pinto *et al.*, 2015).

در این مطالعه، محتویات آنتوسیانین، ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و ویتامین ث مهم‌ترین ترکیبات بیوشیمیایی غیرآنزیمی با خواص آنتی‌اکسیدانی بودند که سنتز آن‌ها تحت تیمار نور دائم آبی+قرمز با شدت نور۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه افزایش پیدا کرد. این یافته‌ها با نتایج سایر گزارش‌ها مطابقت داشت (Huang *et al.*, 2021; Flores *et al.*, 2022). این گزارش‌ها نشان دادند که شدت نور بیشتر می‌تواند منجر به افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها شده و ارزش غذایی گیاهان را بهبود بخشد. پاسخ گیاه به شدت‌های مختلف نور بسیار تحت تأثیر گونه گیاهی و مرحلهٔ رشد قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر مشخص شد که ژنوتیپ ریحان ابلق یک گونه گیاهی با غلظت بالایی از ترکیبات فنولی، ویتامین ث، فلاونوئیدها و آنتوسیانین است که باعث افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی آن ژنوتیپ نسبت به سایر ارقام گردید. این یافته‌ها مطابق نتایج تحقیق گذشته بود که نشان داد ژنوتیپ ابلق از بین ۲۱ رقم و ژنوتیپ ریحان دارای پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بالاتری بود (Fayezizadeh *et al.*, 2023).

محتوای آنتوسیانین

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم بر مقدار آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین مربوط به رقم ابلق (۳۱/۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی

ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار آنتوسیانین مربوط به رقم کاپور (۱۳/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه برحسب بر مترمربع بود (جدول ۳). محتوای آنتوسیانین با محتوای کربوهیدرات، پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). تحقیقات گذشته نشان داده است که افزایش شدت نور باعث افزایش فعال‌سازی فاکتورهای رونویسی مرتبط با بیان ژن‌های دخیل در تولید آنزیم‌های کلیدی در مسیر بیوسنتز آنتوسیانین‌ها مانند فنیل آلانین آمونیالیاز، چالکون سنتاز و دی هیدروفلاونول ردوکتاز می‌شود (Huang *et al.*, 2024). درنتیجه افزایش بیان ژن‌های مربوطه، تجمع آنتوسیانین‌ها در گیاه افزایش می‌یابد که به‌عنوان سازوکار دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از نور شدید عمل می‌کنند (Zhang *et al.*, 2023). این یافته‌ها با نتایج سایر گزارش‌ها همخوانی داشت که نشان دادند شدت نور بالا به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش بیان ژن-های کلیدی دخیل در بیوسنتز آنتوسیانین شده و تولید آن افزایش معنی‌داری می‌یابد (Liu *et al.*, 2024; Qin *et al.*, 2024).

محتوای کربوهیدرات

اثر ساده شدت نور، برهم‌کنش شدت نور و رقم بر میزان کربوهیدرات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر ساده رقم بر میزان کربوهیدرات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار کربوهیدرات مربوط به رقم وایولتا (۴/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار کربوهیدرات مربوط به ژنوتیپ وایولتا (۱/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود (جدول ۳). کربوهیدرات با پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). طبق مطالعات اخیر، افزایش شدت نور موجب تشدید فرآیند فتوسنتز، تولید ATP و NADPH در چرخهٔ کالوین بنستون می‌گردد به‌طوری‌که انرژی و کوفاکتورهای فراهم شده از مرحلهٔ نوری، زمینه را برای افزایش سنتز مواد آلی مانند کربوهیدرات‌ها در چرخهٔ کالوین بنستون فراهم می‌کنند (Suresh *et al.*, 2023). افزایش شدت نور باعث القای فعالیت آنزیم روبیسکو و همچنین افزایش بیان ژن‌های دخیل در چرخهٔ کالوین بنستون مانند آنزیم‌های فسفوریلاسیون و ایزومراسیون می‌شود. به‌طور مشخص، افزایش شدت نور باعث القای بیان ژن‌های کد کنندهٔ زیرواحدهای آنزیم روبیسکو می‌شود که آنزیم کلیدی در مرحلهٔ کربوکسیلاسیون چرخهٔ کالوین بنستون است و با اتصال به دی‌اکسید کربن و آب، مولکول‌های گلوکز را تولید می‌کند (Qin *et al.*, 2018). بنابراین، سازوکار مولکولی اصلی افزایش تولید کربوهیدرات با افزایش شدت نور، القای بیان ژن‌های دخیل در آنزیم روبیسکو و چرخهٔ کالوین است (Tang *et al*, 2022). این یافته‌ها با نتایج سایر گزارش‌ها هم‌راستا است که گزارش کردند افزایش شدت نور منجر به افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ‌های گیاه ریحان و اسفناج گردید (Driesen *et al.*, 2023; Proietti *et al.*, 2023).

