

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

DOI: [10.22055/ppd.2024.48202.2220](https://doi.org/10.22055/ppd.2024.48202.2220)

Afsaneh Abbasi¹, Naser Alemzadeh Ansari^{2,*} and Mohammadreza Fayezi³

1- PhD student, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

2- Associate Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

3- PhD, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

Abstract

Introduction

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 in the Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, in February 2024. In this study, the effects of five light intensity levels including $82.8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $165.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $248.4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and $331.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 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.

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 $331.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 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 $331.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and had no difference with other cultivars in terms of yield. The highest antioxidant capacity (78.31 %DPPH inhibition), anthocyanin ($31.0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight), vitamin C ($306.1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight) and phenolic compounds ($2039.6 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fresh

weight) were measured in Ablagh genotype under light intensity of $331.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and this basil genotype had no difference with other cultivars in terms of this study traits. The highest amount of flavonoids was measured in Violeto cultivar (8.42 mg g^{-1} fresh weight) under light intensity of $331.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 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 $331.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and had no difference with other cultivars in terms of flavonoids content. Basil microgreen yield had a positive and significant correlation with antioxidant capacity ($r=0.977^{**}$), anthocyanin ($r=0.991^{**}$), carbohydrate ($r=0.889^{**}$), proline ($r=0.981^{**}$), vitamin C ($r=0.998^{**}$), total phenolic compounds ($r=0.995^{**}$), and flavonoids ($r=0.935^{**}$) 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 $331.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In general, Ablagh genotype under continuous red and blue LED light with intensity of $331.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ due to its high antioxidant properties and higher nutritional value can be used for the cultivation of basil microgreens in the floating system.

Keywords: Phenolic compounds, flavonoids, antioxidant capacity, carotenoid, vitamin C.

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

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

چکیده

شدت نور یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که رشد، ریتم درونی گیاه و سنتز متابولیت‌های ثانویه را کنترل می‌کند. این پژوهش در اتاق پرورش گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در بهمن ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. در این مطالعه اثرات شدت‌های مختلف نور ال ای دی قرمز+آبی دائمی شامل $82/8$ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه، $165/6$ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه، $248/4$ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه و $331/2$ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه سه رقم (کاپور، رد روین، وایولتا) و یک ژنوتیپ (ابلق) ریزسبزی ریحان به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر ساده شدت نور بر تمام صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱

درصد داشت و همچنین اثر ساده رقم و اثر متقابل شدت نور و رقم بر تمام صفات مورد مطالعه اختلاف معنی داری ایجاد کردند. شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه توانست خصوصیات بیوشیمیایی و عملکرد تمامی ارقام ریزسبزی ریحان را افزایش دهد. بیشترین عملکرد در رقم رد روبین (۴/۱ 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 معنی داری نداشت. بالاترین ظرفیت آنتی اکسیدانی (۷۸/۳۱ درصد مهارکنندگی DPPH)، آنتوسیانین (۳۱/۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)، ویتامین ث (۳۰۶/۱ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و ترکیبات فنولی (۲۰۳۹/۶ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در ژنوتیپ ابلق تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه اندازه گیری شد و این ژنوتیپ از نظر صفات مورد مطالعه با سایر ارقام در این شدت نور تفاوت معنی داری نداشت. بیشترین مقدار فلاونوئیدها اندازه گیری شد و با سایر ارقام در این شدت نور تفاوت معنی داری نداشت. بیشترین میزان پرولین در رقم رد روبین (۳/۶۱ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه اندازه گیری شد و با سایر ارقام در این شدت نور تفاوت معنی داری نداشت. عملکرد ریزسبزی ریحان با ظرفیت آنتی اکسیدانی ($r=0/997^{**}$)، آنتوسیانین ($r=0/991^{**}$)، کربوهیدرات ($r=0/889^{**}$)، پرولین ($r=0/981^{**}$)، ویتامین ث ($r=0/998^{**}$)، ترکیبات فنولی کل ($r=0/995^{**}$)، و فلاونوئیدها ($r=0/935^{**}$) همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. براساس نتایج تمام ارقام ریزسبزی ریحان مورد مطالعه تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه پتانسیل بالایی در سنتز ترکیبات آنتی اکسیدانی نشان دادند. به طور کلی ژنوتیپ ابلق تحت طیف نور ال ای دی قرمز و آبی دائم با شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به دلیل خواص آنتی اکسیدانی بالا و ارزش غذایی بیشتر می تواند جهت پرورش ریزسبزی ریحان در سامانه شناور استفاده گردد.

کلیدواژه‌ها: ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، ظرفیت آنتی اکسیدانی، کارنتنوئیدها، ویتامین ث

مقدمه

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. ارزشمند متعلق به خانواده Lamiaceae می باشد که به دلیل شاخص آنتی اکسیدانی بالا شامل ترکیبات فنولیک، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها در قرن ۲۱ به عنوان یک گیاه فراسودمند شناخته می شود (Kumar et al., 2024).

ریزسبزی ها معمولاً در مراحل ابتدایی رشد شامل برگ های پنهان، برگ های حقیقی اول و برگ های حقیقی دوم برداشت می شوند و مدت چرخه رشد آن ها بسته به سامانه کشت، شرایط آب و هوایی و گونه گیاهی بین ۷ تا ۲۸ روز پس از سبز شدن می باشد و دارای ویژگی های حسی مانند طعم، بافت، عطر، ظاهر و رنگ های بسیار جذابی به جهت انتخاب مصرف کنندگان هستند (Zhang et al., 2021). علاوه بر خواص آنتی اکسیدانی و غذایی آن ها، ریزسبزی ها به دلیل دوره رشد کوتاه، سازگاری با سامانه های کشت بدون خاک، قابلیت کشت در سامانه های کشت طبقاتی و

سودآوری بالا به عنوان یکی از محصولات استراتژیک قابل تولید در کارخانه های تولید گیاهی معرفی شده اند (Fayezizadeh et al., 2024). با این حال، تعدادی از چالش های پیش روی تولید کنندگان سبزی وجود دارد که مانع توسعه پرورش ریزسبزی ها می شود.

یکی از مهم ترین پارامترهای تولید شدت نور می باشد که نتایج آن بر عملکرد و سنتز متابولیت های ثانویه ریزسبزی ریحان در تحقیقات گذشته محدود می باشد. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که تغییر در پارامترهای نوری می تواند سبب بهبود کیفیت و افزایش زیست توده نهایی گردد (Fayezizadeh et al., 2023). (Pashkevich et al., 2023) در تحقیق خود بر پرورش ریزسبزی ریحان گزارش کردند که بالاترین میزان ویتامین ث، فلاونوئیدها، آنتوسیانین ها، عملکرد و شاخص ترکیبی پتانسیل آنتی اکسیدانی تحت دوره نوری ۲۴ ساعته لامپ ال ای دی قرمز+آبی با شدت نور ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اتاق پرورش گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در بهمن ماه 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 میکرومول بر مترمربع در ثانیه، ۱۶۵/۶ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، ۲۴۸/۴ میکرومول



بر مترمربع در ثانیه و ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به صورت نور دائم (۲۴ ساعته) بر عملکرد و سنتز متابولیت‌های ثانویه سه رقم (کاپور، رد روبین، ویولتا) و یک ژنوتیپ (ابلق) ریزسبزی ریحان به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. 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 (شکل ۱). پس از کاشت سینی‌های کشت در اتاقک پرورش با دمای 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 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 (جدول ۱).

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 دوره نوری ۲۴ ساعته اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش دیگری نشان داد در پرورش ریزسبزی ریحان لیمویی و ریحان مقدس قرمز کاربرد شدت نور ۳۳۰ میکرومول 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 میکرومول 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 میکرومول بر مترمربع در ثانیه را بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ریزسبزی‌های خانواده براسیکاسه مورد ارزیابی قرار داد و گزارش کرد که شدت نور ۳۱۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه باعث افزایش محتوای آنتوسیانین گردید و شدت نور ۱۰۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در افزایش غلظت ترکیبات فنولی کل مؤثر بود (Gerovac *et al.*, 2016). نتایج تحقیق دیگری در پرورش ریزسبزی چغندر (*Beta vulgaris* L.) نشان داد که شدت نور ۲۲۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به ترتیب 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 به دست آمد (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.

پس از کاشت و در مرحله ۴ برگ حقیقی برداشت شدند.

Figure 1. Basil microgreens under continuous red and blue LED light in a floating system.

pH محلول غذایی برابر ۶/۲ و هدایت الکتریکی برابر ۲/۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. ریزسبزی‌های ریحان ۲۰ روز

Table 1. Hoagland's nutrient solution components.

