



Original article

The effect of light quantity at different growth stages on agronomic traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Lida Yari Kamrani¹, Mohammad Eghbal Ghobadi^{2*}, Mokhtar Ghobadi², Saeid Jalali Honarmand²

1. M.Sc. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

Received 28 July 2024; Revised 5 December 2024; Accepted 9 December 2024

Extended abstract

Introduction

The growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.), similar to that of other crops, is influenced by various environmental factors, particularly light intensity. Light plays a fundamental role in plant growth and development, serving as the primary energy source for photosynthesis, the synthesis of organic compounds, and the formation of plant tissues. Light intensity influences plant morphology by regulating leaf size, stem branching, root formation, and other structural traits, thereby ensuring a balanced allocation of resources and promoting coordinated growth among all plant organs. The objective of this study is to examine the effects of light intensity at different growth stages of chickpea and to elucidate how different light levels influence its growth and developmental processes.

Materials and methods

The experiment was carried out at the Research Farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, during the 2012–2013 growing season. A factorial experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experimental factors consisted of light intensity (100%, 75%, 50%, 25%, and no direct light) applied at different growth stages (vegetative, reproductive, and the entire growth period) of the chickpea cultivar ILC482. Rows were spaced 25 cm apart with a planting density of 40 plants per square meter. The planting date, early vegetative growth, early flowering, and ripening (harvest) stages occurred on November 3, March 13, April 28, and June 12, respectively. Plant height, total dry weight, grain yield, number of seeds per plant, number of pods per plant, and 1000-seed weight were measured at harvest. Data were analyzed using SAS statistical software, and treatment means were compared using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results and discussion

In general, the reduction of light intensity during the entire growth period had a pronounced adverse effect on yield and yield component traits. The impact of reduced light intensity was greater during the reproductive stage than the vegetative stage. Overall, decreasing light intensity led to a decline in yield traits and their components. Compared with 100% full light, under 75% light intensity during the vegetative stage, biological yield, grain yield, number of pods per plant, number of seeds per plant, and 1000-seed weight decreased by 24%, 30%, 28%, 27%, and 3.5%, respectively. During the reproductive stage, these reductions were even more severe (30%, 35%, 40%, 40%, and 4.5%, respectively). Reduced

* Corresponding author: Mohammad Eghbal Ghobadi; E-Mail: e.ghobadi@razi.ac.ir



light intensity at the vegetative and reproductive stages primarily affected grain yield through changes in the number of seeds per plant, while the 1000-seed weight exerted the least influence. Leaf dry weight and leaf area index also declined with decreasing light intensity. Under full shading, leaf area decreased by 50%, 45%, and 55% during the vegetative, reproductive, and total growth stages, respectively, compared with the control. During the flowering stage, chlorophyll *a* content varied across light intensities, whereas chlorophyll *b* consistently decreased with decreasing light intensity. In general, the total chlorophyll content (*a* + *b*) was highest under full light conditions, and gradually decreased as light intensity diminished. Light intensity significantly affected the concentration of water-soluble carbohydrates in leaves and stems. The higher levels of soluble sugars in stems and leaves during the vegetative stage compared to the reproductive stage may be attributed to a more extended compensation period under light stress during vegetative growth. In contrast, shading during the reproductive stage allowed only a limited compensation period, resulting in lower soluble sugar contents.

Conclusion

Even a 25% reduction in light intensity significantly decreased biological and grain yields, number of seeds per plant, 1000-seed weight, leaf dry weight and area, chlorophyll *a*, *b*, and total (*a* + *b*), as well as water-soluble carbohydrates in leaves and stems. Overall, chickpea growth is highly dependent on light intensity. A reduction in available light due to cloudy conditions (short- or long-term), mixed cropping with taller companion plants, or competition with weeds significantly reduces growth and yield, as chickpea is weak in competing for light resources.

Keywords: Chlorophyll, Leaf dry weight, Shading, Soluble carbohydrates

اثر مقادیر نور در مراحل مختلف رشد بر خصوصیات زراعی نخود (*Cicer arietinum* L.)لیدا باری کامرانی^۱، محمد اقبال قبادی^{۲*}، مختار قبادی^۲، سعید جلالی هنرمند^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

چکیده

مشخصات مقاله

رشد نخود (*Cicer arietinum* L.)، مثل سایر محصولات تحت تأثیر شرایط محیطی زیادی از جمله شدت نور است. بر این اساس، آزمایشی به منظور بررسی مقادیر نور بر خصوصیات رشد و عملکرد نخود در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، اجرا شد. فاکتورها شامل شدت نور (۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ درصد و بدون نور مستقیم) در مراحل رشد (رویشی، زایشی و کل دوره رشد) بر نخود رقم ILC482 بودند. نتایج نشان داد که با کاهش شدت نور مقادیر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، وزن خشک برگ، کلروفیل و کربوهیدرات‌های محلول در برگ و ساقه (به جز ارتفاع بوته) کاهش داشت. میزان کاهش در مرحله زایشی بیشتر از مرحله رویشی بود. میزان کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه در مرحله رویشی و در ۷۵ درصد نور به ترتیب ۲۴، ۳۰، ۲۸، ۲۷ و ۳/۵ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نور کاهش داشتند. این در حالی است که برای مرحله زایشی این کاهش به ترتیب ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴/۵ درصد بودند. با کاهش شدت نور، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه به ترتیب بیشترین و کمترین نوسان داشتند. در کل، با توجه به نتایج این آزمایش، این‌گونه استنباط می‌شود که نخود در شرایط کشت مخلوط و موقعیت‌های که کاهش نور و سایه در طول دوره رشد وجود دارد، دچار کاهش معنی‌دار رشد و عملکرد دانه می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

سایه‌اندازی
کربوهیدرات‌های محلول
کلروفیل
وزن خشک برگ

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹
تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۵
۱۹-۵۵: ۴۱(۱)

مقدمه

نور، به سرعت پخش شدن نور در یک سطح به‌عنوان انتقال انرژی در واحد سطح بیان می‌شود (Khalid et al., 2019). در گیاهان عالی، تابش فعال فتوسنتزی، کسری از نور خورشید با طول‌موج‌های ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است که توسط رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی فتوسیستم I و II دریافت می‌شود. شدت تابش فعال فتوسنتزی خیلی زیاد یا خیلی کم بر سیستم فتوسنتزی تأثیر منفی می‌گذارد (Wimalasekera, 2019). شدت نور مناسب، تأمین انرژی کافی برای سوخت واکنش‌های بیوشیمیایی فتوسنتز را تضمین می‌کند و تولید قندها، نشاسته و سایر ترکیبات متابولیکی لازم برای رشد و نمو گیاه را افزایش می‌دهد (Yang et al., 2018; Fan et al., 2018) و به‌عنوان منبع اولیه انرژی برای تولید مولکول‌های آلی و توسعه و رشد بافت‌های گیاهی و یا

نخود (*Cicer arietinum* L.)، یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی است که به‌طور وسیعی بین ۲۰ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی و در بیش از ۵۰ کشور در سراسر جهان کشت می‌شود (FAOSTAT, 2022). این گیاه کم‌توقع که به‌صورت دیم کشت می‌شود، به دلیل توانایی تثبیت نیتروژن هوا نقش مهمی در حاصلخیزی خاک دارد (Yeasmen and Orsat, 2024).