محتوای پرولین

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار پرولین مربوط به رقم رد روبین (۳/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار پرولین مربوط به ژنوتیپ ابلق (۱/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). محتوایپرولین با ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). در گیاه، بیان ژن‌های مرتبط با بیوسنتز و تجزیه پرولین مانند P5CS1 و

PDH1 تحت تأثیر شدت نور قرار می‌گیرند. افزایش شدت نور می‌توانند بیان ژن P5CS1 را افزایش دهند که منجر به افزایش تولید پرولین گردد (Yang *et al.*, 2021). همچنین ژن PDH1 نیز پرولین را به گلوتامات تبدیل می‌کند و نقش مهمی در کاتابولیسم پرولین دارد (Zulfiqar and Ashraf, 2023). افزایش شدت نور آبی+قرمز باعث افزایش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر در گیاهان می‌شود و درنتیجه فعالیت آنزیم PDH1 را کاهش داده که منجر به کاهش تجزیه پرولین و درنتیجه تجمع بیشتر آن در گیاه می‌گردد (Hosseinifard *et al.*, 2022).

محتوای ویتامین ث

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم بر میزان ویتامین ث در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار ویتامین ث مربوط به ژنوتیپ ابلق (۳۰۶/۱ میلی‌گرم در صد گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار ویتامین ث (۱۵۳/۰میلی‌گرم در صد گرم وزن‌تر) مربوط به رقم رد روبین پرورش‌یافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). ویتامین ث با ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). ویتامین ث، یک آنتی‌اکسیدان با ارزش غذایی بالا و موجود در گیاهان و سبزی‌ها است که سطوح آن توسط نور تنظیم می‌شود. افزایش شدت نور باعث فعال‌سازی آنزیم‌های کلیدی در مسیر بیوسنتز ویتامین ث شامل GMP (تبدیل GDP-mannose به GDP-L-galactose)، GME (تبدیل GDP-D-mannose به GDP-L-galactose)، CGP (تبدیل GDP-L-galactose به L-galactose-1-phosphate) و GPP (تبدیل L-galactose-1-phosphate به L-galactose) می‌شود و این امر منجر به افزایش تولید ویتامین ث در گیاه می‌شود (Maruta, 2022). این نتایج با گزارش‌های پیشین مبنی بر آن‌که افزایش شدت نور منجر به افزایش غلظت ویتامین ث در برگ کاهو، اسفناج و کلم پیچ گردید، مطابقت دارد (Ortega-Hernandez *et al.*, 2022; Paradiso *et al.*, 2022).

محتوای ترکیبات فنولی کل

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم بر میزان ترکیبات فنولی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار ترکیبات فنولی مربوط به ژنوتیپ ابلق (۲۰۳۹/۶ میلی‌گرم در صد گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار ترکیبات فنولی مربوط به رقم رد روبین (۱۰۰۵/۹میلی‌گرم در صد گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). ترکیبات فنولی کل با فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). ترکیبات فنولی متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که به‌عنوان ترکیبات بیوشیمیایی دفاعی عمل کرده و گیاهان را در عوامل محیطی حفاظت می‌کنند (Kumar *et al.*, 2020). نور و دما دو عامل محیطی اصلی هستند که بر تجمع ترکیبات فنولی تأثیر می‌گذارند (Volná *et al.*, 2024). نور از طریق گیرنده‌های نوری مانند فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها بیان ژن‌های مرتبط با تولید ترکیبات فنولی را تنظیم می‌کند. این گیرنده‌های نوری با فاکتورهای رونویسی مختلفی مانند PIFs برهم‌کنش دارند (Kumar *et al.*, 2023). چندین گزارش نشان داده‌اند که تجمع ترکیبات فنولی در بافت‌های گیاهی در پاسخ به‌قرار گرفتن در معرض دوره‌های نوری دائمی با شدت نور بالا رخ می‌دهد (Singh *et al.*, 2017). مطالعهٔ حاضر همچنین نشان داد که شدت نور بالا بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنولی را تحریک می‌کند که احتمالاً مربوط به جذب نور بیشتر است که باعث بیان ژن‌های کدکنندهٔ آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز می‌شود که مهم‌ترین عامل در سنتز ترکیبات فنولی می‌باشد (Smirnoff, 2018). نتایج این پژوهش با نتایج گزارش‌های پیشین که نشان دادند

کاهش شدت نور منجر به کاهش سنتز ترکیبات فنولی در گیاهان می‌شود، همسو است (Jing *et al*., 2023; Qin *et al*., 2024).

