فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۹۵-۲۰۸
https://doi.org/10.22034/13.62.195

مقاله پژوهشی

# برهمکنش طیف نور مصنوعی و تغذیه گوگرد بر مورفولوژی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ارزش غذایی ریزسبزی بروکلی (*Brassica oleracea* var. italica)

حسین مرادی[۱]، کامران قاسمی[۱*]، سید حمیدرضا هاشمی پطرودی[۲] و محدثه مقیمی کندلوسی[۱]

[۱] گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

[۲] گروه مهندسی ژنتیک و بیولوژی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱)

## چکیده

بروکلی یک محصول فراسودمند محسوب می‌گردد، که مصرف آن می‌تواند برای ارتقاء سطح سلامت عمومی بسیار مفید باشد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور انجام گرفت. فاکتور اول طیف نوری در چهار نسبت نوری قرمز به آبی، شامل سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2) و فاکتور دوم تغذیه گوگرد در دو سطح (صفر و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) برای افزایش عملکرد و کیفیت این غذاداروی مهم طراحی و اجرا گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین طول برگ در تیمار R3B1 بدون تغذیه گوگردی ثبت شد، ولی طول ساقه در تیمار ترکیبی R3B1 به همراه تغذیه گوگرد، بیشترین مقدار را داشت. بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار R1B2 به همراه تغذیه گوگرد به‌دست آمد، هر چند اختلاف‌شان با تیمار R3B1 با تغذیه گوگردی و R2B1 بدون تغذیه گوگرد، معنی‌دار نبود. در رنگیزه کارتنوئید، بیشترین مقدار در تیمار R2B1 بدون گوگرد دیده شد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در تیمار R3B1 بدون گوگرد بیشترین مقدار را نشان داد. حداکثر میزان فنل کل در تیمار R2B1 بدون گوگرد ثبت شد، که اختلاف معنی‌داری با تیمار R1B2 بدون گوگرد و R3B1 با تغذیه گوگرد نداشت. بیشترین فلاونویید در تیمار R1B2 بدون تغذیه گوگرد حاصل شد، که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تمامی تیمارهای دیگر بود. با توجه به اینکه نسبت بالای نور قرمز در شرایط بدون تغذیه گوگرد موجب رشد موفولوژیکی مناسب و هم‌چنین افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گردید، بنابراین تیمار مذکور برای تولید ریزسبزی بروکلی در زیر نور مصنوعی قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت نور، آنتی‌اکسیدان، فنل، فلاونوئید، کلروفیل

## مقدمه

ریزسبزی‌ها شامل گیاهانی می‌شوند که برگ‌های لپه‌ای آنها کاملاً گسترش یافته و یا در اولین مراحل رشد برگ حقیقی برداشت و مصرف می‌شوند (Brazaityte *et al.*, 2015). ریزسبزی‌ها حاوی غلظت قابل‌توجهی از فیتوکمیکال‌ها و ویتامین‌های مختلف نسبت به یک محصول بالغ هستند به همین دلیل بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Xiao *et al.*, 2012). در میان گیاهان مختلف جنس Brassica با توجه به

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: k.ghasemi@sanru.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

زمان کوتاه تولید، جوانه‌زنی ساده و ویژگی‌های مورفولوژیکی مناسب، برای تولید ریزسبزی به یک انتخاب محبوب تبدیل شده‌اند (Xiao *et al*., 2012). در این جنس گیاهی، ریزسبزی‌های کلم بروکلی حاوی ترکیبات بسیار مفید فنلی و گلوکوزینولات بالایی هستند، لذا ارزش غذایی بسیار زیادی دارند (Ilahy *et al*., 2020).

خانواده کلم‌ها، گوگرددوست محسوب می‌شوند و بسیاری از ترکیبات مؤثره گیاهان این خانواده حاوی عنصر گوگرد است. تنها در کلم بروکلی بیش از ۱۷ نوع گلیکوزینولات شناخته شده است که در گروه‌های آلیفاتیک، آروماتیک و ایندول طبقه‌بندی می‌شوند و همگی آنها دارای عنصر گوگرد هستند (Miao *et al*., 2017). هرچند نسبت نیتروژن به گوگرد یک عامل مهم در میزان و نوع گلوکوزینولات‌ها و تأثیرگذار بر سایر متابولیت‌های ثانویه در کلم بروکلی شناخته شده است (Ilahy *et al*., 2020)، ولی گزارشاتی نیز وجود دارد که تأثیر تغذیه گوگرد بر فیتوکمیکال‌های کلم بروکلی، کاملاً وابسته به رقم است (Vallejo *et al*., 2003).

در میان همه عوامل محیطی مؤثر بر گیاهان، نور، یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر غلظت مواد فیتوشیمیایی محسوب می‌گردد (Samuoliene *et al*., 2012). شدت و کیفیت‌های مختلف نور می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر محتوای متابولیت‌های ثانویه و مواد دارویی بسیاری از گونه‌های گیاهی داشته باشد. گزارش شده است که رابطه مستقیم نور با محتوای کلروفیل برگ، باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شود (Ahmad *et al*., 2014). تحقیقات نشان داده است که تیمارهای مختلف دیودهای ساطع‌کننده نور (LED) در تجمع مواد فعال زیستی و آنتی‌اکسیدان‌ها، در محصولاتی مانند انواع کاهو (Samuoliene *et al*., 2012)، جوانه نخود فرنگی (Wu *et al*., 2007)، کلم‌چینی (Barber and Andersson, 1992)، گندم سیاه (Tuan *et al*., 2013) و برخی گیاهان دیگر نقش به‌سزایی دارد. مشخص شده است که اگر گیاهان تحت شرایط نوری یا دمایی خاصی قرار بگیرند، با تجمع زیاد متابولیت‌های ثانویه پاسخ می‌دهند. برخی از این متابولیت‌ها به عنوان ترکیبات فعال زیستی شناخته شده‌اند که در صورت مصرف منظم اثرات مثبتی بر سلامت انسان دارند (Neugart *et al*., 2016). مطالعات مختلف اثر محرک نور را بر تجمع متابولیت‌های ثانویه مختلف مانند آرتمیزینین (Leo and Gallerani, 2002)، فلاونوییدها (Ahmad *et al*., 2016) و مشتقات اسید کافئیک (Abbasi *et al*., 2007) نشان داده‌اند.