عوامل محیطی زیادی از جمله نور، رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نور یا تابش خورشیدی عامل اصلی در تنظیم رشد و توسعه گیاه است (Shafiq et al., 2021). شدت، کیفیت و دوره نوری تا حد زیادی ظرفیت فتوسنتزی، استقرار و توانایی عملکرد گیاهان را تعیین می‌کنند. شدت

فتوسنتز و در نتیجه بر عملکرد و رشد و نمو گیاهان مؤثرند (Gao et al., 2019).

دمای مطلوب برای رشد و نمو نخود در محدوده وسیعی از ۱۰ درجه سانتی‌گراد تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. این گیاه به تنش گرمایی به دلیل گرمای هوا و یا شدت نور زیاد به‌ویژه در مرحله رشد زایشی، حساس است و در نتیجه باعث کاهش عملکرد قابل‌توجهی در دمای بالا می‌شود (Gaur et al., 2019).

در آزمایشی، اثر تیمارهای دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، ۳۸ درجه سانتی‌گراد و ۳۰۰ میکرومول در مترمربع در ثانیه، ۲۶ سانتی‌گراد و ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و ۳۸ درجه سانتی‌گراد و ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در فتوپریود ۱۸ ساعت که به‌وسیله لامپ‌های LED در گلخانه بر سه رقم نخود در مراحل رشد گیاهچه بررسی شده و نتایج نشان داده است که فتوسنتز خالص و کلروفیل به ترتیب در تیمارهای دمای بالا + شدت نور کم و دمای بالا + شدت نور کم دارای بیشترین مقدار بوده است در حالی که هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن بین سلولی در تیمار دمای کمتر و شدت نور بالا و کلروفیل فلورسانس در تیمار دمای بالا و شدت نور زیاد در کمترین مقدار بوده‌اند (Zhou et al., 2020). تأثیر فتوپریود (روشنایی ۱۴-۱۰ ساعت در گلخانه و ۱۸ ساعت در اتاقک رشد با شدت‌های نوری ۱۶۷-۱۴۸، ۱۲۹-۱۱۱ و ۹۳-۷۴ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) بر نخود و عدس نشان داده است که در شرایط اتاقک رشد و شدت نور بالا باعث کوتولگی، پژمردگی، بنیه کم گیاهچه، تأخیر گلدهی، درصد غلاف خالی بالا، کاهش غلاف و پوشش سبز در هر دو محصول شده است (Mitache et al., 2024).

از آنجایی که نخود به‌عنوان یک محصول دیم، در مناطق نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای کشت می‌شود (Chen et al., 2017)، شدت نور کمتر و یا بیشتر از حد مطلوب، ناشی از رویدادهای مختلف آب و هوایی (پوشش ابر طولانی‌مدت، هوای مه‌آلود و غیره) و شیوه‌های کشت، اکنون به چالشی نوظهور برای تولید پایدار نخود در این مناطق تبدیل شده است (Naveed et al., 2020). انتظار می‌رود تنش‌های غیرزیستی مانند شدت نور و دمای بالا به دلیل تغییرات آب و هوایی تشدید شوند که محدودیت‌های اولیه برای تولید نخود به وجود آورند (Gaur et al., 2019; Szymanska et al., 2017). از آنجایی که تعداد معدودی آزمایش بر روی

فتوسنتز فراهم می‌کند. این ویژگی نور در تأثیر مستقیم آن بر سرعت و کارایی فتوسنتز، فرآیندی کلیدی برای تبدیل به انرژی شیمیایی است (Mobini et al., 2016). علاوه بر این‌ها، شدت نور با تنظیم اندازه برگ، شاخه‌دهی، تشکیل ریشه و سایر جنبه‌های ساختاری گیاه، مورفولوژی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و امکان تخصیص متعادل منابع را فراهم می‌کند و باعث تقویت و رشد هماهنگ تمام قسمت‌های گیاه می‌شود (Zheng et al., 2024).

شدت نور بیش‌ازحد برای گیاهان می‌تواند مضر باشد. سطوح بالای نور می‌تواند باعث بار انرژی اضافه گردد که منجر به آسیب اکسیداتیو و تخریب اجزای سلولی شود و کلروفیل آسیب‌پذیر شده و سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد (Mitache et al., 2024). هرچند که گیاهان می‌توانند بخشی از انرژی اضافی ناشی از نور زیاد را به گرما تبدیل کنند تا واکنش‌های شیمیایی مضر اتفاق نیفتد. علاوه بر این، گیاهان می‌توانند تعداد و غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی موجود در سلول‌های خود را بسته به شدت نور، تنظیم کنند. این سازگاری باعث استفاده مؤثرتر از نور و محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو می‌شود (Ramegowda et al., 2024).

شدت نور کم نیز ممکن است باعث تنش به گیاهان شود. در شرایط سایه و یا ابری طولانی‌مدت، علاوه بر تغییرات آناتومی برگ و حرکات کلروپلاست به‌منظور به حداکثر رساندن کارایی فتوسنتز، نسبت طول موج‌های قرمز به قرمز دور و نسبت نور آبی که به ترتیب به‌وسیله فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها شناسایی می‌شوند، کاهش می‌یابد. گیاهان با دریافت طول موج‌های مختلف، با مجموعه‌ای از پاسخ‌ها روبرو شده که نتیجه آن طویل شدن اندام هوایی و رشد گیاه است (Wang et al., 2020). شدت نور به‌طور مستقیم با بیان پروتئین‌های فتوسنتتیک بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد. نور قرمز دور زیاد هم می‌تواند ظرفیت فتوسنتزی گیاهان را در شرایط سایه بهبود بخشد (Yang et al., 2018).

در کل، عکس‌العمل گیاهان به شدت نور به دمای محیط، سن گیاه (مرحله رشدی گیاه)، شرایط تغذیه‌ای، نوع گیاه و رقم بستگی دارد (Dutta et al., 2018; Chen et al., 2021). اثر توأم تنش نور زیاد و گرما هم بر گیاهان مختلف به اثبات رسیده است؛ به‌عبارت‌دیگر، شدت نور بالا اغلب همراه با سایر تنش‌های غیرزنده مانند دمای بالا در شرایط مزرعه رخ می‌دهند (Balfagón et al., 2019). این عوامل عمدتاً بر

دماهای حداکثر، حداقل و متوسط در طول دوره رشد نخود در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در جدول ۱ آمده است. قبل از کاشت از خاک مزرعه، نمونه برداری انجام و نتایج آن در جدول ۲ آمده است. بر این اساس، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص از نوع اوره در زمان کاشت مصرف شدند. آزمایش از نوع فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل پنج سطح سایه یا شدت نور (۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ درصد و بدون نور مستقیم) در مراحل رشد (رویشی، زایشی و کل دوره رشد) بر نخود رقم ILC482 بود. این رقم دارای صفت مقاومت به بیماری برق‌زدگی نخود به‌عنوان یکی از بیماری‌های خطرناک در ارقام نخود است. فواصل ردیف کاشت ۲۵ سانتی‌متر با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع طراحی شد. تاریخ کاشت، اوایل دوره رشد رویشی، اوایل گلدهی و رسیدگی یا زمان برداشت به ترتیب ۱۲ آبان ۱۳۹۱، ۲۳ اسفند ۱۳۹۱، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۲ و ۲۲ خرداد ۱۳۹۲ بودند.

نخود در شرایط گلخانه‌ای و یا اتافک رشد در این زمینه وجود دارد، بر این اساس، هدف از این آزمایش: اولاً، تجزیه و تحلیل تأثیر شدت نور در مراحل مختلف رشد رویشی، زایشی و کل دوره رشد بر مورفوفیزیولوژی و فنولوژی گیاه نخود در شرایط مزرعه و در ساعات آفتابی ۶ تا ۹ ساعت در روز منطقه بود و درک این که شدت نورهای مختلف چقدر بر فرآیندهای رشد و نمو نخود تأثیر می‌گذارد و ثانیاً، میزان تحمل نخود به شدت‌های مختلف نوری در شرایط احتمالی کشت مخلوط چگونه است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، در شهر کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا با اقلیم معتدل انجام شد. مشخصات ساعات آفتابی، بارندگی و میانگین

جدول ۱. شرایط آب و هوایی در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲

Table 1. Climatic conditions in the crop year 2012-2013

	ماه	Month							
		آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
		Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Sunshine duration (hours)	ساعات آفتابی	177.1	132.8	184.9	196.2	174.8	226.0	165.3	286.4
Maximum Temperature (°C)	حداکثر دما	19.5	12.0	9.0	13.8	16.1	21.9	22.9	32.3
Average Temperature (°C)	متوسط دما	12.8	6.3	2.8	6.9	8.9	13.4	15.1	23.3
Minimum temperature (°C)	حداقل دما	6.9	1.5	-2.9	0.3	2.3	4.4	7.7	12.4
Rainfall (mm)	بارندگی	115.3	62.4	52.4	61.0	19.2	10.7	69.5	0.2

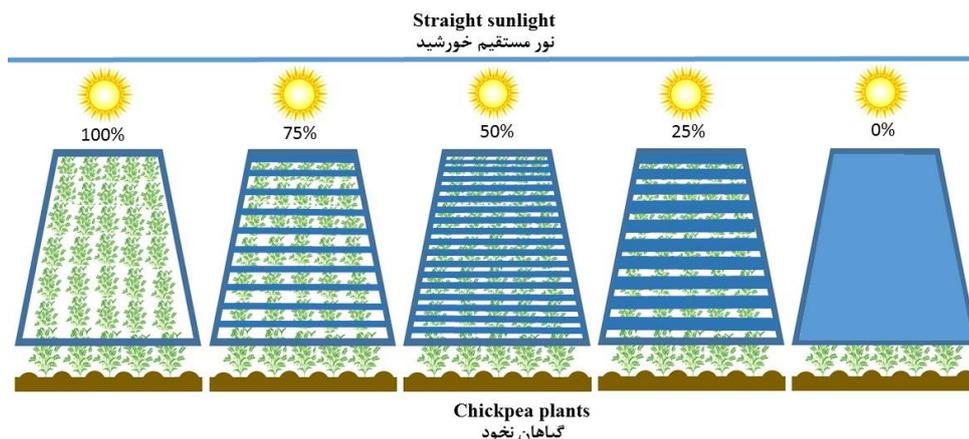
جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

Table 2. Chemical and physical characteristics of soil in depth 0-30 cm in examination site

هدایت الکتریکی	اسیدیته	فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل	کربن آلی	شن	سیلت	رس	بافت
EC	pH	P	K	N	OC	Sand	Silt	Clay	Texture
Mmhos.cm ⁻¹		mg.kg ⁻¹			%				
1.11	7.8	11.2	346	0.11	0.018	7	42	51	Clay-Silt

و ۲۵ درصد را پوشش دهند (شکل ۱). مقدار نور دریافتی گیاه با دستگاه نورسنج یا سان‌اسکن (مدل SS1-UM-2, Delta-T) هر ۱۴ روز در ساعت ۱۲:۰۰ تا ۱۳:۰۰ ظهر اندازه‌گیری شد. مقدار نور دریافتی به جامعه گیاهی در تیمارهای مختلف در جدول ۳ وجود دارد.

نحوه تیمار سایه به این صورت بود که ابتدا قاب‌هایی چوبی به‌اندازه سطح هر کرت (۲×۳ متر) درست شدند و برای کنترل شدت نور از تسمه‌های بسته‌بندی پلاستیکی با ضخامت ۰/۶۵ میلی‌متر و پهنای دو سانتی‌متر استفاده شد. این صفحات به‌گونه‌ای طراحی شدند که سطح ۵۰، ۷۵، ۱۰۰



شکل ۱. شماتیک نحوه اعمال تیمار سایه‌اندازی (نوارهای روی کرت‌های نخود در شرایط مزرعه)

Fig. 1. Schematic of how to apply shading treatment (strips on chickpea plots in field conditions)

جدول ۳. مقدار جریان فوتون فتوسنتزی دریافت شده در بالای تاج پوشش گیاه نخود زیر صفحه سایه‌انداز در طول مدت رشد

Table 3. Amount of photosynthetic photon flux density (PPFD) received at above canopy the chickpea plant under shading plate at growth duration

درصد سایه Percent of Shading	زمان (Time)							میانگین Mean
	۱۳۹۱/۱۲/۲۲ 13 March 2013	۱۳۹۲/۱/۵ 25 March 2013	۱۳۹۲/۱/۱۸ 7 April 2013	۱۳۹۲/۱/۳۱ 20 April 2013	۱۳۹۲/۲/۱۴ 4 May 2013	۱۳۹۲/۲/۲۷ 17 May 2013	۱۳۹۲/۳/۱۰ 31 May 2013	
	----- Photosynthetic photon flux density ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) -----							
100	129	142	122	155	149	147	136	140
75	496	478	454	621	601	558	516	522
50	819	899	829	1062	970	920	829	906
25	1104	1195	1296	1494	1423	1358	1216	1312
No shading	1499	1686	1709	1980	1845	1789	1628	1735

اتانول (۸۰ درصد) و طی مراحل سانتریفوژ با مخلوط فنل ۰/۵ درصد و اسیدسولفوریک ۹۸ درصد و در نهایت جذب نور در طول موج ۴۸۸ نانومتر با دستگاه الیزا انجام و با رسم منحنی استاندارد میزان قند، محاسبه شد.

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه در زمان بلوغ فیزیولوژیکی در هر کرت یک مترمربع از ردیف‌های داخلی با حذف حاشیه، برداشت و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. صفات ارتفاع بوته، وزن خشک کل، عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد ماده خشک کل ضربدر عدد ۱۰۰ محاسبه شد.

در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها تجزیه و میانگین‌های اثر متقابل بین تیمارها از نرم‌افزار MSTATC با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ (در زمان اوایل گلدهی و اوایل دوره پر شدن دانه) از حلال متانول (۱۰۰ درصد) استفاده شد (Toyama et al., 2019). جذب نور در طول موج‌های ۶۵۰ و ۶۶۵ نانومتر و با دستگاه الیزا (مدل Bio Tek Power Wave XS2.0) صورت گرفت. کلروفیل a، b و a+b بر اساس میکروگرم در میلی‌لیتر متانول با معادلات ۱، ۲ و ۳ به دست آمد.

$$\text{Chlorophyll } a (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = 16.5 \cdot (A665) - 8.3 \cdot (A650) \quad [1]$$

$$\text{Chlorophyll } b (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = 33.8 \cdot (A650) - 12.5 \cdot (A665) \quad [2]$$

$$\text{Chlorophyll } a+b (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = \text{Chlorophyll } a + \text{Chlorophyll } b \quad [3]$$

برای اندازه‌گیری محتوای کربوهیدرات‌های محلول در آب در برگ و ساقه در مراحل اوایل گل‌دهی و اوایل دوره پر شدن دانه به روش فنل سولفوریک اسید (Zhang et al., 2015) با

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

به‌طور کلی، اثر کاهش شدت نور در کل دوره رشد بر صفات مورد بررسی شدید بود و در مقایسه بین کاهش شدت نور در زمان رشد رویشی و رشد زایشی، اثر کاهش در رشد زایشی نیز بیشتر از رشد رویشی بود. به‌طور کلی، با کاهش میزان یا شدت نور، مقادیر صفات عملکرد و اجزای آن کاهش داشتند (شکل ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای میزان نور، مراحل مختلف رشد و اثر متقابل بین آن‌ها بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر مقدار نور در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود (میانگین مربعات)

Table 4. Analysis of variance the effects of light quantities at different growth stages on yield and yield components of chickpea (Mean squares)

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight
Block	بلوک	2	134.66 ^{ns}	51.65 ^{ns}	17.69 ^{ns}	3.21 ^{ns}	0.86 ^{ns}	4.76 ^{ns}
Time (T)	زمان	2	62759.9**	15658.5**	733.3**	159.1**	156.2*	155.9**
Shading (S)	سایه دهی	4	214672**	79033**	1777**	799**	716**	226**
T×S	زمان × سایه‌دهی	6	5023.9*	1552.1**	2115.8**	11.61**	11.33**	65.54**
Error	اشتباه	28	842.5	180.3	18.14	2.19	1.97	1.22
CV (%)	ضریب تغییرات	-	10.93	10.95	10.88	11.03	10.96	5.24

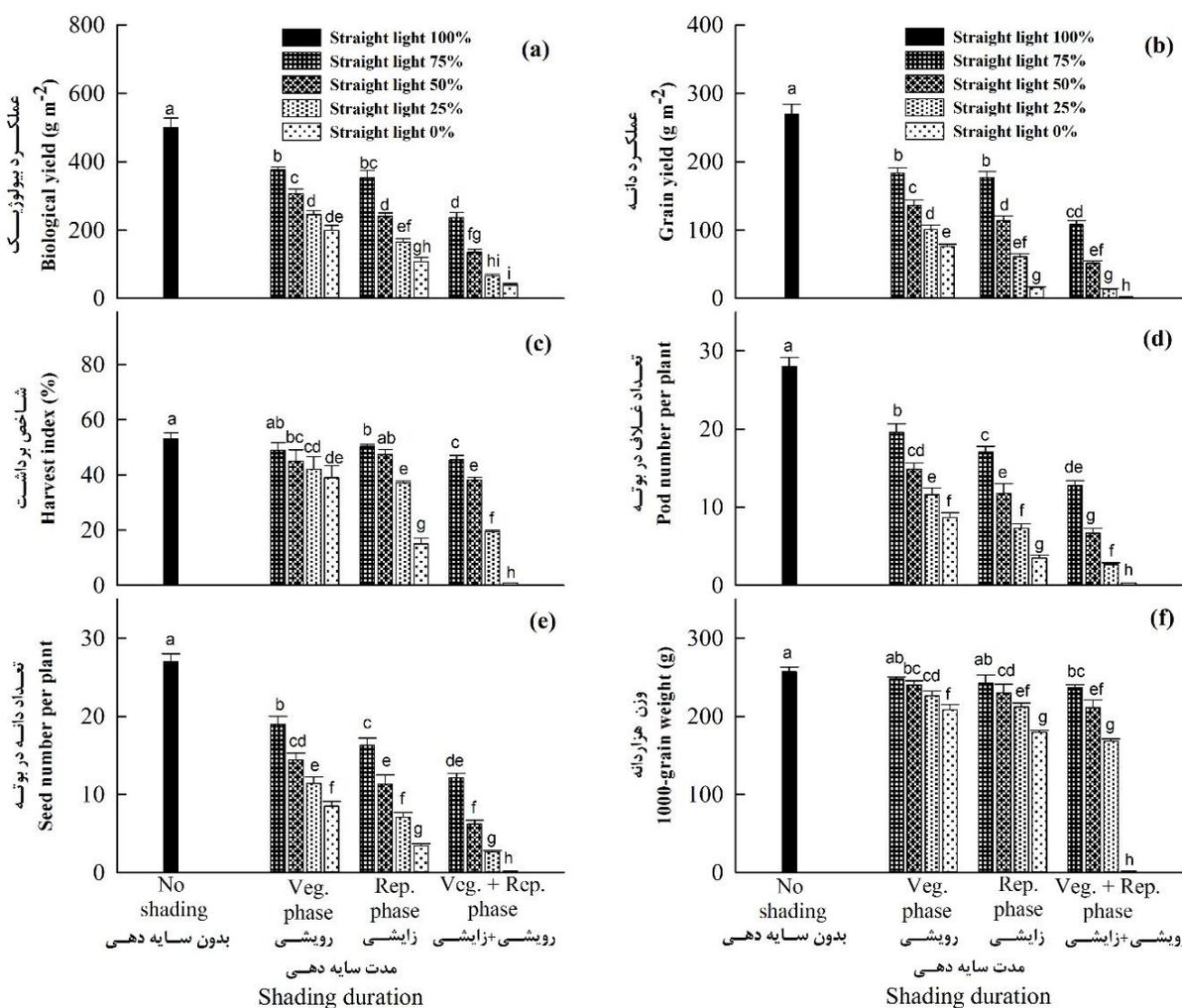
ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively

بررسی اثر شدت‌های مختلف نور در مراحل مختلف رشد (شکل ۲) نشان داد که شدت نور مستقیم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه نخود تأثیر معنی‌دار داشته است. این کاهش در مرحله رشد زایشی بیشتر از دوره رشد رویشی بود. به‌عبارت‌دیگر، تأثیر منفی کاهش شدت نور در دوره رشد رویشی تا حدی در مرحله زایشی که تجهیزات سایه‌اندازی برداشته می‌شوند، جبران می‌گردد. با ایجاد سایه‌اندازی و کاهش شدت نور، سیستم فتوسنتزی گیاه نخود تحت تأثیر قرار می‌گیرد و رقابت برای جذب کربن را در بین قسمت‌های مختلف گیاه افزایش می‌دهد و رشد ریشه و اندام هوایی کاهش نشان می‌دهد (Yu et al., 2017). همچنین، کاهش شدت نور باعث تقسیم نامتعادل بین مورفولوژی ریشه و ساقه به دلیل تغییر در ره‌گیری شدت جریان فوتون فتوسنتزی (PPFD) و فرآیندهای زیربنایی تنظیم‌کننده‌های رشد و گسترش گیاه می‌شود (Park and Runkle, 2017). کاهش

میزان کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه در مرحله رویشی و در ۷۵ درصد نور (۲۵ درصد کاهش نور مستقیم) به ترتیب ۲۴، ۳۰، ۸، ۲۸، ۲۷ و ۳/۵ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نور کاهش داشتند (شکل ۲ e, d, c, b, a و f). این در حالی است که برای مرحله زایشی این کاهش به ترتیب ۳۰، ۳۵، ۵، ۴۰، ۴۰ و ۴/۵ درصد بودند (شکل ۲). با کاهش شدت نور در دو مرحله رشد رویشی و زایشی بیشترین تغییرات عملکرد دانه تحت تأثیر تعداد دانه در بوته و کمترین نوسان در وزن هزار دانه به دست آمد (شکل ۲ e و f). در شرایط بدون نور (۱۰۰ درصد سایه در کل دوره رشد) به‌جز در عملکرد بیولوژیک، سایر صفات مثل عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه مقادیری مشاهده نشد. در واقع دانه‌ای در شرایط نور غیرمستقیم در تیمار سایه کامل در کل دوره رشد تشکیل نشد (شکل ۲).

نشده ولی سایه دهی بعد از مرحله گلدهی عملکرد دانه را کاهش داده و این بیشتر به دلیل نقصان تعداد دانه در بوته بوده است (Lake and Sadras, 2014). در بررسی اثرات سایه ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر درصد بر خصوصیات رشد و عملکرد سویا نیز نتایج نشان داده است که با افزایش سایه، عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته کاسته شده است (Khalid et al., 2019).

رشد ریشه، در اثر کاهش شدت نور توانایی استخراج آب را از لایه‌های عمیق‌تر خاک محدود می‌کند و به تبع آن تنش خشکی را هم در گیاه ایجاد می‌کند (Gao et al., 2017). کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در اثر کاهش شدت نور توسط محققین دیگر نیز به اثبات رسیده است. در بررسی اثر دوره سایه دهی ۱۴ روزه بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام نخود نتایج نشان داده است که سایه‌دهی در اوایل دوره رشد و قبل از گلدهی باعث کاهش معنی‌داری عملکرد دانه



شکل ۲. اثرات سایه‌اندازی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد بیولوژیک (a)، عملکرد دانه (b)، شاخص برداشت (c)، تعداد غلاف در بوته (d)، تعداد دانه در بوته (e) و وزن هزار دانه (f) نخود؛ میله‌های روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

Fig. 2. Effects of shading in different growth stages on biological yield (a), grain yield (b), harvest index (c), pod number per plant (d), grain number per plant (e) and 1000-grain weight (f) of chickpea; Abbreviations: veg: vegetative phase; Rep: reproductive phase; veg. + rep.: vegetative and reproductive phases; Bars on columns indicate the standard error.

معنی‌دار بود، ولی فقط اثر اصلی تیمارها بر وزن خشک برگ معنی‌دار شد (جدول ۵).

خصوصیات مرفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و متقابل تیمارهای شدت‌های مختلف نور در مراحل رشد بر ارتفاع بوته

می‌کنند. این سیگنال‌های نوری باعث ایجاد طیفی از تغییرات مورفولوژیکی می‌شوند که با افزایش رشد بافت ساقه و دم‌برگ و کاهش تولید اندام‌های قابل‌برداشت (برگ‌ها، میوه‌ها، دانه‌ها و غیره) می‌شود. اگرچه، بسیاری از مطالعات ژنتیکی و مولکولی نشان داده‌اند که فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و UVR8 (پروتئین گیرنده نور UV-B) تغییرات شدت نور را در سایه کنترل و تنظیم می‌کنند (Yang and Li, 2017) تا کمترین خسارت به گیاه وارد آید.

توزیع نور در تاج پوشش تا حد زیادی تحت تأثیر ساختارهای تاج قرار می‌گیرد و دریافت جمعی تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR)، همبستگی مثبت و بالایی با سطح برگ سبز و دوام آن دارد (Bai et al., 2016). در شرایط سایه و در گیاهان حساس به نور، با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور، ساقه و دم‌برگ‌ها کشیده‌تر می‌شوند. این موضوع، در بعضی گیاهان از جمله یونجه، باعث توسعه فاز رویشی، تولید برگ بیشتر و افزایش عملکرد علوفه می‌شوند (Lorenzo et al., 2019). در این شرایط، گیاه برای اجتناب از سایه، غالبیت انتهایی را تحریک و رشد عمودی ساقه اصلی را افزایش می‌دهد (Pierik and Testerink, 2014) که از دلایل افزایش طول ساقه است.

در بررسی ۵۰ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی در شدت‌های نور متفاوت (بیش از ۱۰۰ درصد، ۸۰-۱۰۰، ۸۰-۸۰ و ۶۰-۵۰ درصد نور) نتایج نشان داده است که با کاهش شدت نور تعداد برگ و سطح برگ کاهش معنی‌دار داشته است (Sulistyowati et al., 2016). در سویا نیز، با افزایش سایه، وزن خشک برگ کاهش داشته است (Khalid et al., 2019). از مقایسه نتایج این آزمایش با سایر کارهای انجام‌شده اثر کاهشی شدت نور کم بر وزن خشک برگ و اثر افزایشی بر ارتفاع بوته به‌خوبی دیده می‌شود.

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای میزان‌های مختلف نور، مراحل مختلف رشد و اثر متقابل بین آن‌ها بر میزان کلروفیل a، b و a+b در دو مرحله اوایل گلدهی و اوایل پر شدن دانه معنی‌دار شد (جدول ۶). در مرحله گلدهی میزان کلروفیل a، در شدت‌های متفاوت نور متغیر بود ولی کلروفیل b با کاهش شدت نور کاهش یافت. در کل، میزان کلروفیل a+b در تیمار نور کامل ۱۰۰ درصد در بیشترین مقدار و با کاهش شدت نور میزان کلروفیل a+b کاهش داشتند (شکل

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر ارتفاع گیاه نشان داد که با کاهش شدت نور مستقیم ارتفاع بوته افزایش داشته است. در شرایط ۱۰۰ درصد سایه و در مرحله رشد رویشی ارتفاع بوته بیشتر (۴۴/۵ سانتی‌متر) و در تیمار ۱۰۰ درصد نور و در کل دوره رشد کمترین مقدار (۲۴/۵ سانتی‌متر) به دست آمد (شکل ۳a). برعکس، وزن خشک برگ با کاهش شدت نور در مراحل رشد رویشی، رشد زایشی و کل دوره کاهش داشت (شکل ۳b).

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر مقدار نور در مراحل مختلف رشد بر ارتفاع بوته و وزن خشک برگ نخود (میانگین مربعات)

Table 5. Analysis of variance the effects of light quantities at different growth stages on plant height and leaf dry weight of chickpea (Mean squares)

Source of variations	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک برگ Leaf dry weight
Block	2	8.70 ^{ns}	0.04 ^{ns}
Time (T)	2	119.47 ^{**}	0.51 ^{**}
Shading (S)	4	286.18 ^{**}	5.44 ^{**}
T×S	6	13.21 [*]	0.05 ^{ns}
Error	28	63.51	0.04
CV (%)	-	25.90	10.87

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

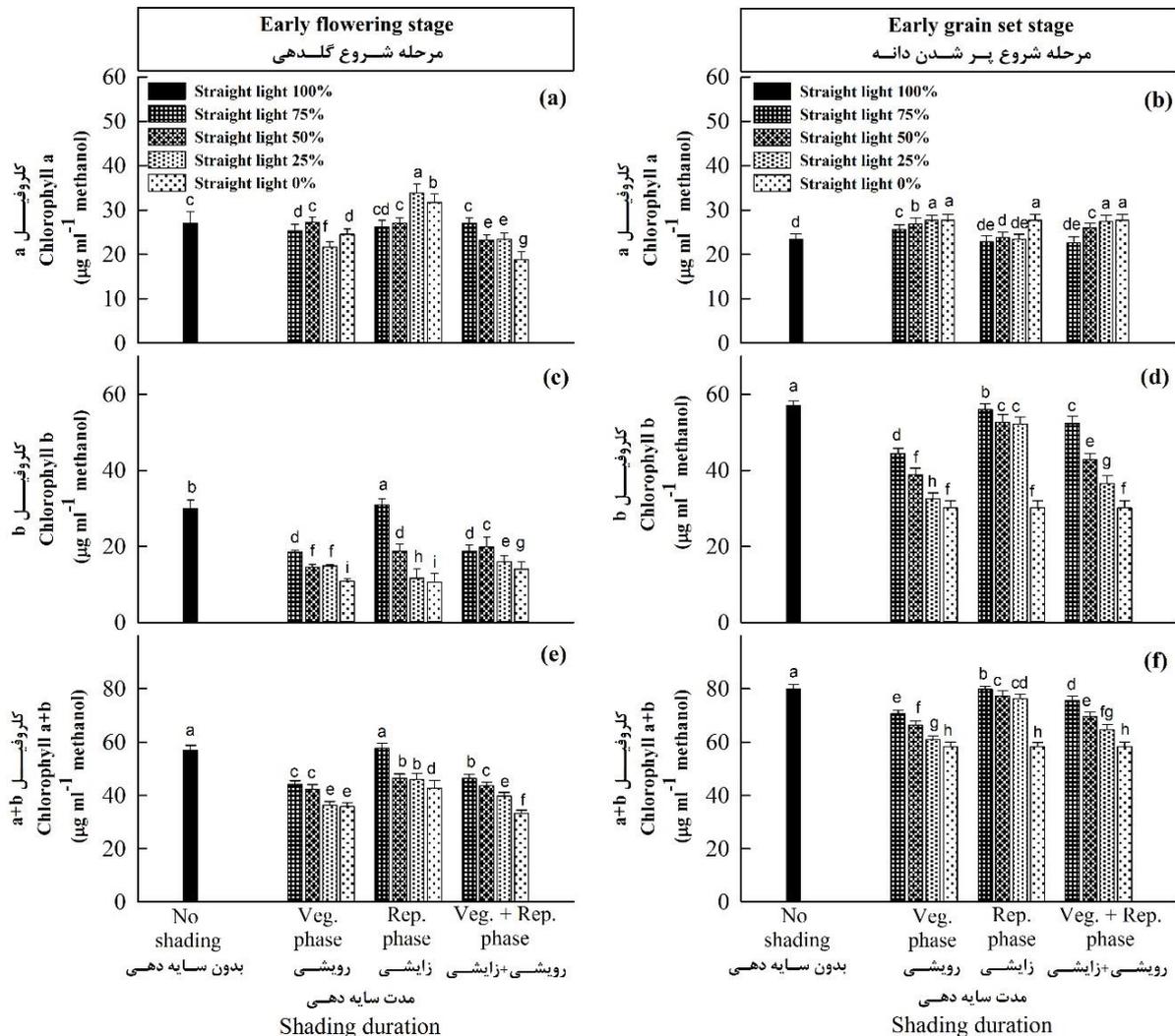
ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively

شدت نور تأثیر زیادی بر متابولیسم و مورفولوژی گیاه از جمله اندازه برگ، رشد ساقه و ارتفاع بوته گیاه دارد (Yang et al., 2018). در آزمایشی در شرایط ابری گیاه نخود حدود ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر بلندتر از شرایط نوری کامل داشته است ولی وزن خشک کل کمتر شده است. در این مطالعه وزن خشک گیاه ۴۶-۵۴ درصد در شرایط آفتابی نسبت به شرایط سایه‌دهی افزایش داشته است که نشان‌دهنده تأثیر منفی سایه بر وزن خشک کل است (Naveed et al., 2020).

در پوشش گیاهی با تراکم بالا، گیاهانی که در سایه قرار می‌گیرند، علاوه بر دریافت کم نور، کاهش نسبت نور قرمز (۶۶۰ نانومتر) به قرمز دور (۷۳۰ نانومتر) را نیز احساس

تغییراتی در فرآیندهای مرکزی مربوط به بیوشیمی، تقسیم سلولی، مورفولوژی، فنولوژی، فیزیولوژی و غیره شود (Yang et al., 2018; Fan et al., 2018).

را افزایش و یا کاهش دهند که باعث استفاده مؤثر از نور و محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو می‌شود (Dutta et al., 2018; Zheng et al., 2024; Mitache et al., 2024). بنابراین، یک تغییر جزئی در مقدار نور، ممکن است منجر به



شکل ۴. اثرات سایه‌اندازی در مراحل مختلف رشد بر کلروفیل a (a)، کلروفیل b (c)، کلروفیل a+b (e) در مرحله قبل از گلدهی، کلروفیل a (b)، کلروفیل b (d) و کلروفیل a+b (f) در مرحله شروع پر شدن دانه نخود؛ میله‌های روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

Fig. 4. The effects of shading in different growth stages on chlorophyll a (a), chlorophyll b (c), chlorophyll a+b (e) in the early flowering stage, chlorophyll a (b), chlorophyll b (d) and chlorophyll a+b (f) at the early grain set of chickpea; Abbreviations: veg: vegetative phase; Rep: reproductive phase; veg. + rep.: vegetative and reproductive phases; Bars on columns indicate the standard error.

داد که با افزایش شدت نور در مراحل اولیه گلدهی و پر شدن دانه، بر میزان قندهای محلول برگ و ساقه کاهش معنی دری داشته است. بیشتر بودن میزان قندهای محلول ساقه و برگ در مرحله رشد رویشی نسبت به مرحله زایشی شاید به این دلیل است که در زمانی که تنش نوری در مرحله رویشی اتفاق می‌افتد، در مرحله رشد زایشی زمان کافی برای بهبود و

قندهای محلول

بررسی نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای میزان نور در مراحل مختلف رشد بر قندهای محلول برگ و ساقه نشان داد که اثرات ساده آن‌ها معنی‌دار ولی اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۷). اثر شدت نور در مراحل مختلف رشد نشان

جبران فراهم بوده و با توسعه برگ و افزایش میزان رنگیزه‌ها سهم بیشتری در تولید کربوهیدرات‌های محلول ایفا می‌کند ولی سایه‌اندازی در مرحله رشد زایشی، به دلیل پیری برگ‌ها و فتوسنتز کمتر و همچنین انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها به‌طرف دانه‌ها، مقدار کمتری کربوهیدرات‌های محلول در برگ و ساقه وجود دارد (جدول ۸).

جدول ۷. تجزیه واریانس اثر مقدار نور در مراحل مختلف رشد بر کربوهیدرات‌های محلول در آب در نخود (میانگین مربعات)

Table 7. Analysis of variance the effects of light quantities at different growth stages on water-soluble carbohydrates content of chickpea (Mean squares)

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کربوهیدرات‌های محلول در آب در برگ Water-soluble carbohydrates (WSC) content of leaf		کربوهیدرات‌های محلول در آب در ساقه Water-soluble carbohydrates (WSC) content of stem	
			اوایل گلدهی Early flowering	اوایل پر شدن دانه Early grain Set	اوایل گلدهی Early flowering	اوایل پر شدن دانه Early grain set
			Block	بلوک	2	5.92 ^{ns}
Time (T)	زمان	2	17.61*	275.62**	426.51**	9.15*
Shading (S)	سایه دهی	4	163.10**	1188.51**	3975.75**	139.77**
T×S	زمان×سایه‌دهی	6	0.82 ^{ns}	5.61 ^{ns}	32.12 ^{ns}	0.93 ^{ns}
Error	اشتباه	28	3.94	22.97	68.36	2.85
CV (%)	ضریب تغییرات	-	11.40	18.91	25.08	9.98

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively

قندهای محلول در زمان پر شدن دانه در برگ بیشتر از مرحله گلدهی بود، اما در ساقه برعکس، میزان قندهای محلول در مرحله گلدهی بیشتر از زمان پر شدن دانه بود. مقایسه میانگین اثر میزان نور بر قندهای محلول نشان داد که با کاهش میزان نور، میزان آن در دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه در هر دو اندام برگ و ساقه کاهش داشت. بیشترین میزان کاهش بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نور بود. در برگ میزان درصد کاهش قندهای محلول در ۷۵ درصد نور نسبت به ۱۰۰ درصد در مرحله اوایل گلدهی ۲۹ درصد و در مرحله پر شدن دانه ۳۹ درصد کاهش داشت. این مقادیر به ترتیب ۴۸ و ۲۸ درصد برای ساقه بودند (جدول ۸). در شرایط سایه کامل (بدون نور مستقیم) میزان قندهای محلول در برگ در مرحله اوایل گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب ۴۳ و ۶۵ درصد و در ساقه این مقادیر ۷۶ و ۴۱ درصد نسبت به ۱۰۰ نور، کاهش داشت (جدول ۸).

در بررسی ژنوتیپ‌های سویا تحت شرایط نور کامل و سایه نتایج نشان داده است که محتوای قندهای محلول با کاهش سطوح نور کاهش داشته و مقدار این کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بوده است (Hussain et al., 2019). گیاهان در مراحل مختلف رشد، از نظر تولید و مصرف

کربوهیدرات‌های محلول با مشکلاتی مواجه هستند. از یک طرف، در مرحله رویشی، ساقه و برگ‌های جوان در حال نمو، برای تأمین انرژی و کربن خود، نیاز به مواد فتوسنتزی از برگ‌های کامل دارند (این وضعیت تا زمانی که به حدود ۵۰ درصد سطح نهایی خود برسند و خودکفا شوند، ادامه دارد). از طرف دیگر، با افزایش سن برگ‌ها و ظهور پیری، برگ‌ها ممکن است به علت پیری و سایه‌اندازی و یا هر دو عامل قادر به تأمین احتیاجات انرژی خود نباشند. در این شرایط، مواد فتوسنتزی وارد یا صادر نمی‌کند. پس شدت نور مناسب، انرژی کافی برای واکنش بیوشیمیایی و فتوسنتزی تأمین می‌کند و تولید قندها، نشاسته‌ها و سایر ترکیبات متابولیکی لازم برای رشد و نمو گیاه را افزایش می‌دهد (Fan et al., 2018; Yang et al., 2018). معمولاً پس از گلدهی مقصد زایشی بسیار قوی می‌گردد و بدین ترتیب مقدار مواد فتوسنتزی که برای رشد برگ، ساقه و ریشه جدید اختصاص می‌یابد، محدود می‌گردد. پس تغییر در شدت نور، رقابت برای جذب کربن را در بین قسمت‌های مختلف گیاه افزایش می‌دهد. این بدان معناست که نور کم و یا سایه می‌تواند قندهای محلول ساقه و برگ را در مراحل مختلف رشد (رویشی و زایشی) کاهش دهد (Yu et al., 2017).

در بررسی ژنوتیپ‌های سویا تحت شرایط نور کامل و سایه نتایج نشان داده است که محتوای قندهای محلول با کاهش سطوح نور کاهش داشته و مقدار این کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بوده است (Hussain et al., 2019). گیاهان در مراحل مختلف رشد، از نظر تولید و مصرف

جدول ۸. اثر مقدار نور در مراحل مختلف رشد بر کربوهیدرات محلول در آب نخود

Table 8. The effects of light quantities at different growth stages on water soluble carbohydrates content of chickpea

Treatments	تیمارها	کربوهیدرات‌های محلول در آب در برگ Water-soluble carbohydrates (WSC) content of leaf (mg.g ⁻¹ dw)		کربوهیدرات‌های محلول در آب در ساقه Water-soluble carbohydrates (WSC) content of stem (mg.g ⁻¹ dw)	
		اوایل گلدهی Early flowering	اوایل پر شدن دانه Early grain set	اوایل گلدهی Early flowering	اوایل پر شدن دانه Early grain set
Shading times	زمان سایه دهی				
Vegetative phase	فاز رویشی	18.4±1.12 ^a	29.6±3.05 ^a	39.1±5.56 ^a	17.7±0.93 ^a
	فاز زایشی	17.3±1.06 ^{ab}	25.4±3.10 ^b	30.2±4.78 ^b	16.8±0.98 ^{ab}
Reproductive phase	کل دوره رشد	16.6±1.14 ^b	21.1±2.72 ^c	29.5±5.79 ^b	16.2±1.13 ^b
Total of growth duration					
Straight lighting (%)	نور مستقیم				
Straight light 100%	۱۰۰ درصد نور مستقیم	24.5±1.24 ^a	44.4±3.21 ^a	68.1±5.56 ^a	23.6±3.21 ^a
	۷۵ درصد نور مستقیم	17.5±0.58 ^b	26.9±1.99 ^b	35.1±2.75 ^b	16.9±1.99 ^b
Straight light 50%	۵۰ درصد نور مستقیم	15.9±0.44 ^{bc}	21.7±1.44 ^c	26.8±2.33 ^c	15.9±1.44 ^{bc}
	۲۵ درصد نور مستقیم	14.6±0.34 ^{cd}	17.9±1.12 ^{cd}	18.5±1.12 ^d	14.5±1.12 ^c
Straight light 0%	صفر درصد نور مستقیم	13.9±0.26 ^d	15.7±0.86 ^d	16.2±1.02 ^d	13.9±0.86 ^c

ستون‌های (بین دو خط افقی) دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد در آزمون دانکن ندارند، ± خطای استاندارد

Mean values (between two lines horizontal) followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level to the Duncan's test; ±: Standard error

و ساقه کاهش یافت. در کل، چنین استنباط می‌شود که رشد نخود بسته به میزان کاهش شدت نور از طریق شرایط ابری (کوتاه و یا طولانی‌مدت) و یا به صورت کشت مخلوط (با سایر گیاهان بلندتر از خود که باعث می‌شود نخود در سایه رشد کند) و یا در رقابت با علف‌های هرز (نخود گیاه ضعیفی در رقابت با علف‌های هرز است) کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، نخود رقم ILC482 انتخاب درستی برای کشت مخلوط نیست و برای داشتن عملکرد مناسب، به تراکم مطلوب و کنترل علف‌های هرز به منظور حذف سایه‌انداز توجه کرد.

نتیجه‌گیری نهایی

در این آزمایش و در این منطقه آب و هوایی، نخود در طول دوره رشد با میانگین دمای بین ۱۲ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد، طول دوره روشنایی (فتوپریود) بین ۶ تا ۹/۵ ساعت و شدت جریان فوتون فتوسنتزی حدود ۱۷۳۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه مواجه بوده است. در این شرایط با کاهش شدت نور، حتی به میزان ۲۵ درصد عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، وزن خشک برگ، محتوای کلروفیل a، b، a+b، قندهای محلول در برگ

منابع

- Bai, Z., Mao, S., Han, Y., Feng, L., Wang, G., Yang, B., Zhi, X., Fan, Z., Lei, Y., Du, W., Li, Y., 2016. Study on light interception and biomass production of different cotton cultivars. PloS One. 11, 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156335>
- Balfagón, D., Zandalinas, S. I., GómezffCadenas A., 2019. High temperatures change the perspective: Integrating hormonal responses in citrus plants under co-occurring abiotic stress conditions. Physiologia Plantarum. 165, 183-197. <https://doi.org/10.1111/ppl.12815>
- Chen, Y., Ghanem, M.E., Siddique, K.H., 2017. Characterizing root trait variability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm. Journal of Experimental Botany. 68, 1987-1999. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw368>
- Chen, Z., Shah Jahan, M., Mao, P., Wang, M., Liu, X., Guo, S., 2021. Functional growth, photosynthesis and nutritional property

- analyses of lettuce grown under different temperature and light intensity. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 96, 53-61.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1807416>
- Dutta, S.S., Tyagi, W., Pale, G., Pohlong, J., Aochen, C., Pandey, A., Pattanayak, A., Rai, M., 2018. Marker-trait association for low-light intensity tolerance in rice genotypes from Eastern India. *Molecular Genetics and Genomics*. 293, 1-14.
<https://doi.org/10.1007/s00438-018-1478-6>
- Fan, Y., Chen, J., Cheng, Y., Raza, M.A., Wu, X., