Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2026, Vol 9, No 18(2), Pages 115-138

doi:10.22034/iuvs.2024.2022296.1353 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

The effect of different combinations of LED lights on the nutritional value and quality of microgreens

Ramin Nasr Esfahani[1], Maryam Haghighi[2*], Behrooz Esmaielpour[3]

1- Former MSc student, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[*]**Corresponding author:** mhaghighi@cc.iut.ac.ir

(**Received:** 05 February 2024 **Revised:** 14 April 2024 **Accepted:** 18 May 2024)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Microgreens represent a unique category of products derived from seeds, vegetables, medicinal plants, and certain wild species. These microgreens have attracted attention for their aesthetic appeal and potential health benefits due to the presence of phytochemicals. They are primarily consumed as fresh vegetables. LED lights, particularly those emitting blue and red light, play a significant role in fostering the growth and development of plants. They enhance chlorophyll absorption, boost photosynthesis, and influence the mineral content in plants. The primary objective of this research was to examine changes in mineral nutrient compositions and flavor profiles of fennel, chia, and chicory microgreens under varying LED spectra in a controlled greenhouse environment.
2. **Materials and Methods:** This study was conducted in 2021-2022 in a controlled greenhouse for seedling production in the city of Douche, Guatemalan region, with temperatures of 26.16 ±2°C and relative humidity of 65%, using a completely randomized block design with three replications. The light treatments included LED light at four levels (natural light, 100% red light, 100% blue light, and 70% red light + 30% blue light), applied to chia (*Salvia hispanica* L.), chicory (*Cichorium intybus* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) microgreens. Seeds were purchased from Pagan Bar Company of Isfahan and cultivated in planting trays with dimensions of 60 cm length, 30 cm width, and 5 cm height, using a medium containing a mixture of agricultural soil and perlite in a volume ratio of 1:1. During the first three weeks, irrigation was performed daily and subsequently every other day. Microgreens at the two-leaf stage were subjected to light treatments for 12 hours daily. The wavelength of red light was 650 nm, and the wavelength of blue light was 460 nm, with a total photon flux density (TPFD) of 100 $\mu mol.m^{-2}\ s^{-1}$, embedded at a distance of 80 cm from the microgreens' surface.
3. **Results and Discussion:** The research findings indicated that blue light caused a reduction in internode length, while increased 100% red light exposure led to longer internodes. Hence, maintaining a balance between the blue and red light spectrums is crucial for optimal growth in certain plants. Chicory and fennel microgreens exhibited the longest internodes under 70% red light + 30% blue light, with a 23% increase in chicory and a 45% increase in fennel compared to using only 100% blue light. The highest total chlorophyll content was observed across all three microgreens under 100% blue light and 70% red light + 30% blue light. In chicory and fennel microgreens, 100% red light followed by 70% red light + 30% blue light enhanced phenol content, with 100% red light increasing phenol levels by 26% in chicory and 18% in fennel compared to the control light. The greatest antioxidant activity was noted in chia and chicory under 100% red light and in fennel under 70% red light + 30% blue light. Potassium and iron concentrations increased in chia microgreens under 70% red light + 30% blue light, while zinc concentrations improved by 42% in chia and 16% in fennel. However, magnesium concentration decreased under 70% red light + 30% blue light compared to the control. In chia and chicory microgreens, manganese levels increased by 40% and 9%, respectively, under 70% red light + 30% blue light compared to the control light. Fennel microgreens exhibited a sweet taste with a mild aroma under 100% blue light, a sweet taste with a relatively sharp aroma under 100% red light, and a sweet taste with a strong aroma under 70% red light + 30% blue light combined. Microgreen chia had a bitter taste across all light treatments, with 100% red light resulting in a relatively sharp aroma, 100% blue light producing a mild aroma, and 70% red light + 30% blue light yielding a sharp aroma. Similarly, microgreen chicory displayed a bitter taste under all light treatments, with 70% red light + 30% blue light causing a m

4. **Conclusion:** In general, the use of LED lighting enhanced most of the studied parameters and increased the nutritional value of microgreens compared to natural light in the greenhouse. Specifically, 100% blue light increased total chlorophyll content and induced a mild aroma in all three microgreens: chia, chicory, and fennel. The highest phenol and flavonoid content, along with spicy aromas, were observed in chicory and fennel microgreens under 100% red light. A combination of 70% red light and 30% blue light increased internode length and sweet taste with high aroma in fennel while improving nutrients in chia, chicory, and fennel microgreens. Overall, 70% red light and 30% blue light were identified as the most effective combination for microgreens growth.

***Keywords*:** Essential oil, Mineral elements, Phenolic compounds, Supplementary light.

Citation: Nasr Esfahani, R., Haghighi, M., Esmaielpour, B. (2026). The effect of different combinations of LED lights on the nutritional value and quality of microgreens. *Journal of Vegetables Sciences*, 18(2), 115-138 . doi:10.22034/iuvs.2024.2022296.1353

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۹ ، دوره ۱۸، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحات (۱۳۸-۱۱۵)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/iuvs.2024.2022296.1353

اثر ترکیبات مختلف نورهای LED بر ارزش غذایی و کیفیت میکروگرین‌ها

رامین نصر اصفهانی[۱]، مریم حقیقی[۲*]، بهروز اسماعیل‌پور[۳]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[*]نویسنده مسئول: mhaghighi@cc.iut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۱/۲۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۲/۲۹)

چکیده

میکروگرین‌ها دسته‌ای ویژه از محصولات هستند که به دلیل خصوصیات مطلوب نسبت به گیاهان بالغ اخیراً به‌عنوان سبزی تازه خوری موردتوجه قرارگرفته‌اند. شرایط روشنایی در حین کشت میکروگرین‌ها می‌تواند باعث افزایش ارزش غذایی آن‌ها شود. پژوهش حاضر باهدف تعیین تغییرات ویژگی‌های فیزیولوژیکی، محتویات مواد معدنی و طعم میکروگرین‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.)، چیا (*Salvia hispanica* L.) و کاسنی (*Cichorium intybus* L.) با نسبت‌های مختلف دیود ساطع کننده نور (LED) در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای صورت گرفت. تیمارها شامل نور طبیعی (شاهد)، ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۰۰ درصد نور قرمز و ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی با سه تکرار بود. نتایج پژوهش نشان داد ۱۰۰ درصد نور قرمز موجب افزایش میزان فنول و فلاونوئید در کاسنی و رازیانه شد. همچنین، میزان کلروفیل کل در هر سه میکروگرین با ۱۰۰ درصد نور آبی بهبود یافت. در میکروگرین‌های چیا، کاسنی و رازیانه، بیشترین طول میانگره در ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد آبی به ترتیب ۷/۶۰۰، ۸/۰۱۰ و ۶/۲۰۰ میلی‌متر و کمترین طول میانگره در ۱۰۰ درصد نور آبی ۶/۵۰۰، ۶/۵۰۰ و ۴/۲۶۶ میلی‌متر مشاهده شد. همچنین ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی موجب ایجاد طعم شیرین با عطر زیاد در رازیانه و بهبود عناصر معدنی میکروگرین‌های موردمطالعه شد. هیچ ترکیب غالبی در محتوای اسانس میکروگرین‌ها تحت تیمار نوری مشاهده نگردید. به‌طورکلی استفاده از روشنایی LED موجب تقویت اکثر پارامترهای موردبررسی این پژوهش و افزایش ارزش غذایی میکروگرین‌ها گردید و از میان طیف‌های نوری، ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی برای میکروگرین‌ها مفیدتر واقع گردید.

واژه‌های کلیدی: **اسانس، ترکیبات فنولی، عناصر معدنی، نور تکمیلی.**

استناد: نصر اصفهانی، ر.، حقیقی، م.، اسماعیل‌پور، ب. (۱۴۰۴). اثر ترکیبات مختلف نورهای LED بر ارزش غذایی و کیفیت میکروگرین‌ها. علوم سبزی‌ها، *علوم سبزی‌ها*، ۱۸(۲)، ۱۳۸-۱۱۵.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

میکروگرین‌ها به دلیل دارا بودن سطوح بالاتری از ترکیبات فعال زیستی و مواد مغذی معدنی نسبت به گیاهان بالغ، اخیراً موردتوجه قرارگرفته‌اند. این محصولات غذایی نوظهور از بذرهای گونه‌های مختلف گیاهی به دست می‌آیند (Chen *et al.*, 2020) و به‌عنوان یک سبزی مصرف تازه خوری دارند. بخش خوراکی میکروگرین‌ها شامل ساقه مرکزی، کوتیلدون (برگ‌های بذری) و اولین برگ‌های حقیقی می‌باشد و زمانی برداشت می‌شوند که لپه‌ها کاملاً بازشده و ارتفاع گیاه حداقل ۵ سانتی‌متر باشد (Ying *et al.*, 2020; Appolloni *et al.*, 2022). میکروگرین‌ها منابع متوسط تا خوب پروتئین، فیبر غذایی و مواد مغذی ضروری و همچنین منابع غنی از آسکوربیک اسید، ویتامین E و بتاکاروتن هستند (Faridi *et al.*, 2023). پیش‌ازاین، Pinto و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که میکروگرین‌ها حاوی سطوح پایین‌تری از نیترات‌ها و مقادیر بیشتری از مواد مغذی گیاهی (آسکوربیک اسید، بتا کاروتن، فیلوکینون، الفا-توکوفرول‌ها) در مقایسه با گیاهان بالغ هستند (El Haddaji *et al.*, 2023)، و به دلیل ظاهر، طعم، بافت و سطوح بالای مواد شیمیایی گیاهی که تقویت‌کننده سلامتی هستند مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرند (Tan *et al.*, 2020; Appolloni *et al.*, 2022). اگرچه این محصولات را می‌توان در شرایط بیرونی کشت کرد اما کشت در محیط کنترل‌شده گلخانه با نور مصنوعی رایج‌ترین وضعیت را نشان می‌دهد (Craver *et al.*, 2017).