محتوای فلاونوئیدها

اثر ساده شدت نور در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده رقم و برهم‌کنش شدت نور و رقم در سطح احتمال پنج درصد بر میزان فلاونوئیدها معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان فلاونوئیدها مربوط به رقم وایولتا (۸/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار فلاونوئیدها مربوط به رقم رد روبین (۳/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). افزایش شدت نور می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر بیوسنتز فلاونوئیدها در گیاهان داشته باشد. این تأثیرات از طریق سازوکارهای ژنتیکی مختلفی انجام می‌شود که شامل تنظیم بیان ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌ها است به‌طوری‌که با افزایش شدت نور بیان ژن‌های مرتبط با مسیرهای بیوسنتز فلاونوئیدها مانند چالکون سنتاز و فلاونول سنتاز افزایش می‌یابد که نقش کلیدی در تولید فلاونوئیدها دارند (Chen *et al*., 2023). این نتایج با نتایج پژوهش‌های قبلی که نشان دادند افزایش شدت نور باعث افزایش معنی‌دار در غلظت فلاونوئیدهای برگ اسفناج گردید، هم‌خوانی دارد (Battistoni *et al*., 2021). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شدت نور بالا، بیوسنتز و تجمع فلاونوئیدها را تحریک می‌کند که احتمالاً به جذب نور بیشتر مربوط می‌شود و باعث افزایش بیان ژن‌های سازنده آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز می‌شود که در سنتز فلاونوئیدها به عنوان گروهی از ترکیبات فنولی نقش دارد (Liu *et al*., 2022). این نتایج همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فلاونوئیدها با ترکیبات فنولی به دست آمده در این پژوهش را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش شدت نور لامپ‌های ال ای دی قرمز+آبی بر سنتز متابولیت‌های ثانویه و عملکرد ریزسبزی‌های ریحان اثر گذاشت. در مقایسه با شدت نور کم، افزایش شدت نور تا ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه منجر به افزایش سنتز ترکیبات بیوشیمیایی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی مانند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، غلظت آنتوسیانین‌ها، ویتامین ث، فنول‌ها و فلاونوئیدها در تمام ارقام ریزسبزی ریحان مورد مطالعه شد. از بین ارقام و ژنوتیپ‌های موردمطالعه، ژنوتیپ ابلق توانست پتانسیل بالایی در سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نسبت به سایر ارقام نشان دهد. به‌طورکلی ژنوتیپ ابلق تحت طیف نور ال ای دی قرمز و آبی دائم با شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه می‌تواند به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی بالا و ارزش غذایی بیشتر جهت پرورش ریزسبزی ریحان در سامانهٔ شناور استفاده گردد.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از ریاست محترم و معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز که با همکاری و حمایت خود، ما را در انجام این پژوهش علمی یاری نمودند، سپاسگزاریم.

References

Battistoni, B., Amorós, A., Tapia, M. L., & Escalona, V. H. (2021). Effect of blue, green or red LED light on the functional quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 53(1), 98-108.

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.

Bulgari, R.., Baldi, A., Ferrante, A., & Lenzi, A. (2017). Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 45(2), 119-129.

Chen, L., Cui, Y., Yao, Y., An, L., Bai, Y., Li, X., & Wu, K. (2023). Genome-wide identification of WD40 transcription factors and their regulation of the MYB-bHLH-WD40 (MBW) complex related to anthocyanin synthesis in Qingke (*Hordeum vulgare* L. var. nudum Hook. f.). *BMC Genomics*, 24(1), 166.

Dou, H., Niu, G., Gu, M., & Masabni, J. G. (2018). Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality. *HortScience*, 53(4), 496-503.

Driesen, E., Saeys, W., De Proft, M., Lauwers, A., & Van den Ende, W. (2023). Far-Red light mediated carbohydrate concentration changes in leaves of sweet basil, a Stachyose Translocating Plant. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9), 8378.

Enayatizamir, N., Mahmoodi Sourestani, M., & Momeni Monfared, M. (2021). The ipact of pseudomonas putida and chemical phosphorus fertilizer on some vegetative, reproductive and biochemical characteristics of two species of basil (*O. sanctum* L. and *O. basilicum* var. thyrsiflora). *Plant Productions*, 44(2), 235-246 [In Persian].

Fayezizadeh, M. R., Ansari, N. A., Sourestani, M. M., & Hasanuzzaman, M. (2023). Biochemical compounds, antioxidant capacity, leaf color profile and yield of basil (*Ocimum* sp.) microgreens in floating system. *Plants*, 12(14), 2652.

Fayezizadeh, M. R., Ansari, N. A., Sourestani, M. M., & Hasanuzzaman, M. (2024). Variations in photoperiods and their impact on yield, photosynthesis and secondary metabolite production in basil microgreens. *BMC Plant Biology*, 24(1), 712.

Flores, M., Urrestarazu, M., Amorós, A., & Escalona Contreras, V. H. (2022). High intensity and red enriched LED lights increased the growth of lettuce and endive. *Italian Journal of Agronomy*, (17), 1-10.

Gerovac, J. R., Craver, J. K., Boldt, J. K., & Lopez, R. G. (2016). Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of Brassica microgreens. *HortScience*, 51(5), 497-503.

Harakotr, B., Srijunteuk, S., Rithichai, P., & Tabunhan, S. (2019). Effects of light-emitting diode light irradiance levels on yield, antioxidants and antioxidant capacities of indigenous vegetable microgreens. *Science & Technology Asia*, 59-66.

Hernández-Adasme, C., Palma-Dias, R., & Escalona, V. H. (2023). The effect of light intensity and photoperiod on the yield and antioxidant activity of beet microgreens produced in an indoor system. *Horticulturae*, 9(4), 493.

Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5186.

Huang, J. J., D'Souza, C., Tan, M. Q., & Zhou, W. (2021). Light intensity plays contrasting roles in regulating metabolite compositions in choy sum (*Brassica rapa* var. parachinensis). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(18), 5318-5331.

Huang, X., Zhang, W., Liao, Y., Ye, J., & Xu, F. (2024). Contemporary understanding of transcription factor regulation of terpenoid biosynthesis in plants. *Planta*, 259(1), 2.

Jing, X., Chen, P., Jin, X., Lei, J., Wang, L., Chai, S., & Yang, X. (2023). Physiological, photosynthetic, and transcriptomics insights into the influence of shading on leafy sweet potato. *Genes*, 14(12), 2112.

Kumar Pashkevich, A. M., Tchaikovsky, A. I., Rupasova, Z. A., Krinitskaya, N. B., Zadalya, V. S., Shpitalnaya, T. V., Goncharova, L. V., Trofimov, Y. V., & Begmatov, A. M. (2023). Influence of LED lighting intensity on the biochemical composition of white cabbage microgreens. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. *Series of Agrarian Sciences*, 61(3), 199-209.

Kumar, S., Abedin, M. M., Singh, A. K., & Das, S. (2020). Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*, 1, 517-532.

Kyriacou, M.C., El-Nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Soteriou, G.A., Giordano, M., Palladino, M., Ritieni, A., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2020) Phenolic constitution, phytochemical and macronutrient content in three species of microgreens as modulated by natural fiber and synthetic substrates. *Antioxidants*, 9(3), 252.

Lee, J., Durst, R. W., Wrolstad, R. E., & Collaborators. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269-1278.

Liu, K., Gao, M., Jiang, H., Ou, S., Li, X., He, R., & Liu, H. (2022). Light intensity and photoperiod affect growth and nutritional quality of brassica microgreens. *Molecules*, 27(3), 883.

Liu, Y., Wang, C., Chen, H., Dai, G., Cuimu, Q., Shen, W., & Tan, C. (2024). Comparative transcriptome analysis reveals transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in purple radish (*Raphanus sativus* L.). *BMC Genomics*, 25(1), 624.

Maruta, T. (2022). How does light facilitate vitamin C biosynthesis in leaves? *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 86(9), 1173-1182.

McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22(9), 1156-1158.