Components	Concentration (mg L ⁻¹)	Components	Concentration (mg L ⁻¹)
Ca(NO ₃) ₂ .3H ₂ O	1180.75	H ₃ BO ₃	2.81
KNO ₃	505.52	MnSO ₄ .H ₂ O	1.37
KH ₂ PO ₄	136.09	ZnSO ₄ .2H ₂ O	0.12
K ₂ SO ₄	2.32	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.08
MgSO ₄ .7H ₂ O	492.94	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.05
Fe(EDTA)	23.08		

میکرولیتر محلول فنل ۵ 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 and Lechasseur, 1979) صورت گرفت. مقدار ویتامین ث با استفاده از روش تیتراسیون با ۶،۲-دی کلرو ایندوفنل انجام شد (OCHOA-VELASCO, 2016). 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 به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شد. تفاوت بین مقادیر میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفتند و همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS 26.0 مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و اثر متقابل شدت نور و رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد کل معنی‌دار

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 در نهایت میزان درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Sharma and Bhat, 2009).

(رابطه ۱) درصد بازدارندگی DPPH = (جذب شاهد - جذب نمونه) / (جذب شاهد) × ۱۰۰

اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین براساس روش تغییر pH انجام شد. بدین منظور دو بافر شامل کلرید پتاسیم (۰/۲۵ مولار) با pH برابر ۱ و بافر سدیم استات (۰/۴ مولار) با pH برابر ۴/۵ تهیه شدند. در نهایت ۴۰ میکرولیتر عصاره و ۱۶۰ میکرولیتر بافر به چاهک میکروپلیت اضافه شد و جذب در طول موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه میکروپلیت خوان اندازه‌گیری شد (Lee *et al.*, 2005).

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 سانترفیوژ شد. در ادامه ۲۵ میکرولیتر عصاره گیاه به همراه ۲۵

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، زیست‌توده 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) و Fayeizadeh 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 نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه به‌طور مداوم در حال فتوسنتز و انباشت کربوهیدرات بودند. بنابراین می‌توان استفاده از نور دائم آبی+قرمز با شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه را جهت افزایش عملکرد به‌عنوان یک استراتژی مناسب برای رشد ریزسبزی ریحان معرفی کرد.

بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد کل در رقم رد روبین (۴/۱ کیلوگرم در مترمربع) تحت تیمار شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه اندازه‌گیری شد که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین عملکرد در رقم وایولتا (۰/۵ کیلوگرم در مترمربع) تحت تیمار شدت نور ۸۲/۸ میکرومول 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 ۱ درصد بود (جدول ۴). در این تحقیق عملکرد ریزسبزی‌های ریحان از ۰/۵-۴/۱ کیلوگرم در مترمربع اندازه‌گیری شد که بیشتر از بازه گزارش شده توسط Bulgari et al. (2024) بود که با استفاده از دوره رشد کوتاه‌تر، ریزسبزی‌ها را در مرحله برگ‌های پهن 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

Table 2. Analysis of variance for quality and biochemical traits based on mean of square.

Source	DF	Yield	Antioxidant capacity	Anthocyanin	Carbohydrates	Proline	Vitmin C	Phenolic Compounds	Flavonoid Compounds
Replication	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	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 [*]
Total error	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 $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

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

Treatments	Yield	Antioxidant	Anthocyanins	Carbohydrates	Proline	Vitamin C	Phenolic Compounds	Flavonoid Compounds	
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	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 100 g ⁻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	Anthocyanins	Carbohydrates	Proline	Vitamin C	Phenolic Compounds	Flavonoid Compounds
Yield	1							
Antioxidant capacity	0.977**	1						
Anthocyanins	0.991**	0.986**	1					
Carbohydrates	0.889**	0.857**	0.857**	1				
Proline	0.981**	0.958**	0.978**	0.895**	1			
Vitamin C	0.998**	0.980**	0.991**	0.897**	0.984**	1		
Phenolic Compounds	0.995**	0.985**	0.993**	0.869**	0.979**	0.993**	1	
Flavonoid Compounds	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.

نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی داری نداشت. کمترین ظرفیت آنتی اکسیدانی (۵۸/۰ درصد بازدارندگی DPPH) مربوط به رقم رد روپین رشد یافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). ظرفیت آنتی اکسیدانی با آنتوسیانین، کربوهیدرات، پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل

اثر ساده شدت نور در سطح احتمال ۱ درصد بر ظرفیت آنتی اکسیدانی معنی داری بود، درحالی که اثر ساده رقم و اثرات متقابل رقم و شدت نور بر ظرفیت آنتی اکسیدانی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدان (۷۸/۳ درصد بازدارندگی DPPH) مربوط به ژنوتیپ ابلق رشد یافته تحت شدت

رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه برحسب بر مترمربع بود (جدول ۳). آنتوسیانین با کربوهیدرات، پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۴). تحقیقات گذشته نشان داده است که افزایش شدت نور باعث افزایش فعال سازی فاکتورهای رونویسی مرتبط با بیان ژنهای دخیل در تولید آنزیمهای کلیدی در مسیر بیوسنتز آنتوسیانینها مانند فنیل آلانین آمونیا لیاز، چالکون سنتاز و دی هیدروفلاونول ردوکتاز می شود (Huang et al., 2024). در نتیجه افزایش بیان ژنهای مربوطه، تجمع آنتوسیانینها در گیاه افزایش می یابد که به عنوان مکانیسم دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از نور شدید عمل می کنند (Zhang et al., 2023). این نتایج با گزارش های Liu et al. (2024) و Qin et al. (2024) هم خوانی دارد که نشان دادند شدت نور بالا به طور قابل توجهی باعث افزایش بیان ژنهای کلیدی دخیل در بیوسنتز آنتوسیانین شده و تولید آن افزایش معنی داری می یابد.

کربوهیدرات

اثر ساده شدت نور، اثرات متقابل شدت نور و رقم بر میزان کربوهیدرات در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود در حالی که اثر ساده رقم بر میزان کربوهیدرات در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار کربوهیدرات مربوط به رقم وایولتا (۴/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) رشد یافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی داری نداشت. کمترین کربوهیدرات مربوط به ژنوتیپ وایولتا (۱/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) رشد یافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). کربوهیدرات با پرولین، ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۴). طبق مطالعات اخیر، افزایش شدت

فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۴). پتانسیل آنتی اکسیدانی تحت تنش های زیستی و غیر زیستی مانند نوسانات شرایط محیطی در طول تولید ریزسبزی افزایش می یابد. ریزسبزی های ریحان به استرس اکسیداتیو نوری ناشی از نور مداوم با تولید بیشتر مواد بیوشیمیایی آنتی اکسیدانی زیست فعال پاسخ می دهند (Pinto et al., 2015). در این مطالعه، محتویات آنتوسیانین، ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و ویتامین ث مهم ترین ترکیبات بیوشیمیایی غیر آنزیمی با خواص آنتی اکسیدانی بودند که سنتز آنها تحت تیمار نور دائم آبی+قرمز با شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه افزایش پیدا کرد. این نتایج با گزارش Flores et al. (2021) و Huang et al. (2022) مطابقت دارد. آنها نشان دادند که شدت نور بیشتر می تواند منجر به افزایش غلظت آنتی اکسیدانها شده و ارزش غذایی گیاهان را بهبود بخشد. پاسخ گیاه به شدت های مختلف نور بسیار تحت تأثیر گونه گیاهی و مرحله رشد قرار می گیرد. 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 آنتی اکسیدانی آن ژنوتیپ نسبت به سایر ارقام گردید. این یافته ها مطابق نتایج تحقیق گذشته بود که نشان داد ژنوتیپ ابلق از بین ۲۱ رقم و ژنوتیپ ریحان دارای پتانسیل آنتی اکسیدانی بالاتری بود (Fayezizadeh et al., 2023).

آنتوسیانین

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و اثر متقابل شدت نور و رقم بر مقدار آنتوسیانین در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار آنتوسیانین مربوط به رقم ابلق (۳۱/۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) رشد یافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی داری نداشت. کمترین مقدار آنتوسیانین مربوط به رقم کاپور (۱۳/۶ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)

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 می‌تواند 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 ROS در گیاهان می‌شود و در نتیجه فعالیت آنزیم PDH1 را کاهش داده که منجر به کاهش تجزیه پرولین و در نتیجه تجمع بیشتر آن در گیاه می‌گردد (Hosseinifard et al., 2022).

ویتامین ث

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و اثرات متقابل شدت نور و رقم بر میزان ویتامین ث در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار ویتامین ث مربوط به ژنوتیپ ابلق (۳۰۶/۱ میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) رشد یافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار ویتامین ث (۱۵۳/۰ میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) مربوط به رقم رد روبین پرورش یافته 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 ۱ 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-

نور موجب تشدید فرآیند فتوسنتز، تولید ATP و NADPH در چرخه کالوین بنستون می‌گردد به طوری که انرژی و کوفاکتورهای فراهم شده از مرحله نوری، زمینه را برای افزایش سنتز مواد آلی مانند کربوهیدرات‌ها در چرخه کالوین بنستون فراهم می‌کنند (Suresh et al., 2023). افزایش شدت نور باعث القای فعالیت آنزیم رویسکو و همچنین افزایش بیان ژن‌های دخیل در چرخه کالوین بنستون مانند آنزیم‌های فسفوریلاسیون و ایزومراسیون می‌شود. به طور مشخص، افزایش شدت نور باعث القای بیان ژن‌های کد کننده زیرواحدهای آنزیم رویسکو می‌شود که آنزیم کلیدی در مرحله کربوکسیلاسیون چرخه کالوین بنستون است و با اتصال به دی‌اکسید کربن و آب، مولکول‌های گلوکز را تولید می‌کند (Qin et al., 2018). بنابراین، مکانیسم مولکولی اصلی افزایش تولید کربوهیدرات با افزایش شدت نور، القای بیان ژن‌های دخیل در آنزیم رویسکو و چرخه کالوین است (Tang et al., 2022) این نتایج با نتایج Proietti et al. و Driesen et al. (2023) هم‌راستا است که گزارش کردند افزایش شدت نور منجر به افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ‌های گیاه ریحان و اسفناج گردید.

پرولین

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و اثرات متقابل شدت نور و رقم بر میزان پرولین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار پرولین مربوط به رقم رد روبین (۳/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) رشد یافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار پرولین مربوط به ژنوتیپ ابلق (۱/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) رشد یافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). پرولین با ویتامین ث، ترکیبات فنولی کل و فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱

مربوط به جذب نور بیشتر است که باعث بیان ژن‌های کدکننده آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز می‌شود که مهم‌ترین عامل در سنتز ترکیبات فنولی می‌باشد (Smirnov, 2018). نتایج این پژوهش با نتایج Jing et al. (2023) و Qin et al. (2024) مطابقت دارد که نشان دادند کاهش شدت نور منجر به کاهش سنتز ترکیبات فنولی در گیاهان می‌شود.

فلاونوئیدها

اثر ساده شدت نور در سطح احتمال ۱ درصد و اثر ساده رقم و اثر متقابل شدت نور و رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان فلاونوئیدها معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان فلاونوئیدها مربوط به رقم وایولتا (۸/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار فلاونوئیدها مربوط به رقم رد روین (۳/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). افزایش شدت نور می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر بیوسنتز فلاونوئیدها در گیاهان داشته باشد. این تأثیرات از طریق مکانیسم‌های ژنتیکی مختلفی انجام می‌شود که شامل تنظیم بیان ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌ها است به طوری که 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 گزارش Battistoni et al. (2021) مطابقت دارد که بیان کردند افزایش شدت نور باعث افزایش معنی‌دار در غلظت فلاونوئیدهای برگ اسفناج گردید. 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

می‌شود و این امر منجر به افزایش تولید ویتامین ث در گیاه می‌شود (Maruta, 2022). این نتایج با گزارش‌های Ortega-Hernandez et al. (2021) و Paradiso et al. (2022) مطابقت دارد که نشان دادند افزایش شدت نور منجر به افزایش غلظت ویتامین ث در برگ کاهو، اسفناج و کلم پیچ گردید.

ترکیبات فنولی کل

اثر ساده شدت نور، اثر ساده رقم و اثر متقابل شدت نور و رقم بر میزان ترکیبات فنولی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار ترکیبات فنولی مربوط به ژنوتیپ ابلق (۲۰۳۹/۶ میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) رشدیافته تحت شدت نور ۳۳۱/۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود که با سایر ارقام ریزسبزی ریحان اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار ترکیبات فنولی مربوط به رقم رد روین (۱۰۰۵/۹ میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) رشدیافته تحت شدت نور ۸۲/۸ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۳). ترکیبات فنولی کل با فلاونوئیدها دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ 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 به قرار گرفتن در معرض دوره‌های نوری دائمی با شدت نور بالا رخ می‌دهد (Singh et al., 2017). مطالعه حاضر همچنین نشان داد که شدت نور بالا بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنولی را تحریک می‌کند که احتمالاً

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ ابلق توانست پتانسیل بالایی در سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نسبت به سایر ارقام نشان دهد. به‌طور کلی 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 سامانه شناور استفاده گردد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله 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 impact 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. thyriflora). *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.

نتایج همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فلاونوئیدها با ترکیبات فنولی به دست آمده در این پژوهش را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

شدت نور لامپ‌های ال ای دی قرمز+آبی بر سنتز متابولیت‌های ثانویه و عملکرد ریزسبزی‌های ریحان تأثیر 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

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.

Hosseinfard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyła, L., & Garneczarska, 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., Tchaikovskiy, 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., & Roupheal, 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., Silveira, 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.
- 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.

مجله دانش کشاورزی