LED ها یکی از امیدوارکننده‌ترین فناوری‌های روشنایی برای گیاهان می‌باشد، زیرا نه‌تنها منبع انرژی برای فتوسنتز، بلکه سیگنال بسیاری از پاسخ‌های فیزیولوژیکی را نیز برای گیاه فراهم می‌کند (Eghlima & Mohammadi, 2023). LED می‌تواند هم نور باند وسیع (نور سفید) و هم نور تک‌رنگ (به‌عنوان‌مثال نور UV، آبی، سبز، قرمز و قرمز دور) ساطع کند. کیفیت نور (طول‌موج)، کمیت نور (شدت)، دوره نوری (مدت‌زمان) اجزای کلیدی شرایط نوری هستند (Ding *et al.*, 2011). هنگامی‌که چندین LED باهم ترکیب می‌شوند، نورهای تک‌رنگ با شدت‌های مختلف یا ترکیبی از نور با ترکیبات طیفی مختلف می‌توانند ساطع شوند. بنابراین، توانایی کنترل دقیق و انعطاف‌پذیر طیف نور LED ها به آن‌ها اجازه می‌دهد تا طول‌موج نوری بهینه‌ای را ارائه دهند که با گیرنده‌های نوری و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه مطابقت داشته باشد تا به بهینه‌سازی رشد و متابولیسم گیاه کمک کند (Zhang *et al.*, 2020; Mirzakhani *et al.*, 2025).

بسیاری از مطالعات مربوط به کشت گیاهان تحت نورهای LED آبی و قرمز است زیرا آن‌ها بالاترین توانایی جذب و استفاده از نور برای فعالیت فتوسنتزی را دارند. به‌خوبی شناخته‌شده است که چنین نورهایی در مقایسه با نور سایر طول‌موج‌ها در طیف مرئی، جذب کلروفیل بهتری دارند (Zhang *et al.*, 2020). گزارش‌شده است که نور قرمز با افزایش ارتفاع گیاه، وزن‌تر و خشک و سطح برگ، باعث افزایش میزان فتوسنتز و رشد می‌شود (Son & Oh, 2013) و نور آبی بر غلظت کلروفیل، فتومورفوژنز، باز شدن روزنه و تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها تأثیر می‌گذارد (Huché Thélier *et al.*, 2016). برخی از مطالعات اثر مثبت نور آبی تک‌رنگ کوتاه‌مدت یا درصد آن در ترکیبات طیف نوری مختلف را بر محتوای عناصر معدنی در گیاهان نشان داده‌اند (Gerovac *et al.*, 2016). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که LED قرمز یا

درصد بالاتر آن در نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی باعث افزایش برخی مواد مغذی معدنی در کاهو (*Lactuca sativa* L.) (Amoozgar *et al.*, 2017) و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Pennisi *et al.*, 2019) شده است بنابراین شرایط نور تا حد زیادی بر مورفوفیزیولوژی میکروگرین‌ها و بیوسنتز و تجمع مواد فیتوشیمیایی، به‌ویژه در محیط‌های کنترل‌شده رشد تأثیر می‌گذارد (Appolloni *et al.*, 2022).

چیا (*Salvia hispanica* L.) یک گیاه علفی یک‌ساله از خانواده Lamiaceae است که به‌عنوان یک منبع بسیار عالی از امگا ۳، پروتئین، آنتی‌اکسیدان‌ها و فیبر غذایی شناخته می‌شود. این گیاه برای رژیم‌های غذایی سالم به کار می‌رود. رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgare* L.) از خانواده Apiaceae به‌عنوان گیاهی دوساله یا چندساله است که در صنایع دارویی و غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Belabdelli *et al.*, 2020). چیا (*Salvia hispanica* L.) یک گیاهی علفی یک‌ساله از خانواده Lamiaceae است که به‌عنوان منبع فوق‌العاده‌ای از امگا ۳، پروتئین، آنتی‌اکسیدان‌ها و فیبر غذایی شناخته می‌شود. این گیاه همچنین برای رژیم‌های غذایی سالم نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد (Bochicchio *et al.*, 2015). کاسنی (*Cichorium intybus* L.) از خانواده Asteraceae گیاهی معطر و دارویی کوچک دوساله و چندساله است که قسمت‌های مختلف گیاه حاوی تعدادی ترکیبات دارویی مهم مانند ساکارز، پروتئین‌ها، اسید کافئیک، اسکولین، ترکیبات فرار، فلاونوئیدها و ویتامین‌ها می‌باشد و اثر مفید برای حفظ سلامت بدن در برابر برخی بیماری‌ها دارد (Vahabinia *et al.*, 2019). ازآنجایی‌که میکروگرین‌ها می‌توانند منبع ارزشمندی از ترکیبات محافظ سلامت مانند ترکیبات فنولی، آنزیم‌ها و مواد معدنی را تشکیل دهند، بهبود کیفیت آن‌ها یک راه هیجان‌انگیز از تحقیقات و بیوتکنولوژی است، زیرا خواص آن‌ها را می‌توان از طریق محرک‌های مختلف افزایش داد که ممکن است اثر هم‌افزایی داشته باشد، بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات محتویات مواد مغذی معدنی و ویژگی‌های طعمی میکروگرین‌های رازیانه، چیا و کاسنی تحت تأثیر طیف‌های مختلف LED در شرایط کنترل‌شده گلخانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شرایط کنترل‌شده گلخانه تولید نهال واقع در شهرستان درچه منطقه قرطمنان با دمای شبانه‌روز ۲ ±۲۶/۱۶ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۶۵ درصد در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. تیمارهای پژوهش شامل نور LED در چهار سطح (نور طبیعی به‌عنوان شاهد، ۱۰۰ درصد نور قرمز، ۱۰۰ درصد نور آبی و ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی) می‌باشد که بر روی میکروگرین‌های رازیانه، چیا و کاسنی اعمال گردید. بذور گیاهان از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری و سپس در سینی‌های نشاء با طول، عرض و ارتفاع ۶۰، ۳۰ و ۵ سانتی‌متر در بستر کشت حاوی مخلوطی از خاک کشاورزی و پرلیت با نسبت حجمی (۱:۱) کشت گردیدند. در سه هفته اول کشت آبیاری به‌صورت روزانه و سپس یک روز در میان صورت می‌گرفت. میکروگرین‌ها در مرحله دو برگی تحت تیمارهای نوری شامل، نور طبیعی گلخانه (شاهد)، ۱۰۰درصد قرمز، ۱۰۰درصد آبی و ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی (Amoozgar *et al.*, 2017) روزانه به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفتند. طول‌موج نور قرمز ۶۵۰ و

طول‌موج نور آبی ۴۶۰ نانومتر، با چگالی شار فوتون کل (TPFD) ۱۰۰ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه بود که در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از سطح میکروگرین‌ها تعبیه‌شده بود.

صفات رشدی

پس از خارج کردن میکروگرین‌ها از سینی‌های نشا، وزن‌تر آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم و طول میانگره توسط خط‌کش با دقت ۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

محتوای کلروفیل

میزان کلروفیل به روش Arnon (۱۹۴۹) و با استفاده از استون ۱۰۰ درصد استخراج شد، سپس عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و میزان جذب نور در دو طول‌موج ۶۶۳ و ۶۴۵ به ترتیب برای کلروفیل a و کلروفیل b توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV 160A- Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) قرائت شد و سپس کلروفیل کل با استفاده از میزان کلروفیل a و b به دست آمد (Arnon, 1949).

فنول کل

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار فنول با استفاده از روش فولین سیوکالتو، ۰/۱ گرم از پودر برگ با ۱۰ سی‌سی متانول ۸۰ درصد ترکیب و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط بر روی شیکر با ۱۵۰ دور در دقیقه قرار گرفت. سپس محلول صاف‌شده و عصاره برگ به دست آمد. برای انجام اندازه‌گیری، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه‌شده به همراه ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین به نسبت ۱ به ۹ قسمت آب مقطر و به همراه ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد ترکیب و در یک لوله‌آزمایش ریخته شد. سپس، لوله‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته و میزان جذب بلافاصله با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV 160A- Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (Singleton & Rossi, 1965).

فلاونوئید

برای تعیین مقدار فلاونوئیدهای کل، از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم استفاده شد. برای این منظور ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شدند. سپس محلول‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. جذب محلول‌ها در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. همچنین، منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های کوئرستین در حلال متانول تهیه گردید (Yazdizadeh Shotorbani *et al.*, 2013).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به شیوه مهار رادیکال‌های آزاد انجام شد. برای این منظور ابتدا به ۲۰۰ میکرو لیتر از عصاره متانولی استخراج‌شده از نمونه‌ها، ۸۰۰ میکرو لیتر بافر (Tris-HCl) اضافه شد، سپس ۱ میلی‌لیتر محلول DPPH اضافه گردید و در دمای اتاق بدون هیچ نوری قرار داده شد. ۳۰ دقیقه پس از افزودن محلول DPPH ، جذب محلول در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV 160A- Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) اندازه‌گیری شد. میزان جذبی که هنگام معرفی نمونه تحلیلی مشاهده شد، به‌عنوان AS مشخص شد، درحالی‌که میزان جذب که هنگام معرفی اتانول در جای خود مشاهده می‌شد، به‌عنوان AC مشخص شد (Koleva *et al.*, 1949). درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{Inhibition ratio (\%)} = \left(\frac{(Ac-As)}{Ac}\right)\times 100 \quad (1)$$

طعم

برای سنجش میزان طعم میکروگرین‌ها آزمون رومیزی با افراد کارآزموده در محیطی که ازنظر صدا، رنگ، نور و بو از وضعیت مناسبی برخوردار بود انجام شد. هر فرد با آموزش روش‌های ارزیابی حسی، پس از مصرف هر نمونه، برای طعم و عطر، امتیاز ۱ تا ۴ را اختصاص می‌دهد. به ترتیب، برای طعم امتیازهای ۱ تا ۴ به ترتیب به معنای تلخی زیاد، تلخ، نسبتاً شیرین و شیرین است. همچنین برای عطر، اعداد ۱ تا ۴ به ترتیب برای عطر ملایم، نسبتاً تند، تند و عطر زیاد بیان می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱–ارزشیابی طعم و عطر میکروگرین‌ها.