Ochoa-Velasco, C. E., Valadez-Blanco, R., Salas-Coronado, R., Sustaita-Rivera, F., Hernández-Carlos, B., García-Ortega, S., & Santos-Sánchez, N. F. (2016). Effect of nitrogen fertilization and Bacillus licheniformis biofertilizer addition on the antioxidants compounds and antioxidant activity of greenhouse cultivated tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. Sheva). *Scientia Horticulturae*, 201, 338-345.

Ortega-Hernández, E., Antunes-Ricardo, M., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2021). Improving the health-benefits of kales (*Brassica oleracea* L. var. acephala DC) through the application of controlled abiotic stresses: A review. *Plants*, 10(12), 2629.

Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une méthode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57(18), 1851-1854.

Paradiso, R., & Proietti, S. (2022). Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(2), 742-780.

Pashkevich, A. M., Tchaikovsky, A. I., Rupasova, Z. A., Krinitskaya, N. B., Zadalya, V. S., Shpitalnaya, T. V., Goncharova, L. V., Trofimov, Y. V., & Begmatov, A. M. (2023). Influence of LED lighting intensity on the biochemical composition of white cabbage microgreens. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. *Series of Agrarian Sciences*, 61(3), 199-209.

Pham, M. D., Hwang, H., Park, S. W., Cui, M., Lee, H., & Chun, C. (2019). Leaf chlorosis, epinasty, carbohydrate contents and growth of tomato show different responses to the red/blue wavelength ratio under continuous light. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 477-486.

Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., & Ferreira, I. M. (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 38-43.

Proietti, S., Paradiso, R., Moscatello, S., Saccardo, F., & Battistelli, A. (2023). Light intensity affects the assimilation rate and carbohydrates partitioning in spinach grown in a controlled environment. *Plants*, 12(4), 804, 1-15.

Qin, L., Xue, Y., Fei, Y., Zeng, L., Yang, S., & Deng, X. (2018). Identification, evolution and expression analyses of Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase small subunit gene family in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-13.

Qin, Y., Liu, X., Li, C., Chu, Q., Cheng, S., Su, L., & Zhou, X. (2024). Effect of light intensity on celery growth and flavonoid synthesis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1326218.

Sharma, O. P., & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, 113(4), 1202-1205.

Shibaeva, T. G., Mamaev, A. V., Sherudilo, E. G., & Titov, A. F. (2022). The role of photosynthetic daily light integral in plant response to extended photoperiods. *Russian Journal of Plant Physiology*, 69(1),1-8.

Shukurova, M. K., Myint, D., Yi, S. S., Saw, O. M., & Watanabe, K. N. (2021). Morphological description and ethnobotanical review of the orphan crop Myin-Hkwa (Centella asiatica L.) from Myanmar. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*, 680862.

Singh, B., Kumar, A., & Malik, A. K. (2017). Flavonoids biosynthesis in plants and its further analysis by capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, 38(6), 820-832.

Smirnoff, N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology and Medicine*, 122, 116-129.

Suresh, G., Sharma, P., & Kumari, A. (2023). Fundamentals of crop photosynthesis. *Crop Physiology*: A collaborative insights, 1, 1-30.

Tang, W., Guo, H., Baskin, C. C., Xiong, W., Yang, C., Li, Z., & Sun, J. (2022). Effect of light intensity on morphology, photosynthesis and carbon metabolism of alfalfa (*Medicago sativa*) seedlings. *Plants*, 11(13), 1688.

Volná Pierik, R., & Ballaré, C. L. (2021). Control of plant growth and defense by photoreceptors: from mechanisms to opportunities in agriculture. *Molecular Plant*, 14(1), 61-76.

Yang, D., Ni, R., Yang, S., Pu, Y., Qian, M., Yang, Y., & Yang, Y. (2021). Functional characterization of the Stipa purpurea P5CS gene under drought stress conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9599.

Zhang, Y., Chen, C., Cui, Y., Du, Q., Tang, W., Yang, W., & Gong, R. (2023). Potential regulatory genes of light induced anthocyanin accumulation in sweet cherry identified by combining transcriptome and metabolome analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1-18.

Žlabur, J.Š., Opačić, N., Žutić, I., Voća, S., Poštek, M., Radman, S., & Uher, S. F. (2021). Valorization of nutritional potential and specialized metabolites of basil cultivars depending on cultivation method. *Agronomy*. 11(6), 1-17.

Zulfiqar, F., & Ashraf, M. (2023). Proline alleviates abiotic stress induced oxidative stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(8), 4629-4651.