کارخانه‌های گیاهی (plant factory) از سال ۱۹۸۰ وسیله‌ای برای تولید سبزی‌ها و گیاهان مختلف در مناطقی مانند ژاپن بوده‌اند. جذابیت این سیستم‌ها معمولاً به‌دلیل توانایی آن‌ها در تولید محصولات بسیار یکنواخت در طول سال است، درحالی‌که امکان دستکاری طعم و صفات مورفولوژی براساس ترجیح مصرف‌کننده را نیز فراهم می‌آورند (Goto, 2012). شرایط نور مصنوعی امکان استفاده از شدت نور متفاوت را برای تنظیم رشد گیاه و تجمع مواد شیمیایی گیاهی فراهم می‌کند، که نوعی روش سازگار با محیط زیست و مؤثر برای تولید محصولات با کیفیت بالا محسوب می‌گردد. لامپ‌های LED، یکی از فناوری‌های روشنایی امیدوارکننده برای گیاهان که دارای شدت و طیف نور قابل تنظیم برای رشد و محتویات شیمیایی گیاه است (Zhong *et al*., 2020).

تأکید فزاینده بر ارتقای سطح سلامت جامعه موجب شده که تولید محصولاتی با ارزش غذایی بالا بسیار با اهمیت تلقی گردد. در آینده فراورده‌های کشاورزی فراسودمند می‌توانند جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی افراد جامعه پیدا کنند. از آنجایی که نور بر سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاهان از راه‌های مختلف (مانند تأثیر بر فتوسنتز، تأمین اسکلت کربنی و نقش سیگنالی) اثر می‌گذارد و گوگرد نیز عنصری حیاتی برای متابولیت‌های ثانویه کلم‌ها محسوب می‌شود، لذا بررسی برهمکنش این دو فاکتور در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت تا بتوان از این رهگذر به تیمار ترکیبی مناسبی جهت افزایش توأم عملکرد و ارزش غذایی ریزسبزی بروکلی دست یافت.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح کاملاً

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به‌صورت کشت طبقه‌ای و زیر نور مصنوعی انجام گرفت. کرت اصلی نور مصنوعی در چهار سطح و کرت فرعی تغذیه گوگرد، به‌صورت کودآبیاری، در دو سطح (صفر و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) مورد بررسی قرار گرفت. غلظت گوگرد مورد استفاده در این آزمایش تقریباً برابر میزان این عنصر در محلول هوگلند در نظر گرفته شد. تیمارهای نوری شامل نور قرمز و آبی و دارای شدت نور ثابت بودند، که چهار نوع ترکیب نوری زیر را شامل می‌شدند:

R1B1: یک لامپ قرمز، یک لامپ آبی

R2B1: دو لامپ قرمز، یک لامپ آبی

R1B2: یک لامپ قرمز، دولامپ آبی

R3B1: سه لامپ قرمز، یک لامپ آبی

در این آزمایش، بذر کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. italica "centauro") در سیستم کشت بدون خاک کشت شد. ازآنجایی‌که گیاهان در مرحله ریزسبزی برداشت شدند لذا نیاز به محلول غذایی نداشته و صرفاً آبیاری می‌شدند، البته به‌جز تغذیه گوگرد که کود آبیاری این عنصر برای گیاهان مربوط به این تیمار انجام گرفت. برای تهیه بستر غیرخاکی، از مواد پرلیت (اندازه ذرات ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر) و کوکوپیت به نسبت ۲:۱ استفاده شد. قفسه‌های کشت افقی در ابعاد نیم مترمربع به تعداد ۱۶ عدد طراحی شد (چهار طیف نوری در چهار تکرار) و بر روی طبقه‌ها، سینی‌های کشت دوتایی که هر کدام دارای ۲۱۰ حفره بود قرار گرفت (شکل ۱). دمای محیط آزمایش بین ۲۴ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و درصد رطوبت نسبی ۶۰ تا۷۰ درصد تنظیم شد. مدت زمان روشنایی و تاریکی در محل پرورش گیاه به نسبت ۱۶/۸ (تاریکی/ روشنایی) به‌وسیله تایمر خاموش/ روشن کنترل شد. میزان شدت نور به‌کار رفته ثابت و مقدار ۳۶۰ میکرومول بر مترمربع چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) بوده است.

صفات مورد بررسی شامل صفات مورفولوژیکی، زیست توده، رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنتی‌اکسیدان کل، فنل کل و فلاونوئید کل بود. طول ساقه، طول برگ لپه‌ای و عرض برگ لپه‌ای جوانه از اولین روز ظهور لپه‌ها به فاصله هر دو روز تا پایان روز چهاردهم با استفاده از خط‌کش میلی‌متری محاسبه شد (شکل ۲). برای اندازه‌گیری وزن تر و وزن خشک، از هر تکرار به تعداد ۱۰۰ ریزسبزی، برداشت کرده و وزن تر آن به‌وسیله ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. سپس در کاغذ پیچیده و به مدت ۴۸ ساعت در آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خشک‌شدن کامل نمونه‌ها، وزن خشک آن‌ها به‌وسیله ترازوی حساس خوانده شد.

**محتوای کلروفیل *a*، *b*، کل و کاروتنوئید:** جهت اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی یک گرم بافت تازه گیاه را در ۱۰ میلی‌لیتر استون ٪۸۰ ساییده و به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار گرفت، پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ ۶۰۰۰ دور در دقیقه، از عصاره بالایی برداشته و به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۶۴۵، ۴۷۰ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و با استفاده از روابط کلروفیل *a*، *b* و کارتنوئیدبر حسب (mg/g FW) محاسبه شد (Arnon *et al*., 1967).

Chl.a = [12.7(A663)- 2.69(A645)]×V/1000FW
Cl.b = [22.9(A645)- 4.68(A663)]×V/1000FW
Chl.Total = [20.2 (A645)+8.02(A663)]×V/1000FW
Carotonoids = 1000(A470) +3.27(mg Chl.a) -104 (mg Chl.b)/227

V= حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

**درصد مهار آنتی‌اکسیدانی:** جهت اندازه‌گیری درصد مهارآنتی‌اکسیدانی از رادیکال DPPH (۲دی‌فنیل ۱پیکریل هیدرازیل) استفاده شد. ۷۵۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۷۵۰ میکرولیتر از محلول رادیکال DPPH ۱۰ میکرومولار مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی انکوبه شد. جذب نوری نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر در مقابل شاهد خوانده شد و درصد مهار ازطریق فرمول زیر محاسبه شد (Ebrahimzadeh *et al*., 2009).

DPPH = (درصد جذب شاهد– درصد جذب نمونه / درصد جذب شاهد)×۱۰۰

**محتوای فنل کل:** برای اندازه‌گیری فنل به ۲۰ میکرولیتر از

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]



**شکل ۱- محل انجام آزمایش و قفسه‌های دارای انواع طیف نور LED**



**شکل ۲- ریزسبزی برداشت‌شده پس از ۱۴ روز**

عصاره متانولی ۱۰۰ میکرولیتر فولین اضافه شد. سپس ۱/۶ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه و به مدت ۵ دقیقه استراحت داده شد. سپس ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار اضافه شد و ۳۰ دقیقه در حمام بخار ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر در مقابل شاهد خوانده شد (Slinkard and Singleton, 1977).

**محتوای فلاونوئید کل:** برای سنجش فلاونویید، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول مخلوط گردیده و ۱۰۰ میکرولیتر آلومینیوم کلراید به محلول اضافه شد، سپس ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم و ۲/۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه و ورتکس گردید. سپس توسط اسپکتروفتومتر با طول‌موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد (Chung *et al*., 2002).

همه داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش در محیط اکسل وارد شده و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 آنالیز واریانس شدند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج و یک درصد صورت گرفت و نمودارها با نرم‌افزار اکسل رسم شد.

## نتایج و بحث

**مورفولوژی و زیست‌توده:** همان‌طور که جدول تجزیه

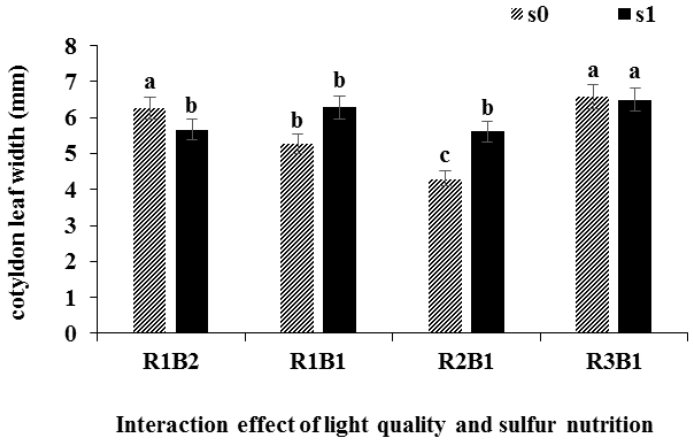
[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

**جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت نور و تغذیه گوگرد برمیزان زیست‌توده گیاهی ریزسبزی کلم‌بروکلی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | طول برگچه | عرض برگ | طول ساقه | وزن تر | وزن خشک |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کیفیت نور | ۳ | ۲/۵۵۹** | ۱/۶۴۱** | ۴۴/۹۲** | ۰/۰۳** | ۰/۷۱۲** |
| خطای اصلی | ۴ | ۰/۰۷۶ | ۰/۰۹۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۸ |
| تغذیه گوگرد | ۱ | ۱/۰۱۴** | ۰/۲۹* | ۳/۱۶۱** | ۰/۰۱۱** | ۰/۴۲** |
| نور × گوگرد | ۳ | ۱/۲۰۶** | ۱/۲۶۱** | ۶/۵۳۳** | ۰/۰۰۱* | ۰/۰۳۲ ns |
| خطای فرعی | ۱۲ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۳ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۴/۷۸ | ۲/۰۷۳ | ۰/۸۷۱ | ۵/۲۴ | ۵/۵۲۴ |

****، *و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری**




**شکل ۳- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر عرض برگ لپه‌ای در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**

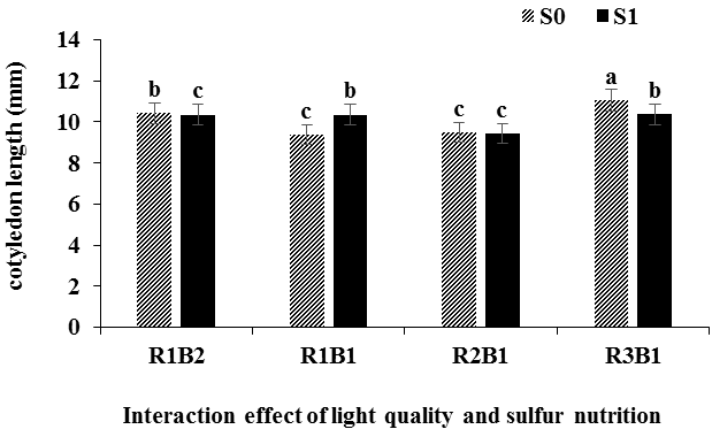
واریانس نشان می‌دهد، اثر متقابل دو فاکتور طیف نوری و تغذیه گوگردی بر طول برگ لپه‌ای، عرض برگ لپه‌ای و طول ساقه‌چه در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفت وزن تر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، اما بر صفت وزن خشک گیاه اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کمترین عرض برگ لپه‌ای با عدد ۴/۳۰۶ میلی‌متر مربوط به تیمار R2B1 بدون گوگرد بود، که به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر کمتر بود (شکل ۳). صرف‌نظر از تغذیه گوگردی، بیشترین عرض برگ لپه‌ای در گیاهان زیر نور R3B1 به‌دست آمد، که با تیمار R1B2 بدون گوگرد اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳).

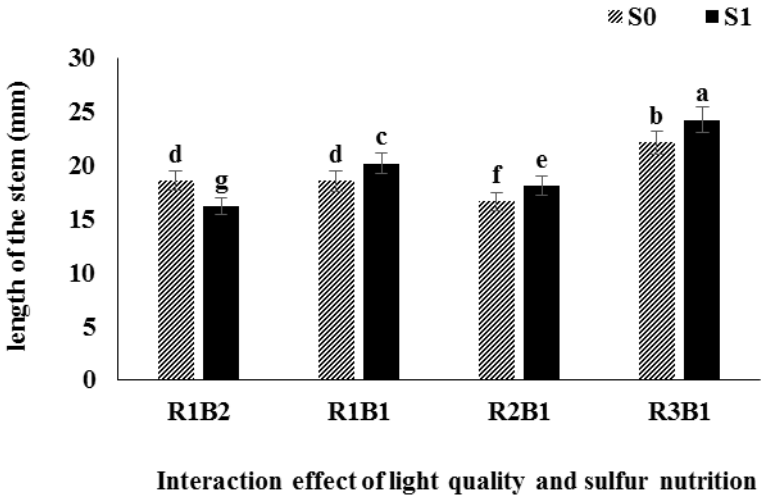
بیشترین طول برگ در تیمار R3B1 بدون تغذیه گوگردی ثبت شد، که به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارهای به‌کاررفته بیشتر بود. طول ساقه در تیمار ترکیبی R3B1 به همراه تغذیه گوگردی با عدد ۲۴/۲۳ میلی‌متر، بیشترین مقدار را نشان داد که به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بیشتر بود و در رتبه بعدی تیمار R3B1 بدون تغذیه گوگردی قرار گرفت (شکل ۴). کمترین طول ساقه در گیاهان رشدیافته زیر نور R1B2 همراه با تغذیه گوگرد با عدد ۱۶/۶۰۶ میلی‌متر بدست آمد، که از سایر تیمارهای بکار رفته در این آزمایش کمتر بود (شکل ۴ و ۵).

وزن تر و خشک ریزسبزی کلم بروکلی تحت‌تأثیر

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]




**شکل ۴- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان طول برگ لپه‌ای در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**




**شکل ۵- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان طول ساقه‌چه در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**

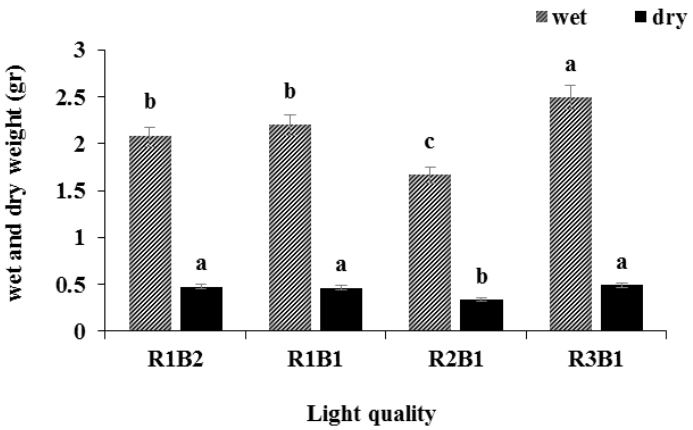
برهمکنش دو فاکتور قرار نگرفت، اما اثر ساده طیف نوری نشان داد، که کمترین میزان وزن خشک هوایی در تیمار نوری R2B1 حاصل شد، اما سایر تیمارهای نوری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۶). تیمار مذکور (R2B1) کمترین میزان وزن تر هوایی را نیز نشان داد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارهای نوری بود (شکل ۶). همچنین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار تغذیه گوگردی کمتر از زمانی بود که تغذیه گوگرد صورت نگرفت (شکل ۷).

ازآنجایی‌که تیمار R3B1 بدون تغذیه گوگرد، بیشترین مقدار عددی طول و عرض برگ لپه‌ای را داشت، لذا می‌توان نتیجه گرفت که این تیمار بیشترین سطح برگ را ایجاد می‌کنند. سطح برگ خود می‌تواند روی میزان فتوسنتز و رشد گیاه تأثیرگذار باشد، که این مسئله در گیاهان جوان به دلیل عدم وجود یک کانوپی گسترده و سایه‌اندازی زیاد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. به بیان دیگر در گیاهان جوان، پاسخ‌های فوتومورفوژنتیکی روی رشد و عملکرد گیاه تأثیر زیادی دارد (Hogewoning *et al.*, 2010).

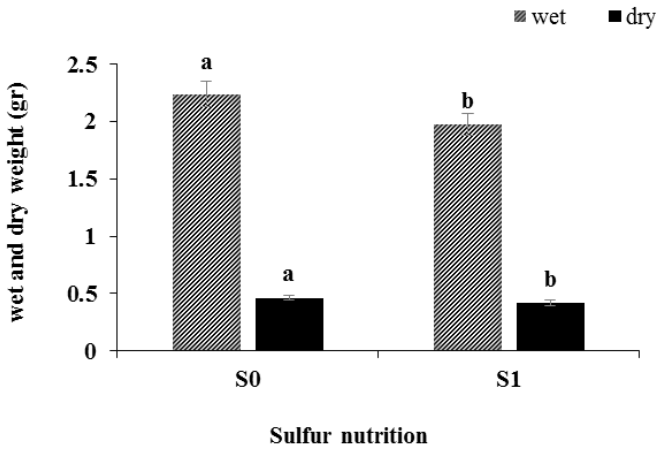
به‌طور کاملاً مشخص، صرف‌نظر از تیمار گوگردی، طیف

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]




**شکل ۶- اثر کیفیت نور بر میزان وزن تر و خشک در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**




**شکل ۷- اثر تغذیه گوگردی بر میزان وزنتر و خشک در ریزسبزی کلم‌بروکلی (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0)**

نوری R3B1 که میزان نور قرمز بالایی داشت، موجب افزایش طول گیاه شد و در مقابل تیمار با نور آبی زیاد به همراه گوگرد موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع شد. در آزمایشی روی گیاه سرخ‌برگه نشان داده شد که نسبت نور آبی زیاد (۸۰ درصد نور آبی) موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، سطح برگ و سطح برگ در دو محیط اتاقک رشد و گلخانه شد (Islam *et al.*, 2012). نتایج مشابهی در گل داوودی گزارش شد، به‌طوری‌که افزودن نور LED آبی موجب کاهش ارتفاع گیاه شد (Dierck *et al.*, 2017).

نسبت نوری R2B1 که در بسیاری از گیاهان به‌عنوان یک ترکیب نوری ایده‌آل معرفی می‌شود، در مورد ریزسبزی کلم‌بروکلی مطلوب نبوده و حتی موجب کاهش زیست‌توده گردید، که دلیل آن می‌تواند وابسته به ژنوتیپ و یا وابسته به مرحله رشدی گیاه باشد. به نظر می‌رسد علاوه بر این‌که طیف نوری بهینه در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت باشد، بلکه یک گونه گیاهی خاص نیز در مراحل مختلف رشدی کیفیت نوری مختلفی را می‌پسندد. به تازگی پژوهشی روی گیاه شاه‌دانه صورت گرفت و نتایج آن نشان داد که استفاده از سه طیف نوری متفاوت در مراحل جوانه‌زنی، رشد رویشی و گلدهی تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و ماده مؤثره گیاه شاه‌دانه داشت (Arora and Yun, 2023).

تیمار گوگرد موجب کاهش ارتفاع گیاهچه شد. به نظر

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

**جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ریزسبزی کلم بروکلی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | کلروفیل *a* | کلروفیل *b* | کلروفیل کل | کاروتنوئید |
|---|---|---|---|---|---|
| کیفیت نور | ۳ | ۰/۰۰۰** | ۰/۰۰۰** | ۰/۰۰۰** | ۱/۳۲۵** |
| خطای اصلی | ۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۴۷ |
| تغذیه گوگرد | ۱ | ۰/۰۰۰** | ۰/۰۰۰ ns | ۰/۰۰۲** | ۰/۳۵۴ns |
| نور× گوگرد | ۳ | ۰/۰۰۰** | ۰/۰۰۰** | ۰/۰۰۰** | ۱/۷۷۳** |
| خطای فرعی | ۱۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۹۷ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۲/۶۹۷ | ۹/۷۷۳ | ۷/۹۹۶ | ۹/۶۱۶ |

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری**

می‌رسد گوگرد اضافی برای گیاه گوگرددوستی مانند بروکلی موجب تحریک این گیاه برای تغییر جریان کربوهیدراتی از تولید زیست‌توده به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه باشد، لذا در چنین شرایطی کاهش عملکرد ممکن است رخ دهد که در واقع این کاهش رشد هزینه است که گیاه در ازای افزایش ارزش غذایی متحمل می‌شود. همچنین این احتمال وجود دارد که تغذیه زیادی گوگرد تعادل غذایی در گیاه برهم‌زده و این خود موجب کاهش عملکرد گردد، در همین راستا گزارش شده است که نسبت نیتروژن به گوگرد در کلم‌بروکلی باید حدود ۷ تا ۱۰ باشد تا بتواند علاوه بر افزایش عملکرد، افزایش در ماده مؤثره، به‌طور خاص، گلیکوزینولات‌ها را نیز موجب گردد (Schonhof *et al*., 2007).

**رنگیزه‌های فتوسنتزی:** براساس جدول آنالیز واریانس، اثر متقابل دو فاکتور کیفیت نور و تغذیه گوگردی بر میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کارتنوئید کل، همگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

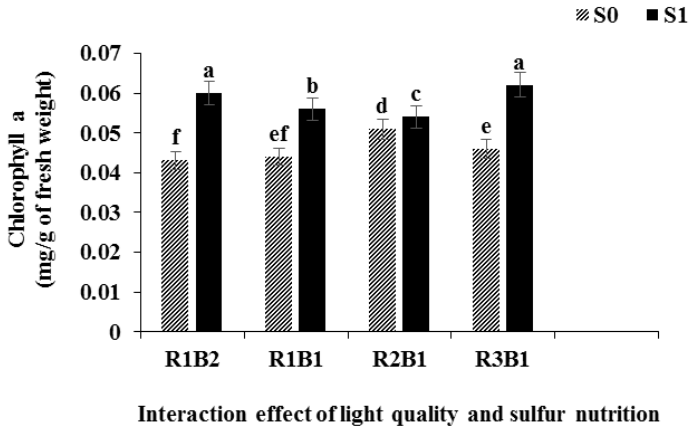
بیشترین میزان کلروفیل *a*، در تیمار نوری R3B1 به همراه تغذیه گوگرد بدست آمده که اختلاف معنی‌داری با تیمار R1B2 با تغذیه گوگرد نداشت (شکل ۸). تمام تیمارهای نوری بدون تغذیه گوگرد، حاوی میزان کمتری از کلروفیل *a* در مقایسه با تیمارهای مشابه تغذیه گوگرد بودند (شکل ۸). میزان کلروفیل *b* در تیمار ترکیبی R2B1 بدون تغذیه گوگرد بیشترین مقدار بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار R1B2 با تغذیه گوگرد نشان نداد، ولی میزان کلروفیل *b* در دو تیمار ذکرشده نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۹).

بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار R1B2 به همراه تغذیه گوگرد به‌دست آمد، هر چند اختلاف‌شان با تیمار R3B1 با تغذیه گوگردی و R2B1 بدون تغذیه گوگرد معنی‌دار نبود (شکل ۱۰). کمترین میزان کلروفیل کل نیز در تیمار R1B2 و R1B1 بدون تغذیه گوگرد ثبت شد (شکل ۱۰). در رنگیزه کارتنوئید، بیشترین مقدار در تیمار R2B1 بدون گوگرد دیده شد که اختلاف معنی‌داری با R1B2 بدون تغذیه گوگردی نشان نداد (شکل ۱۱).

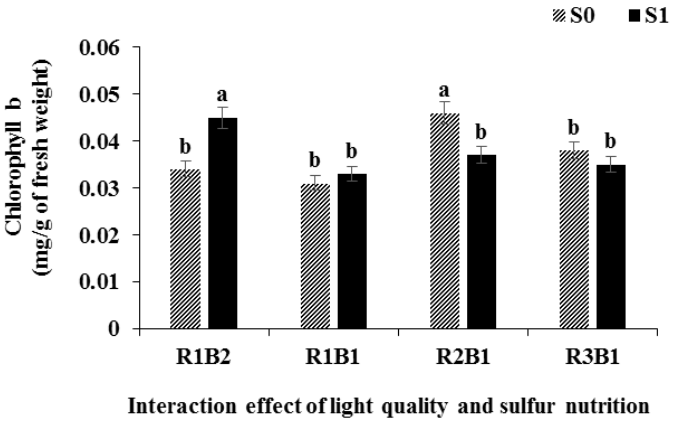
مجموع شاخص‌های مرتبط با رنگیزه‌های بیانگر این است که در زمان استفاده از تیمار گوگردی، طیف نوری R1B2 از نظر رنگیزه‌ها وضعیت بهتری نشان داد، لذا برهمکنش تغذیه گوگرد و نور می‌تواند بسیار مهم باشد و احتمالاً سایر عناصر غذایی نیز دارای برهمکنش‌هایی با کیفیت نور باشند که باید در پژوهش‌های آتی مورد ارزیابی قرار گیرد. Chen و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که طیف نور آبی موجب افزایش کلروفیل در گیاه سیب‌زمینی می‌گردد. گزارشات متعددی نیز نشان می‌دهد که در گیاهان مختلف، نور آبی تأثیر مثبت بر افزایش کارتنوئیدها دارد (Ouzounis *et al*., 2015). نتایج همه این پژوهش‌ها هم‌راستا با نتایج آزمایش ماست هر چند در آزمایش حاضر، طیف نوری با میزان نور آبی زیاد، تنها در صورتی که همراه با تغذیه گوگرد بود توانست موجب افزایش

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

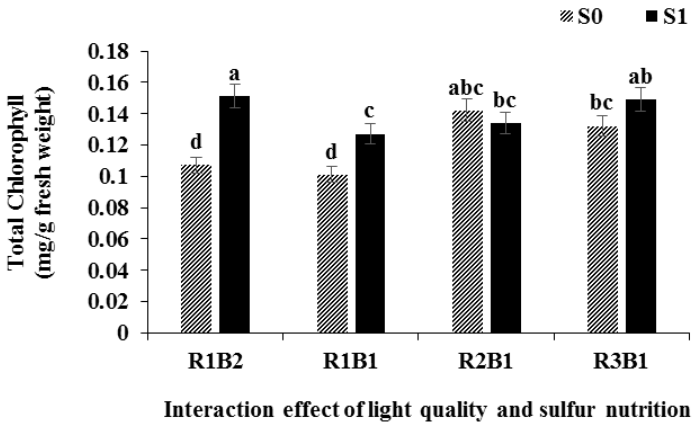
[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]




**شکل ۸- اثرمتقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان کلروفیل *a* در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**



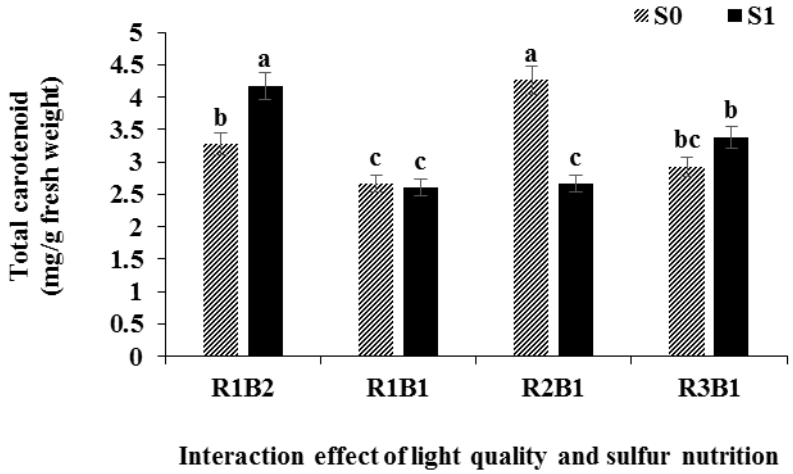

**شکل ۹- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان کلروفیل *b* در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**




**شکل ۱۰- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان کلروفیل کل در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]




**شکل ۱۱- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان کارتنوئید کل در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**

**جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت نور و تغذیه گوگرد برمیزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ریزسبزی کلم‌بروکلی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | فنل | فلاونوئید | ظرفیت آنتی‌اکسیدانی |
|---|---|---|---|---|
| سطح نور | ۳ | ۰/۰۰۰$^{ns}$ | ۰/۰۰۰$^{*}$ | ۲۶۴/۵۵$^{**}$ |
| خطای اصلی | ۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۲/۳۶۸ |
| سطح سولفوریک اسید | ۱ | ۰/۰۰۰$^{ns}$ | ۰/۰۰۰$^{ns}$ | ۵/۷۳۸$^{ns}$ |
| اسید سولفوریک × سطح نور | ۳ | ۰/۰۰۶$^{**}$ | ۰/۰۰۰** | ۲۳/۴۷۲* |
| خطای فرعی | ۱۲ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۵/۴۲۹ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱۶/۳۰۹ | ۵/۱۹۶ | ۳/۷۱۳ |

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری**

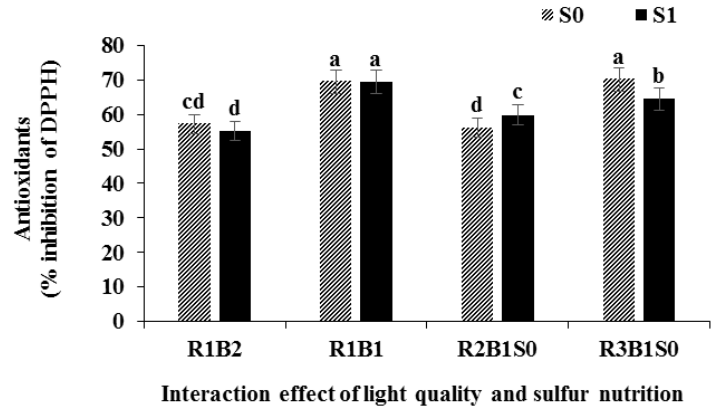
معنی‌دار رنگیزه‌ها گردد.

**صفات بیوشیمیایی:** آنالیز واریانس این بخش نشان داد برهم‌کنش دو فاکتور مورد بررسی کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال ۵ درصد و بر میزان فنل و فلاونوئید کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

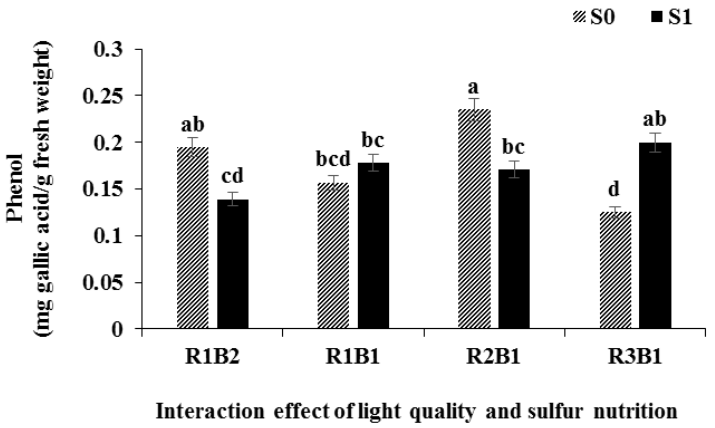
فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در تیمار R3B1 بدون گوگرد بیشترین مقدار را نشان داد و اختلاف آن با تیمار R1B1 بدون گوگرد و R1B1 با تغذیه گوگرد معنی‌دار نبود (شکل ۱۲). حداکثر فنل محاسبه‌شده در تیمار R2B1 بدون گوگرد ثبت شد، که اختلاف معنی‌داری با تیمار R1B2 بدون گوگرد و R3B1 با تغذیه گوگرد نداشت (شکل ۱۳). بیشترین فلاونویید در تیمار R1B2 بدون تغذیه گوگرد حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تمامی تیمارهای دیگر بود (شکل ۱۴).

ازآنجایی که تیمار R1B2 بدون گوگرد موجب بیوسنتز مقدار بالای فلاونوئید و فنل در گیاهچه‌های کلم‌بروکلی شد، لذا می‌توان از این نظر این تیمار را برتر اعلام کرد، ولی تیمار مذکور از نظر میزان آنتی‌اکسیدان کل حداکثر مقدار را نداشت. در خصوص نقش مثبت نور آبی در تحریک بیوسنتز پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها در گیاهان مختلف نظیر کاهو، گزارشات متعددی

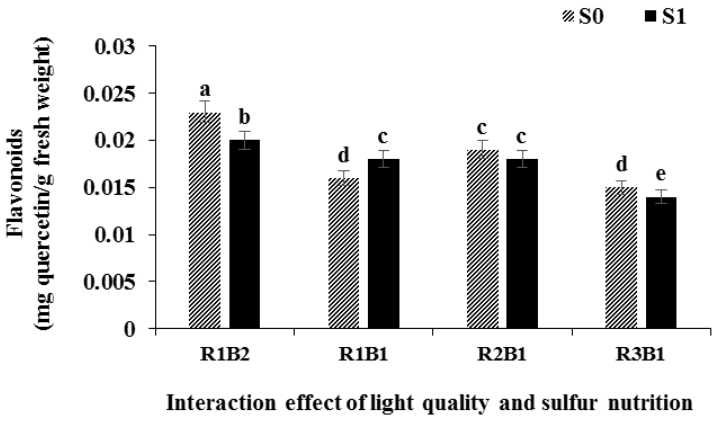
[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]
[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]




**شکل ۱۲- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان آنتی‌اکسیدان کل در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**




**شکل ۱۳- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان فنل کل در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**




**شکل ۱۴- اثر متقابل کیفیت نور و تغذیه گوگرد بر میزان فلاونویید کل در ریزسبزی کلم‌بروکلی. (با تغذیه گوگرد: S1، بدون تغذیه گوگرد: S0، سه قرمز+یک آبی (R3B1)، دو قرمز+یک آبی (R2B1)، یک قرمز+یک آبی (R1B1) و یک قرمز+دو آبی (R1B2))**

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

وجود دارد (Moradi and Ghasemi, 2023). همچنین در کشت کالوس استویا، نور آبی باعث افزایش محتوای فنولیک، فلاونوئیدها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد (Ahmad *et al*., 2016)، که در مورد فنل و فلاونوئید منطبق با نتایج ماست ولی در مورد آنتی‌اکسیدان کل هم‌راستا با نتایج ما نمی‌باشد که این مسئله احتمالاً به اهمیت ترکیبات غیرفنلی در ایجاد خاصیت آنتی‌اکسیدانی ریزسبزی بروکلی برمی‌گردد. پژوهشی که روی کلم‌چینی انجام شد نشان داد، که نور آبی موجب افزایش معنی‌دار میزان فنل و فلاونوئید در این گیاه شده که پژوهشگران علت این واکنش را انرژی بالای طول‌موج‌های پایین اعلام نمودند که گیاه را وادر می‌کند برای حفاظت از خود به سمت سنتز متابولیت‌های ثانویه، به‌ویژه مواد فنولیک، برود (Mao *et al*., 2021).

## نتیجه‌گیری

درصورتی که هدف از پرورش ریزسبزی بروکلی، عملکرد بالا باشد، نسبت بالای نور قرمز (R3B1) می‌تواند توصیه گردد. هم‌چنین نسبت نور قرمز زیاد می‌تواند موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نیز گردد، بنابراین تیمار نوری با طیف قرمز زیاد و بدون مصرف گوگرد قابل توصیه است. در صورتی که محتوای بالای فنل و فلاونوئید مدنظر باشد، آنگاه نسبت بالای نور آبی (R1B2) می‌تواند مناسب‌تر باشد. به هر حال، تغذیه گوگردی در این مرحله از رشد گیاه نه تنها کمکی به افزایش کمی یا کیفی محصول نکرد، بلکه در برخی شاخص‌ها موجب افت شد لذا برای تولید ریزسبزی کلم بروکلی تغذیه گوگردی به میزان و روش استفاده شده در این آزمایش توصیه نمی‌گردد.

## سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تحت قرارداد با شماره ۰۶-۱۴۰۰-۰۱ انجام شد، که به این وسیله سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

Abbasi, B. H., Tian, C. L., Murch, S. J., Saxena, P. K., & Liu, C. Z. (2007). Light enhanced caffeic acid derivatives biosynthesis in hairy root cultures of *Echinacea purpurea*. *Plantcellreports, 26*(8), 1367-1372. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.039

Ahmad, N., Abbasi, B. H., Fazal, H., Khan, M. A., & Afridi, M. S. (2014). Effect of reverse photoperiod on in vitro regeneration and piperine production in *Piper nigrum* L. *Comptes Rendus Biologies, 337*(1), 19-28. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2013.10.011

Ahmad, N., Rab, A., & Ahmad, N. (2016). Light induced biochemical variations in secondary metabolite production and antioxidant activity in callus cultures of *Stevia rebaudiana* (Bert). *Journaul Photochem Photobiol B, 154*, 51-56. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.11.015

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal, 23*, 112-121.

Arora, A. S. & Yun, C. M. (2023). Dynamic spectrum lighting impact on plant morphology and cannabinoid profile of medical and recreational cannabis- A novel leapfrog strategy towards shaping the future of horticulture lighting. *Industrial Crops and Products, 199*, 116799. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116799

Barber, J. & Andersson, B. (1992). Too much of a good thing: Light can be bad for photosynthesis. *Trends in Biochemical Science, 17*, 61-66. https://doi.org/10.1016/0968-0004(92)90503-2

Brazaityte, A., Sakalauskiene, S., Samuoliene, G., Jankauskiene, J., Virsile, A., Novickovas, A., & Duchovskis, P. (2015). The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in *Brassicaceae microgreens*. *Food Chemistry, 173*, 600-606. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.077

Chen, L., Xue, X., Yang, Y., Chen, F., Zhao, J., Wang, X., Tariful, Khan, A., & HU, Y. (2018). Effects of red and blue LEDs on in vitro growth and microtuberization of potato single-node cuttings. *Front Agriculture Science, 5*(2), 197-205. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018224

Chung, Y. C., Chang, C. T., Chao, W. W., Lin, C. F., & Chou, S. T. (2002). Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by Bacillus subtilis IMR-NK1. *Journaul of Agricultural and Food Chemistry, 50*(8), 2454-2458. https://doi.org/10.1021/jf011369q

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

Dierck, R., Dhooghe, E., Van Huylenbroeck, J., Van Der Straeten, D., & De Keyser, E. (2017). Light quality regulates plant architecture in diferent genotypes of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Science Horticulture, 218*,177-186. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.016

Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. F., & Nabavi, S. M. (2009). Antioxidant activity of leaves and inflorescence of *Eryngium caucasicum* Trautv at flowering stage. *Pharmacognocy Research, 1*(6), 435-439.

Goto, E. (2012). Plant production in a closed plant factory with artificial lighting. *Acta Horticultural, 956*, 37-49. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.2

Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., Van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue light dose responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under diferent combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany, 61*, 3107-3117. https://doi.org/10.1093/jxb/erq132

Ilahy, R., Imen, T., Zoltan, P., Anna, M., Mohammed, W. S., Fozia, H., Chafik, H., Thouraya, R., Helyes, L., & Marcello, S. Le. (2020). Pre-and post-harvest factors affecting glucosinolate content in broccoli. *Frontiers in Nutrition, 7*, 147. https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00147

Islam, M. A., Kuwar, G., Clarke, J. L., Blystad, D. R., Gislerod, H. R., Olsen, J. E., & Torre, S. (2012). Artifcial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. *Science Horticulture, 147*, 136-143. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.034

Leo, F. & Gallerani, R. (2002). The mustard trypsin inhibitor 2 affects the fertility of *Spodoptera littoralis* larvae fed on transgenic plants. *Insect Biochemistry and Molecular Biology, 32*(5), 489-496. https://doi.org/10.1016/S0965-1748(01)00126-6

Mao, P., Duan, F., Zheng, Y., & Yang, Q. (2021). Blue and UV-A light wavelengths positively affected accumulation profiles of healthy compounds in pak-choi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*, 1676-1684. https://doi.org/10.1002/jsfa.10788

Miao, H., Wang, J., Cai, C., Chang, J., Zhao, Y., & Wang, Q. (2017). Accumulation of glucosinolates in broccoli. In: Glucosinolates. (eds. Merillon, J. M. and Ramawat, K. G.) Pp. 133-62. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-25462-3_16

Moradi, H. & Ghasemi, K. (2023). Light and Green Plants. Publications of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Neugart, S. A. & Krumbein Zrenner, R. (2016). Influence of light and temperature on gene expression leading to accumulation of specific flavonol glycosides and hydroxy cinnamic acid derivatives in kale (*Brassica oleraceavar* sabellica.). *Frontiersin Plant Science, 7*, 326. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00326

Ouzounis, T., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. (2015). Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: A review. *Hortscince, 50*(8), 1128-1135. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1128

Samuoliene, G., Sirtautas, R., Brazaityte, A., & Duchovskis, P. (2012). LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food Chemistry, 134*(3), 1494-1499. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.061

Schonhof, I., Blankenburg, D., Muller, S., & Krumbein, A. (2007). Sulphur and nitrogen supply influence growth, product appearance, and glucosinolate concentration of broccoli. *Jornaul Plant Nutrirnt Soil Science, 170*, 65-72. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.061

Slinkard, K. & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Jornaul of Enology and Viticulture, 28*(1), 49-55. https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49

Tuan, P. A., Thwe, A. A., Kim, Y. B., Kim, J. K., Kim, S. J., Lee, S., Chung, S. O., & Park, S. U. (2013). Effects of white, blue, and red light-emitting diodes on carotenoid biosynthetic gene expression levels and carotenoid accumulation in sprouts of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). *Journaul Agriculture Food Chemistry, 61*, 12356-12361. https://doi.org/10.1021/jf4039937

Vallejo, F., Garcia-Viguera, C., & Tomas-Barberan, F. A. (2003). Changes in broccoli (*Brassica oleracea* L. var italica) health-promoting compounds with inflorescence development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*, 3776-82. https://doi.10.1021/jf0212338

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., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. *Journaul Agriculture Food Chemistry, 60*, 7644-7651. https://doi.org/10.1021/jf300459b

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

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]

# Interaction effect of artificial light spectra and sulfur nutrition on morphology, photosynthetic pigments and nutritional value of broccoli microgreens (*Brassica oleracea* var. *italica*)

**Hossein Moradi[1], Kamran Ghasemi[1*], Seyyed Hamidreza Hashemipetroudi[2], Mohaddese Moghimi Kandelousi[1]**

**[1] Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran**
**[2] Department of Genetic Engineering and Biology, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan (GABIT), Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran**
**(Received: 2023/11/15, Accepted: 2024/04/30)**

**Abstract**

Microgreens are considered a functional food that can be so useful for increasing the health level of society. This experiment was conducted in factorial format based on a completely randomized design with two factors. The first factor, light spectrum, was investigated at four levels, and the second factor, sulfur nutrition, at two levels (0 and 60 mg/liter). The light treatments included different ratios of red (R) and blue (B) light (R1B2, R1B1, R2B1, and R3B1). The highest leaf length was recorded in the R3B1 treatment without sulfur feeding, which was significantly higher than all other treatments used. The length of the stem in the combined treatment of R3B1 with sulfur feeding showed the highest figure. The highest amount of total chlorophyll was obtained in R1B2 treatment with sulfur feeding, although their difference with R3B1 treatment with sulfur feeding and R2B1 without sulfur feeding was not statistically significant. In carotenoid pigment, the highest amount was seen in R2B1 treatment without sulfur, which did not show a significant difference with R1B2 without sulfur feeding. The total antioxidant activity showed the highest value in R3B1 treatment without sulfur, and its difference was not significant between R1B1 treatment without sulfur and R1B1 with sulfur feeding. The maximum calculated phenol was recorded in R2B1 treatment without sulfur, which was not significantly different from R1B2 treatment without sulfur and R3B1 with sulfur feeding. The most flavonoids were obtained in the R1B2 treatment without sulfur feeding, which was significantly more than all other treatments. Since the high proportion of red light in conditions without sulfur nutrition caused proper morphological growth and also increased the antioxidant capacity of the plant, therefore the mentioned treatment is recommended for the production of broccoli microgreens under artificial light.

**Keywords:** Light quality, Antioxidant, Phenol, Flavonoid, Chlorophyll

Corresponding author, Email: k.ghasemi@sanru.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21 ]

[ DOI: DOI: 10.22034/13.62.195 ]