Table 1- Evaluation of flavor and aroma of microgreens.

امتیازدهی Grading	1	2	3	4
طعم Flavor	تلخی زیاد Very bitter	تلخ Bitter	نسبتاً شیرین Rather sweet	شیرین Sweet
عطر Aroma	ملایم Mild	نسبتاً تند Rather spicy	تند Spicy	عطر زیاد Lots of perfume

استخراج اسانس

استخراج اسانس از اندام هوایی میکروگرین‌ها، با استفاده از روش تقطیر با آب انجام شد. در این روش، ۳۰ گرم از پودر میکروگرین‌ها به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و سپس به مدت ۴ ساعت در دستگاه کلونجر (MS-E104- South Korea) قرار گرفت تا فرآیند اسانس گیری انجام شود. سپس، ترکیبات اسانس استخراج‌شده با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent Technologies-7890A) شناسایی شدند (Mirniyam *et al.*, 2022).

عناصر غذایی

برای اندازه‌گیری عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، آهن، روی، منیزیم و منگنز به روش خاکسترگیری خشک عمل شد. و درنهایت میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (JENWAY PFP-7)، اندازه‌گیری شد. میزان عناصر آهن، روی، منیزیم و منگنز به کمک دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (Amador *et al.*, 2007).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه شدند و میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. تجزیه‌وتحلیل مؤلفه اصلی (PCA) با استفاده از Statgraphics Centurion ، نسخه XVI انجام شد. تجزیه داده‌ها در هر میکروگرین به‌طور جداگانه صورت گرفت و اثر متقابل آن‌ها به دلیل تفاوت در نوع گیاهان موردبررسی، در نظر گرفته نشد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای نوری بر صفات مورفولوژیکی میکروگرین‌ها

جدول اثرات تیمارهای نوری بر روی طول میانگره نشان داد که در میکروگرین‌های کاسنی و رازیانه بیشترین طول میانگره به ترتیب ۸/۰۱۰ و ۶/۲۰۰ میلی‌متر تحت ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی و کمترین طول میانگره به ترتیب ۶/۵۰۰ و ۴/۲۶۶ میلی‌متر در ۱۰۰ درصد نور آبی مشاهده گردید، به‌طوری‌که ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی در کاسنی ۲۳ درصد و در رازیانه ۴۵ درصد طول میانگره را نسبت به ۱۰۰ درصد نور آبی افزایش داد. طول میانگره در چیا نیز تحت کاربرد ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی بیشترین مقدار را نشان داد اما ازنظر آماری نسبت به سایر تیمارهای نوری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

نتایج حاصل از پژوهش Azad و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که بوته‌های کاهو وزن‌تر بیشتری تحت کاربرد نور قرمز+آبی با نسبت ۵:۱ بودند، درحالی‌که گیاهانی که تحت کاربرد نور قرمز+آبی با نسبت ۱:۵ بودند کمترین وزن‌تر را نشان دادند. آن‌ها عنوان کردند که ترکیبی بهینه از نسبت‌های نور قرمز به آبی باعث افزایش سرعت رشد گیاه در شرایط کنترل‌شده می‌شود، بااین‌حال، نسبت بهینه نور قرمز به آبی با توجه به گونه‌های گیاهی، دوره‌های رشد و کیفیت‌های موردنظر متفاوت خواهد بود. نتایج حاصل از پژوهش Brazaityte و همکاران (۲۰۱۸) پاسخ‌های متفاوت پارامترهای رشد میکروگرین‌های کلم و خردل را به طیف‌های نوری آبی و قرمز نشان داد، به‌طوری‌که نور آبی تک‌رنگ منجر به افزایش وزن تازه ساقه در هر دو میکروگرین شد اما درصد بالاتر نور آبی در ترکیب با نور قرمز منجر به کاهش وزن‌تر ساقه شد. نتایج حاصل از پژوهش ما برخلاف نتایج فوق تفاوت معنی‌داری در افزایش وزن‌تر میکروگرین‌های چیا، کاسنی و رازیانه تحت تیمار نوری نشان نداد.

کوتیلدون بخش اصلی قسمت خوراکی میکروگرین‌ها هستند. کوتیلدون‌های بلندتر برای اکثر تولیدکنندگان جذاب‌تر هستند زیرا برداشت آن‌ها را آسان می‌کند. بنابراین، طول آن‌ها یک ویژگی کیفی ضروری است و ممکن است تحت تأثیر نور آبی+قرمز قرار گیرد (Ying *et al.*, 2020). محققین گزارش کردند طول‌موج آبی باعث کوتاه شدن میانگره‌های گیاه می‌گردد، درحالی‌که دریافت نور مادون‌قرمز بالا توسط رنگیزه‌های نوری منجر به افزایش طول میانگره‌ها می‌شود. بنابراین تعادل بین طیف آبی و مادون‌قرمز برای برخی گیاهان بسیار لازم است (Fan *et al.*, 2013). مطالعات متعددی نشان داده‌اند نور آبی با تأثیرگذاری بر کریپتوکروم‌های گیرنده نور که مسئول کنترل ارتفاع گیاه هستند، باعث کاهش طول میانگره‌ها و طول ساقه گردیدند (Naznin *et al.*, 2019; Fan *et al.*, 2013). نتایج حاصل از پژوهش Hamedalla و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد، گیاهانی که در معرض مخلوطی از نور قرمز و آبی بودند، گیرنده‌های نوری بیشتری مانند فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها و همچنین فعالیت فتوسنتزی بالاتری نسبت به گیاهانی دارند که در معرض نور قرمز یا آبی تک‌رنگ بودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که طیف نوری ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی موجب افزایش طول میانگره گردیده است زیرا نور آبی موجب تحریک کریپتوکروم‌ها می‌شود که این تأثیر منجر به تولید سیگنال‌هایی می‌گردد که تولید جیبرلین و درنتیجه افزایش طول میانگره و افزایش ارتفاع ساقه را تحریک می‌کند بنابراین تغییر در میزان حضور نور آبی در محیط و افزایش و کاهش

آن منجر به بروز تغییر در ترشح جیبرلین و درنتیجه تغییر در طول میانگره و درنهایت ارتفاع می‌گردد (Fukuda & Olsen, 2011).

تأثیر تیمارهای نوری بر صفات فیزیولوژیکی میکروگرین‌ها

نتایج اثرات تیمارهای نوری نیز نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در هر سه میکروگرین موردبررسی به ترتیب در ۱۰۰ درصد نور آبی و ۷۰ درصد قرمز+ ۳۰ درصد نور آبی مشاهده گردید، به‌طوری‌که میزان کلروفیل کل در چیا، کاسنی و رازیانه به ترتیب ۶/۸۸۳، ۷/۲۶۳ و ۸/۷۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر بود. ۱۰۰ درصد نور آبی همچنین میزان کلروفیل کل را به ترتیب ۹۵، ۳۸ و ۷۷ درصد در میکروگرین‌های چیا، کاسنی و رازیانه نسبت به شاهد بهبود بخشید (جدول ۲).

مقدار بالای کلروفیل می‌تواند جذب نور را افزایش دهد که برای بهبود سرعت فتوسنتز نیز مفید خواهد بود. سنتز کلروفیل در آزمایش Lobiuc و همکاران (۲۰۱۷) در هر دو رقم میکروگرین ریحان با افزایش نسبت نور آبی به سایر طیف‌های نوری بهبود یافت و این یک نتیجه مورد انتظار است، زیرا نور آبی عامل محرک برای تولید کلروفیل در نظر گرفته می‌شود. نور آبی از طریق بهبود بیان ژن‌هایی مانند MgCH، GluTR و FeCH که در سنتز کلروفیل دخیل هستند، میزان کلروفیل را بهبود می‌بخشد، درحالی‌که نور قرمز در جریان بالا منجر به کاهش اسید 5-Aminolevulinic که یک پیش ساز تتراپیرول موردنیاز برای سنتز کلروفیل است می‌شود (Fan *et al.*, 2013). نور آبی همچنین برخی از آنزیم‌ها را در مسیر سنتز کلروفیل تنظیم می‌کند، مانند فسفوانول پیروات کیناز (PEP)، دی‌اکسووالرات دهیدروژناز (DOVA)، ترانس آمیناز و اسید آمینولولینیک سنتاز (ALA)، درحالی‌که نور قرمز تجمع کلروفیل را درنتیجه کاهش پیشسازهای کلروفیل مانند ALA، Proto IX، Mg-Proto IX و پروتوکلروفیلید کاهش داد (Fan *et al.*, 2013).

نتایج اثر تیمار نوری بر میزان فنول نشان داد که در میکروگرین‌های کاسنی و رازیانه به ترتیب ۱۰۰ درصد نور قرمز و سپس ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی میزان فنول را بهبود بخشید. بیشترین میزان فنول در کاسنی و رازیانه به ترتیب ۱۰/۳۵۳ و ۱۰/۱۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر تحت ۱۰۰ درصد نور قرمز و کمترین مقدار آن در تیمار در ۱۰۰ درصد نور آبی به میزان ۸/۱۷۷ و ۷/۱۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مشاهده گردید. علاوه بر این ۱۰۰ درصد نور قرمز موجب افزایش ۲۶ و ۱۸ درصدی میزان فنول به ترتیب در کاسنی و رازیانه نسبت به شاهد شد (جدول ۲). نتایج حاصل از تیمارهای نوری همچنین نشان داد که ۱۰۰ درصد نور قرمز بیشترین فلاونوئید را در چیا، کاسنی و رازیانه به ترتیب ۷/۱۴۲، ۵/۸۲۷ و ۸/۳۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن‌تر و کمترین فلاونوئید در ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی به میزان ۶/۴۰۰، ۵/۲۲۲ و ۷/۳۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مشاهده شد (جدول ۲).

ترکیبات فنولی که در گیاهان در همه‌ی قسمت‌ها وجود دارند و گروه بسیار غنی از متابولیت‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند. آن‌ها رنگ، طعم و عطر میوه‌ها و سبزی‌ها را بهبود بخشیده و جزئی جدایی‌ناپذیر از رژیم غذایی انسان هستند (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). محتوای ترکیبات فنولی یک شاخص کیفی مهم برای میکروگرین‌ها است و تجمع فیتوکمیکال‌های فنولی را می‌توان با کشت تحت LED های

مختلف تحریک کرد. شدت و کیفیت نور اثر مهمی بر روی بیوسنتز ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی دارد. کریپتوکروم و فیتوکروم‌ها به‌عنوان گیرنده‌های نوری در گیاه سبب فعال شدن آنزیم‌های درگیر در ساخت ترکیبات فنولی و انجام اولین مرحله بیوسنتز فلاونوئیدها می‌شود (Wade *et al.*, 2001). در گیاه گل انگشتانه (*Rehmannia glutinosa*) استفاده از تیمار نور LEDتک‌رنگ، آبی و یا قرمز غلظت ترکیبات فنولی، فلاونوئید و آنتوسیانین را افزایش داد (Dou *et al.*, 2017). واکنش گیاهان به نور قرمز و آبی ازنظر تجمع فنولیک‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به گونه و شرایط کشت اشاره کرد. مطالعات بر روی کیفیت نور نشان داد که محتوای فنولی کل در جوانه‌های کلم چینی و جوانه‌های گندم سیاه معمولی تحت نور قرمز LED به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت، درحالی‌که در نور آبی LED در مقایسه با نور سفید افزایش نشان داد (Zhang *et al.*, 2020). مطالعه بر روی میکروگرین ریحان افزایش محتوای فنولی کل را تحت کاربرد نور قرمز نشان داد (Samuolienė *et al.*, 2016) و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنولی در زیر نور عمدتاً قرمز در سبزی والریانا (*Valerianella locusta*) ثبت شد (Wojciechowska *et al.*, 2015).

فلاونوئیدها یکی از بزرگ‌ترین کلاس‌های ترکیبات فنولی در سبزی‌ها هستند و در میکروگرین‌ها، ایزوفلاون، آنتوسیانین، روتئین و کوئرستین شایع‌ترین فلاونوئید موجود می‌باشد (Zhang *et al.*, 2020). قرار گرفتن در معرض نور به‌طور قابل‌توجهی محتوای ترکیبات فلاونوئیدی فوق را افزایش می‌دهد. به‌عنوان‌مثال، قرار گرفتن در معرض نور برای افزایش محتوای ایزوفلاون موجود در جوانه‌های سویا و نخود گزارش‌شده است (Ma *et al.*, 2018). فلاونوئیدها از طریق مسیر فنیل پروپانوئید شاخه‌دار بیوسنتز می‌شوند. اخیراً سطوح رونویسی ژن‌های بیوسنتزی فلاونوئید در جوانه‌ها و میکروگرین‌ها موردبررسی قرارگرفته و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که مدت‌زمان و مقدار نور به‌شدت بر محتوای فنیل پروپانوئیدها در جوانه گندم سیاه تارتاری و سه ترکیب آنتوسیانین (یعنی سیانیدین ۳-O گلوکوزید، سیانیدین ۳-O روتینوزید و دلفیندین۳-O کوماریل گلوکوزید) تأثیر می‌گذارد (Li *et al.*, 2012).

نتایج حاصل از تیمارهای نوری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در چیا و کاسنی تحت ۱۰۰ درصد نور قرمز به ترتیب به میزان ۱۳/۰۳۳ و ۱۱/۷۳۰ درصد و کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۱۲/۲۶۰ و ۱۱/۴۳۰ درصد در تیمار شاهد مشاهده شد. رازیانه تحت ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به میزان ۳۹/۳۶۷ درصد و در ۱۰۰ درصد نور قرمز کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به میزان ۳۴/۲۱۰ درصد نشان داد (جدول ۲).

اکثر محققان پیشنهاد می‌کنند که انتقال الکترون ممکن است مکانیسم اساسی برای سنجش DPPH باشد که ترکیبات فنولی طبیعی سهم عمده‌ای در آن دارند. ازاین‌رو، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ممکن است نتیجه محتوای فنولی قابل‌توجه آن‌ها باشد (Samuolienė *et al.*, 2016). روندهای متفاوتی برای تأثیر کیفیت نور بر اجزای زیست فعال در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش‌شده است. Urbonavičiūtė و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای ویتامین C و ترکیبات فنولی در برگ جو

هنگام قرار گرفتن در معرض نور قرمز بهبود یافت. Wu و همکاران (۲۰۰۷) نیز افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانی گیاهان نخود را تحت نور قرمز عنوان کردند که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد.

تأثیر تیمارهای نوری بر طعم میکروگرین‌ها

میکروگرین رازیانه تحت تأثیر نور شاهد و ۱۰۰ درصد نور آبی طعم شیرین با عطر ملایم داشت درحالی‌که ۱۰۰ درصد نور قرمز طعم شیرین با عطر نسبتاً تند و ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی طعم شیرین با عطر زیاد را موجب شد. میکروگرین چیا تحت تأثیر هر چهار تیمار نوری طعم تلخ داشت و نور شاهد و ۱۰۰ درصد نور قرمز عطر نسبتاً تند، ۱۰۰ درصد نور آبی عطر ملایم و ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی عطر تند را موجب شد. میکروگرین کاسنی تحت تأثیر هر چهار تیمار نوری طعم تلخ داشت و میزان تلخی در ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی بیشتر بود. نور شاهد و ۱۰۰ درصد نور آبی عطر ملایم، ۱۰۰ درصد نور قرمز عطر تند و ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی عطر تند را موجب شد (جدول ۳) داده‌های حاصل از محتوای اسانس میکروگرین‌ها هیچ ترکیب غالبی را نشان نداد (شکل ۱). بررسی تغییر در میزان اسانس گیاهان دارویی بسیار حائز اهمیت است زیرا به تغییر خواص غذایی، دارویی و آنتی‌اکسیدانی آن‌ها مربوط می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2021). بسیاری از محققان بر این باورند که ترکیب شیمیایی اسانس و تولید متابولیت‌های ثانویه با فیزیولوژی گیاه، مرحله نمو، گونه‌های گیاهی و منابع نوری مختلف مرتبط است (Mashkani *et al.*, 2018). Ivanitskikh و Tarakanov (۲۰۱۴) بیان کردند که تغییر در طیف نوری می‌تواند برای بیوسنتز اسانس در گیاهان مؤثر باشد. شدت نور همچنین می‌تواند تولید اسانس را با تحریک آنزیم‌های حساس به نور که برای مسیر موالونیک اسید موردنیاز است را تغییر دهد، بنابراین نور می‌تواند به‌طور مستقیم بر تولید اسانس یا به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش زیست‌توده گیاهی تأثیر بگذارد (Ahmadi *et al.*, 2021). نتایج پژوهش Ahmadi و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که بیشترین میزان اسانس در دو ژنوتیپ بادرنجبویه (*Melissa ofcinalis* L.) تحت کاربرد LED های قرمز و ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی به دست آمد (Ahmadi *et al.*, 2021). نتایج حاصل از پژوهش حاضر برخلاف نتایج فوق نشان داد که هیچ ترکیب غالبی در هیچ‌یک از میکروگرین‌های موردمطالعه تحت کاربرد طیف‌های نوری مشاهده نشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمار نوری بر برخی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی میکروگرین‌ها

Table 2- Mean comparison of the effect light treatments on the growth and physiological characteristics of microgreens

میکروگرین‌ها Microgreens	تیمارها Treatments	وزن‌تر بوته Fresh weight of plant (gr per plant)	طول میانگره Internode length (mm)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)	فنول Phenol (mg g^{-1} FW)	فلاونوئید Flavonoid (mg g^{-1} FW)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)
چیا Chia	شاهد – Control	40.427 a	7.500 a	3.520 c	9.047 c	7.133 a	12.260 b
	۱۰۰ درصد نور قرمز 100% Red light	41.327 a	7.2667 a	3.176 c	9.633 b	7.142 a	13.033 a
	۱۰۰ درصد نور آبی 100% Blue light	40.747 a	6.500 a	6.883 a	7.920 d	7.117 b	12.700 ab
	۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی 70% Red light + 30% Blue light	42.25 a	7.600 a	6.370 b	10.340 a	6.400 c	12.827 ab
کاسنی Chicory	شاهد–Control	39.91 a	7.500 a	5.243 c	8.177 c	5.655 c	11.430 b
	۱۰۰ درصد نور قرمز 100% Red light	39.147 a	7.766 a	4.673 d	10.353 a	5.827 a	11.730 a
	۱۰۰ درصد نور آبی 100% Blue light	39.387 a	6.500 b	7.263 a	8.177 c	5.713 b	11.730 a
	۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی 70% Red light + 30% Blue light	40.817 a	8.010 a	6.490 b	10.093 b	5.222 d	11.570 b
رازیانه Fennel	شاهد– Control	36.86 a	5.500 a	4.936 d	8.550 b	8.261 b	38.667 b
	۱۰۰ درصد نور قرمز 100% Red lifgt	39.447 a	6.033 a	5.670 c	10.163 a	8.327 a	34.210 c
	۱۰۰ درصد نور آبی 100% Blue light	35.743 a	4.266 b	8.743 a	7.113 c	8.241 b	38.680 b
	۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی 70% Red light + 30% Blue light	40.740 a	6.200 a	7.360 b	9.760 a	7.355 c	39.367 a

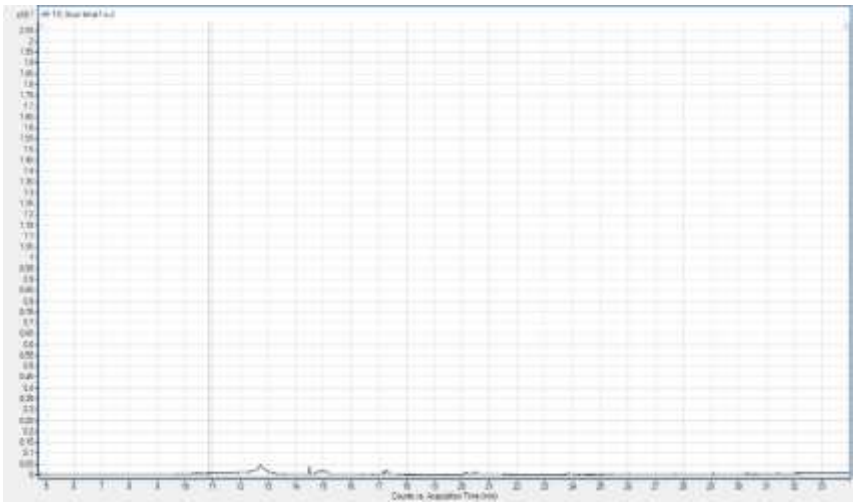
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to the LSD test ($p<0.05$)

جدول ۳- نتایج طعم و عطر میکروگرین‌ها تحت تأثیر تیمارهای نوری

Table 3- Results of taste and aroma of microgreens under the influence of light treatments

تیمارها Treatments	چیا Chia	کاسنی Chicory	رازیانه Fennel
شاهد Control	تلخ با عطر نسبتاً تند Bitter with a rather spicy aroma	تلخ با عطر ملایم Bitter with a mild aroma	شیرین با عطر ملایم Sweet with a mild aroma
۱۰۰ درصد نور قرمز 100% Red light	تلخ با عطر نسبتاً تند Bitter with a rather spicy aroma	تلخ با عطر تند Bitter with a spicy aroma	شیرین با عطر نسبتاً تند Sweet with a rather spicy aroma
۱۰۰ درصد نور آبی 100% Blue light	تلخ با عطر ملایم Bitter with a mild aroma	تلخ با عطر ملایم Bitter with a mild aroma	شیرین با عطر ملایم Sweet with a mild aroma
۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی 70% Red light + 30% Blue light	تلخ با عطر تند Bitter with a spicy aroma	تلخی زیاد با عطر تند Very bitter with a spicy aroma	شیرین با عطر زیاد Sweet with a lot of aroma



شکل ۱- نتایج اسانس در میکروگرین رازیانه تحت ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی

Figure 1- The results of the essential oil in microgreen of fennel under 70% red light + 30% blue light

تأثیر تیمارهای نوری بر میزان عناصر معدنی میکروگرین‌ها

طبق نتایج به‌دست‌آمده از بررسی صفات فیزیولوژیکی میکروگرین‌ها تحت کاربرد طیف‌های نوری مختلف، طیف نوری ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰

درصد نور آبی نسبت به شاهد در بهبود صفات فیزیولوژیکی بهتر عمل نمود، بنابراین بررسی میزان عناصر معدنی میکروگرین‌ها در دو سطح نوری شاهد و ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی صورت گرفت.

نتایج حاصل از اثرات تیمار نوری بر محتوای سدیم نشان داد که ۷۰ درصد نور قرمز+ ۳۰ درصد نور آبی موجب افزایش میزان سدیم نسبت به شاهد در چیا گردید، در حالیکه در کاسنی و رازیانه تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (شکل ۲). در میکروگرین چیا پتاسیم تحت کاربرد ۷۰ درصد نور قرمز+ ۳۰ درصد نور آبی نسبت به شاهد ۶۸ درصد افزایش داد اما در کاسنی و رازیانه تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد ایجاد نکرد (شکل ۳). بیشترین غلظت کلسیم در میکروگرین کاسنی در ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی نسبت به شاهد مشاهده شد اما در میکروگرین چیا غلظت کلسیم در ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۴). غلظت آهن در گیاه چیا تحت کاربرد ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی نسبت به شاهد افزایش یافت اما در کاسنی و رازیانه ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی موجب کاهش میزان آهن نسبت به شاهد گردید (شکل ۵). میزان روی در چیا و رازیانه تحت کاربرد ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی نسبت به شاهد به ترتیب ۴۲ و ۱۶ درصد بهبود یافت (شکل ۶). ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی منجر به کاهش میزان منیزیم در چیا و رازیانه نسبت به شاهد شد اما در کاسنی میزان منیزیم را بهبود بخشید (شکل ۷). در چیا و کاسنی منگنز تحت کاربرد ۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی نسبت به شاهد به ترتیب ۴۰ و ۹ درصد افزایش یافت و در رازیانه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۸).

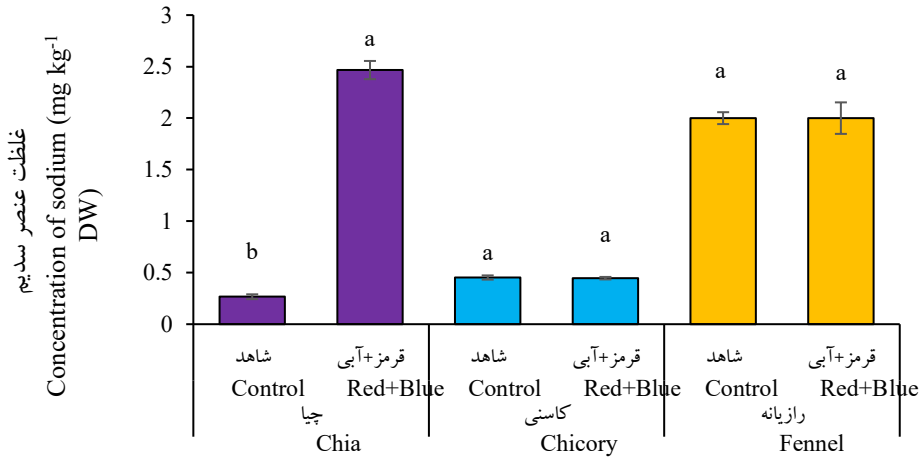
مطالعات مختلف گزارش کرده‌اند که محتوای مواد مغذی معدنی ارتباط نزدیکی با گونه‌ها و واریته‌های میکروگرین‌ها و مراحل بلوغ آن‌ها، فصول کشت و عوامل محیطی مختلف در طول رشد ازجمله نور دارد (Xiao *et al.*, 2016). نتایج حاصل از پژوهش Brazaityte و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که به‌طورکلی، تیمار نوری ۱۰۰ درصد نوری آبی و ۵۰ درصد نور قرمز+۵۰ درصد آبی منجر به محتوای بالاتر مواد مغذی معدنی در میکروگرین‌های خردل و کلم سبز می‌شود. نور آبی از طریق کنترل فتوتروپین، گیرنده نور آبی باعث باز شدن کانال‌های یونی واقع در غشای پلاسمایی سلولی می‌شود و جریان انتقال یون را تقویت می‌کند (Xu *et al.*, 2021). برخی دیگر از مطالعات نیز تأثیر مثبت نور آبی را بر روی تجمع مواد مغذی معدنی در میکروگرین‌های مختلف تأیید کرده‌اند (Brazaityte *et al.*, 2018). علاوه بر این، سایر مطالعات اثر مثبت نور قرمز را بر محتوای مواد مغذی معدنی در میکروگرین گندم سیاه و چغندر گزارش کرده‌اند (Choi *et al.*, 2015; Brazaityte *et al.*, 2018).

همان‌طور که گفته شد محتوای مواد مغذی معدنی در سبزی‌ها مختلف، متفاوت است و این تفاوت به ژنوتیپ و نیازهای مواد مغذی مربوط به هر سبزی بستگی دارد (Amoozgar *et al.*, 2017). به‌عنوان‌مثال، برخی از نویسندگان گزارش کرده‌اند درصد قابل‌توجهی از نور قرمز منجر به افزایش پتاسیم، کلسیم و روی در شوید (Fraszczak *et al.*, 2016)، پتاسیم و منیزیم در کاهو (Amoozgar *et al.*, 2017)، و مواد مغذی معدنی مختلف در ریحان (Amoozgar *et al.*, 2017) شد. در همین حال، درصد بالاتر نور آبی منجر به افزایش منیزیم در ریحان (Hammock, 2018) و کلسیم در کاهو (Amoozgar *et al.*, 2017) شد.

مطالعه Brazaityte و همکاران (۲۰۱۸) همچنین نشان داد که هر دو میکروگرین کلم و خردل دارای محتوای بالایی از کلسیم و منیزیم تحت نور با نسبت نور آبی بالاتر بودند (۵۰ درصد قرمز+۵۰ درصد آبی،، ۲۵ درصد قرمز+۷۵ درصد آبی و ۱۰۰ درصد آبی)، اما محتوای گوگرد بالاتر فقط در خردل و پتاسیم و منیزیم بالاتر فقط در کلم پیچ یافت شد، در همین حال، ۲۵ درصد قرمز+۷۵ درصد آبی منجر به محتوای بالاتری از تمام ریزمغذی‌ها به‌جز منگنز در کلم پیچ شد. از سوی دیگر، بسیاری از مطالعات بررسی‌شده در بالا، تأثیر مثبت نور قرمز را بر محتوای مواد مغذی معدنی در گیاهان مختلف نشان دادند. برخی از مطالعات با آرابیدوپسیس نشان داد که نور قرمز، از طریق گیرنده‌های نوری فیتوکروم، همچنین باید در جذب مواد مغذی معدنی و تحریک ریشه‌ها از طریق مسیرهای متعدد نقش داشته باشد (Sakuraba & Yanagisawa, 2018).

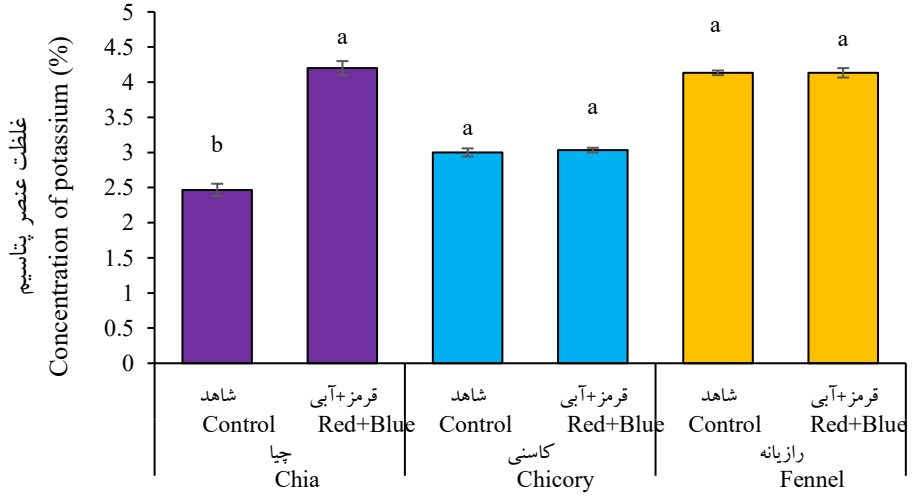
در پژوهش Barickman و همکاران (۲۰۲۰) داده‌ها نشان داد که تیمار ۹۵ درصد قرمز+ ۵ درصد آبی در تیمارهای ۳۷ روزه باعث افزایش غلظت پتاسیم به ۴/۸۷ درصد در کلم چینی در مقایسه با ۳/۶۱ درصد در تیمار نور سفید شد که مطابق با نتایج ما در مورد میکروگرین چیا می‌باشد. در تحقیقی که بر روی گیاه گشنیز انجام‌شده بود نتایج نشان داد که بیشترین میزان فسفر و پتاسیم برگ به ترتیب در زیر نورهای آبی، قرمز+ آبی و قرمز به دست آمد. میزان منیزیم و کلسیم نیز در زیر نورهای قرمز، آبی و قرمز+ آبی تفاوتی با یکدیگر نداشتند(Nguyen *et al.*, 2020). گزارش‌شده است که استفاده از نور LED با طول‌موج مناسب می‌تواند باعث تحریک ترشح فیتوهورمون‌ها مخصوصاً جیبرلین در گیاهان شود و از این طریق سبب مصرف بهتر عناصر معدنی و درنتیجه بهبود رشد و عملکرد در گیاهان گردد (Tamulaitis *et al.*, 2005). نتایج حاصل از بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر روی میزان محتوای عناصر برگ بامیه نشان داد که بیشترین میزان کلسیم، منگنز و فسفر در زیر نور قرمز+ آبی به دست آمد (Degni *et al.*, 2021).

نتایج بای‌پلات نشان می‌دهد که تیمار طیف نوری شاهد بر میزان غلظت عنصر کلسیم و منیزیوم در گیاه چیا تأثیر بهتری داشتند درحالی‌که طیف نوری شاهد تأثیر بیشتری بر میزان فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان در گیاه رازیانه داشت. هر دو طیف نوری شاهد و ۱۰۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی تأثیر بیشتری بر غلظت عنصر آهن، طول میانگره، وزن‌تر گیاه و فنول در گیاه کاسنی داشت. طیف نوری ۱۰۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی غلظت عنصر روی، کلسیم و سدیم بهتری را در گیاه رازیانه داشت. در طیف نوری ۱۰۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی میزان غلظت منگنز و کلروفیل کل بیشتری در گیاه چیا مشاهده شد (شکل ۹).



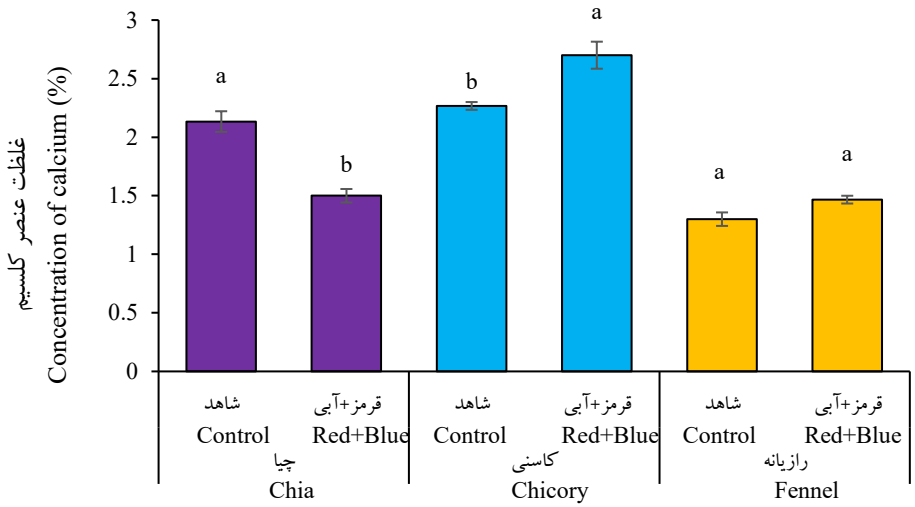
شکل ۲- اثر تیمار نوری بر غلظت سدیم در میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 2- Effect of light treatment on sodium concentration of microgreens (the average comparison is done in each microgreen separately)



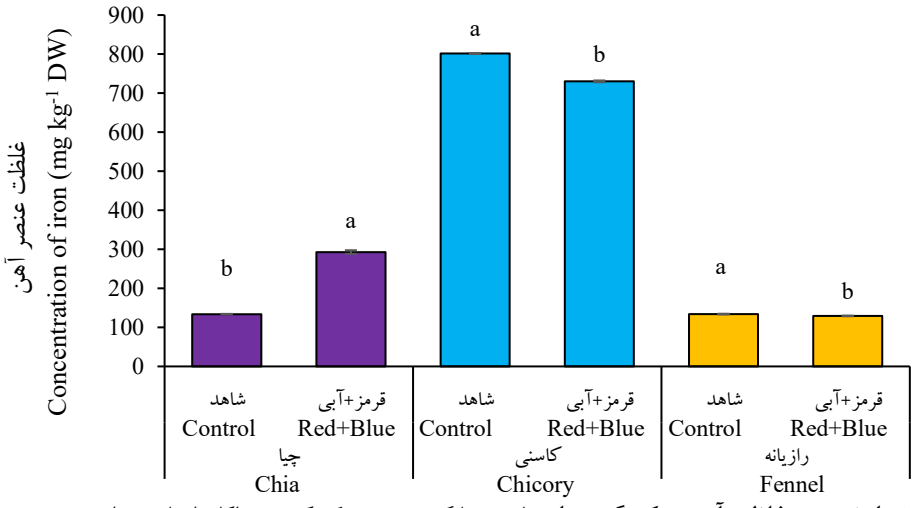
شکل ۳- اثر تیمار نوری بر غلظت پتاسیم میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 3- Effect of light treatment on potassium concentration of microgreens (the average comparison is done in each microgreen separately)



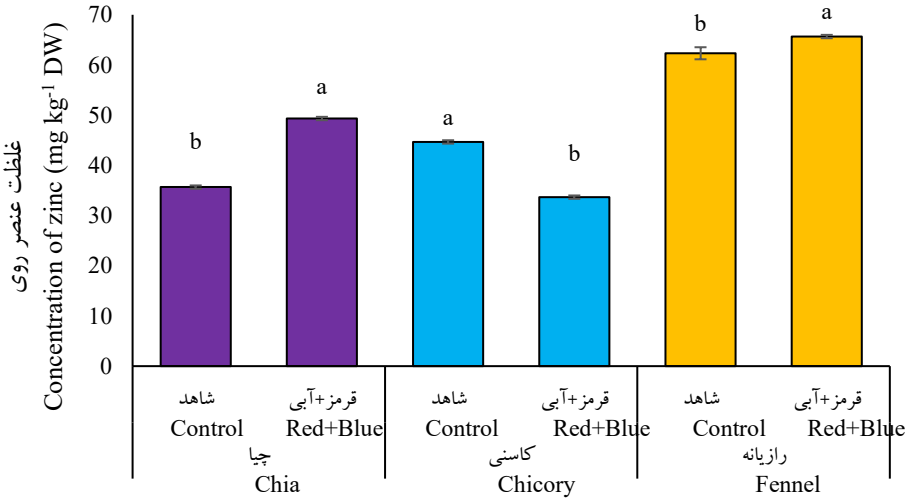
شکل ۴- اثر تیمار نوری بر غلظت کلسیم میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 4- Effect of light treatment on calcium concentration of microgreens (the average comparison is done in each microgreen separately)



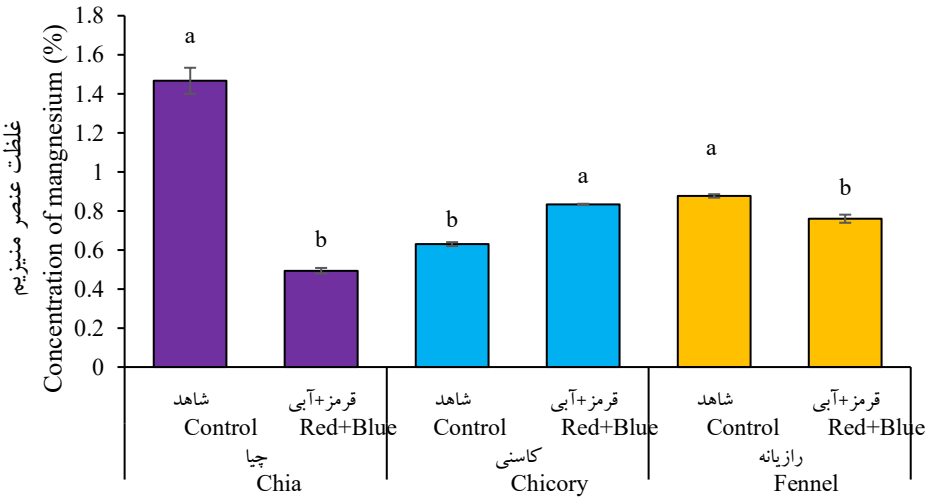
شکل ۵- اثر تیمار نوری بر غلظت آهن میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 5- Effect of light treatment on iron concentration of microgreens (the average comparison is done in each microgreen separately)



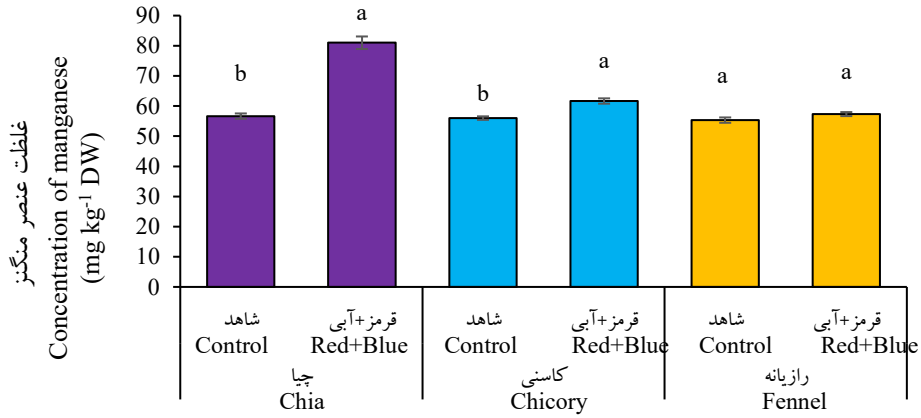
شکل ۶- اثر تیمار نوری بر غلظت روی میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 6- Effect of light treatment on zinc concentration of microgreens (the average comparison is done in each microgreen separately)



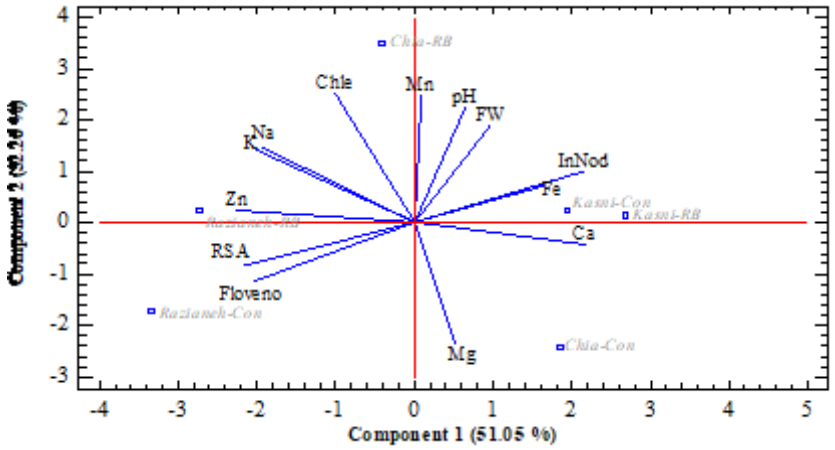
شکل ۷- اثر تیمار نوری بر غلظت منیزیم میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 7- Effect of light treatment on magnesium concentration of microgreens (The average comparison is done in each microgreen separately)



شکل ۸- اثر تیمار نوری بر غلظت منگنز میکروگرین‌ها (مقایسه میانگین در هر میکروگرین جداگانه انجام‌شده است)

Figure 8- Effect of light treatment on Manganese concentration of microgreens (the average comparison is done in each microgreen separately)



شکل ۹- نمودار بای‌پلات بر صفات اندازه‌گیری شده میکروگرین‌های رازیانه، چیا و کاسنی

Chia-RB: میکروگرین چیا-۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی، Chia-Con: میکروگرین چیا- نور شاهد، Kasni-RB: میکروگرین کاسنی-۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی، Kasni -Con: میکروگرین کاسنی- نور شاهد، Razianeh-RB: میکروگرین رازیانه-۷۰ درصد نور قرمز+۳۰ درصد نور آبی، Razianeh -Con: میکروگرین رازیانه- نور شاهد، FW: وزن‌تر بوته، InNod: طول میانگره، Chle:کلروفیل کل، Floveno: فلاونوئید، Ca: کلسیم، K: پتاسیم، Na: سدیم، Mn: منگنز، Mg: منیزیم، Zn: روی، Fe: آهن

Figure 9- Biplot results on the measured traits of fennel, chia and chicory microgreens
Chia-RB: microgreen chia-70% red light + 30% blue light, Chia-Con: microgreen chia-light witness, Chicory-RB microgreen chicory-70% red light + 30% blue light, Chicory-Con: microgreen chicory- light witness, Fennel -RB: microgreen fennel-70% red light + 30% blue light, fennel-Con: microgreen fennel-control light, FW: plant fresh weight, InNod: internode length, Chle: total chlorophyll, Floveno: flavonoid, Ca: calcium, K: potassium, Na: sodium, Mn: manganese, Mg: Magnesium, Zn: Zinc, Fe: Iron

References

Ahmadi, T., Shabani, L. & Sabzalian, M.R. (2021). LED light sources improved the essential oil components and antioxidant activity of two genotypes of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Botanical Studies*, 62, 1-13. https://doi.org/10.1186/s40529-021-00316-7

Amador, B.M., Yamada, S., Yamaguchi, T., Puente, E.O.R., Serrano, N.Y.Á.,

Hernández, J.L.G. & Garibay, A.N. (2007). Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 193, 413-421.

Amoozgar, A., Mohammadi, A. & Sabzalian, M.R. (2017). Impact of light-emitting diode irradiation on photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly. *Photosynthesis*, 55, 85-95. https://doi.org/10.1007/s11099-016-0216-8

Appolloni, E., Pennisi, G., Zauli, I., Carotti, L., Paucek, I., Quaini, S., Orsini, F. & Gianquinto, G. (2022). Beyond vegetables: effects of indoor LED light on specialized metabolite biosynthesis in medicinal and aromatic plants, edible flowers, and microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 102, 472-487. https://doi.org/10.1002/jsfa.11513

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology,* 24, 1-15. https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1

Azad, M.O.K., Kjaer, K.H., Adnan, M., Naznin, M.T., Lim, J.D., Sung, I.J., Park, C.H. & Lim, Y.S. (2020). The evaluation of growth performance, photosynthetic capacity, and primary and secondary metabolite content of leaf lettuce grown under limited irradiation of blue and red LED light in an urban plant factory. *Agriculture*, 10, 28. https://doi.org/10.3390/agriculture10020028

Barickman, T.C., Kopsell, D.A., Sams, C.E. & Morrow, R.C. (2020). Sole-source LED lighting and fertility impact shoot and root tissue mineral elements in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. alboglabra). *Horticulturae*, 6, 40. https://doi.org/10.3390/horticulturae6030040

Belabdelli, F., Piras, A., Bekhti, N., Falconieri, D., Belmokhtar, Z. & Merad, Y. (2020). Chemical composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. *Chemistry Africa,* 3, 323-328. https://doi.org/10.1007/s42250-020-00130-x

Bochicchio, R., Philips, T.D., Lovelli, S., Labella, R., Galgano, F., Di Marisco, A., Perniola, M. & Amato, M. (2015). Innovative crop productions for healthy food: The case of chia (*Salvia hispanica* L.). In: Vastola, A. (Ed.). The sustainability of agrofood and natural resource systems in the Mediterranean basin. Springer, Cham. p. 29-45. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16357-4_3

Brazaityte, A., Vaštakaite, V., Viršile, A., Jankauskiene, J., Samuoliene, G., Sakalauskiene, S., Novickovas, A., Miliauskiene, J. & Duchovskis, P. (2018). Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse. *Acta Horticulturae,* 1227, 507-516. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.64

Chen, H., Tong, X., Tan, L. & Kong, L. (2020). Consumers' acceptability and perceptions toward the consumption of hydroponically and soil-grown broccoli microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100051. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100051

Choi, M.K., Chang, M.S., Eom, S.H., Min, K.S. & Kang, M.H. (2015). Physicochemical composition of buckwheat microgreens grown under different light conditions. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition,* 44, 709-715. http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.5.709

Craver, J.K., Gerovac, J.R., Lopez, R.G. & Kopsell, D.A. (2017). Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within Brassica microgreens. *Journal of the American Society for Horticultural Science,* 142, 3-12. https://doi.org/10.21273/JASHS03830-16

Degni, B.F., Haba, C.T., Dibi, W.G., Soro, D. & Zoueu, J.T. (2021). Effect of light spectrum on growth, development, and mineral contents of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Open Agriculture,* 6, 276-285. https://doi.org/10.1515/opag-2021-0218

Ding, Z., Galván Ampudia, C.S., Demarsy, E., Łangowski, Ł., Kleine Vehn, J., Fan, Y., Morita, M.T., Tasaka, M., Fankhauser, C., Offringa, R. & Friml, J. (2011). Light-mediated polarization of the PIN3 auxin transporter for the phototropic response in Arabidopsis. *Nature Cell Biology,* 13, 447-452. https://doi.org/10.1038/ncb2208

Dou, H., Genhua, N. & Mengmeng, G. (2017). Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. *Horticulture,* 3, 36-46. https://doi.org/10.3390/horticulturae3020036

Eghlima, Gh. & Mohammadi, M. (2022). Improvement of seed germination and growth indices of Satureja khuzistanica Jamzad seedlings under the influence of different light spectrums. *Journal of Vegetables Sciences,* 6, 109-122. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2023.1982859.1257

El Haddaji, H., Akodad, M., Skalli, A., Moumen, A., Bellahcen, S., Elhani, S., Urrestarazu, M., Kolar, M., Imperl, J., Petrova, P. & Baghour, M. (2023). Effects of light-emitting diodes (LEDs) on growth, nitrates and osmoprotectant content in microgreens of aromatic and medicinal plants. *Horticulture*, 9, 494. http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9040494

Fan, X.X., Zang, J., Xu, Z.G., Guo, S.R., Jiao, X.L., Liu, X.Y. & Gao, Y. (2013). Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum,* 35, 2721-2726. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1304-z

Faridi, T., Maleki Lajayer, H., Torabi- giglou, M. & Heydarnajad Giglou, R. (2023). Evaluation of the effects of root medium and light quality on morphology and nutritional quality of radish microgreen. *Journal of Vegetables Sciences,* 6, 43-56. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.553294.1205

Fraszczak, B., Gasecka, M., Golcz, A. & Zawirska Wojtasiak, R. (2016). The effect of radiation of LED modules on the growth of dill (*Anethum graveolens* L.). *Open Life Sciences,* 11, 61-70. https://doi.org/10.1515/biol-2016-0008

Fukuda, N. & Olsen, J.E. (2011). Effects of light quality under red & blue light emitting, & diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. *Acta Horticulturae,* 46, 40-48. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.59

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, 497-503. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.497

Hamedalla, A.M., Ali, M.M., Ali, W.M., Ahmed, M.A., Kaseb, M.O., Kalaji, H.M., Gajc Wolska, J. & Yousef, A.F. (2022). Increasing the performance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings by LED illumination. *Scientific Reports,* 12, 852. https://doi.org/10.1038/s41598-022-04859-y

Hammock, H.A. (2018). The impact of blue and red led lighting on biomass accumulation, flavor volatile production, and nutrient uptake in hydroponically grown genovese basil. Master's Thesis, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29205.60642

Huché Thélier, L., Crespel, L., Le Gourrierec, J., Morel, P., Sakr, S. & Leduc, N. (2016). Light signaling and plant responses to blue and UV radiations perspectives for applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany,* 121, 22-38. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.009

Ivanitskikh, A.S. & Tarakanov, I.G. (2014). Efect of light spectral quality on essential oil components in *Ocimum basilicum* and *Salvia ofcinalis* plants. *International Journal of Secondary Metabolite,* 1, 19. https://doi.org/10.21448/ijsm.240751

Koleva, I.I., Van Beek, T.A., Linssen, J.P.H., de Groot, A. & Evstatieva, L.N. (2002). Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis,* 13, 8-17. https://doi.org/10.1002/pca.611

Li, X., Thwe, A.A., Park, N.I., Suzuki, T., Kim, S.J. & Park, S.U. (2012). Accumulation of phenylpropanoids and correlated gene expression during the development of tartary buckwheat sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 60, 5629-5635. https://doi.org/10.1021/jf301449a

Lobiuc, A., Vasilache, V., Oroian, M., Stoleru, T., Burducea, M., Pintilie, O. & Zamfirache, M.M. (2017). Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. *Journal of Molecular*, 22, 2111. https://doi.org/10.3390/molecules22122111

Ma, M., Wang, P., Yang, R. & Gu, Z. (2018). Effects of UV-B radiation on the isoflavone accumulation and physiological-biochemical changes of soybean during germination: Physiological-biochemical change of germinated soybean induced by UV-B. *Food Chemistry,* 250, 259-267. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.051

Mashkani, M.R.D., Larijani, K., Mehrafarin, A. & Badi, H.N. (2018). Changes in the essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. under diferent drying methods. *Industrial Crops and Products,* 112, 389-395. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.012

Mirniyam, G., Rahimmalek, M., Arzani, A., Matkowski, A., Gharibi, S. & Szumny, A. (2022). Changes in essential oil composition, polyphenolic compounds and antioxidant capacity of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) populations in response to water deficit. *Foods*, 11, 3084. https://doi.org/10.3390/foods11193084

Mirzakhani, Z., Barzegar, R., Musavifard, S.S., Hassanpanah Kolur, D. & Aliniaeifard, S. (2025). Effects of different supplemental light spectra on yield and quality of potato minitubers (*Solanum tuberosum* cv. Agria) in an aeroponic system. *Journal of Vegetables Sciences,* 17, 57-70. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2024.2014335.1327

Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V. & Azad, M.O.K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants,* 8, 12-21. https://doi.org/10.3390/plants8040093

Nguyen, D.T., Kitayama, M., Lu, N. & Takagaki, M. (2020). Improving secondary metabolite accumulation, mineral content, and growth of coriander (*Coriandrum sativum* L.) by regulating light quality in a plant factory. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology,* 95, 356-363. https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1677510

Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J.A., Stanghellini, C., Marcelis, L.F.M., Orsini, F. & Gianquinto, G. (2019). Unraveling the role of red:blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in Plant Science,* 10, 305. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00305

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. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018

Sakuraba, Y. & Yanagisawa, S. (2018). Light signalling-induced regulation of nutrient acquisition and utilisation in plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology,* 83, 123-132. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.12.014

Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Viršilė, A., Jankauskienė, J., Sakalauskienė, S. & Duchovskis, P. (2016). Red light-dose or wavelength-dependent photoresponse of antioxidants in herb microgreens. *PloS one,* 11, e0163405. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163405

Shahidi, F. & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects–A review. *Journal of Functional Foods,* 18, 820-897. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018

Singleton, V.L. & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture,* 16, 144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Son, K.H. & Oh, M.M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience*, 48, 988-995. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988

Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Breivė, K., Ulinskaite, R., Brazaityte, A. & Žukauskas, A. (2005). High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *Journal of Physics D: Applied Physics,* 38, 3182-3192. https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/17/S20

Tan, L., Nuffer, H., Feng, J., Kwan, S.H., Chen, H., Tong, X. & Kong, L. (2020). Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. *Food Science and Human Wellness,* 9, 45-51. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.002

Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Ruzgas, V., Šabajevienė, G., Šliogerytė, K., Sakalauskaitė, J., Duchovskis, P. & Žukauskas, A. (2009). The effect of light quality on the antioxidative properties of green barley leaves. *Sodininkystė ir Darzininkystė*, 28, 153-161.

Vahabinia, F., Pirdashti, H. & Bakhshandeh, E. (2019). Environmental factors' effect on seed germination and seedling growth of chicory (*Cichorium intybus* L.) as an important medicinal plant. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 1-13. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2820-2

Wade, K., Helena, K., Tatiana, N,B., William, J.V. & Gareth, I. (2001). Interactions within a network of phytochrome, cryptochrome and UV-B phototransduction pathways regulate chalcone synthase gene expression in Arabidopsis leaf tissue. *Plant Journal,* 25, 675-85. https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2001.01001.x

Wojciechowska, R., Dugosz Grochowska, O., Koton, A. & Zupnik, M. (2015). Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. *Scientia Horticulturae,* 187, 80-86. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.006

Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H. & Chang, H.M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry,* 101, 1753-1758. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010

Xiao, Z., Codling, E.E., Luo, Y., Nou, X., Lester, G.E. & Wang, Q. (2016). Microgreens of brassicaceae: mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis,* 49, 87-93. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.04.006

Xu, J., Guo, Z., Jiang, X., Ahammed, G.J. & Zhou, Y. (2021). Light regulation of horticultural crop nutrient uptake and utilization. *Horticultural Plant Journal,* 7, 367-379. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.01.005

Yazdizadeh Shotorbani, N., Jamei, R. & Heidari, R. (2013). Antioxidant activities of two sweet pepper *Capsicum annuum* L cultivars phenolic extracts and the efects of thermal treatment. *Avicenna Journal of Phytomedicine,* 3, 25-34.

Ying, Q., Kong, Y., Jones Baumgardt, C. & Zheng, Y. (2020). Responses of yield and appearance quality of four brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. *Scientia Horticulturae,* 259,

108857. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108857

Zhang, X., Bian, Z., Yuan, X., Chen, X. & Lu, C. (2020). A review of the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 203-216. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031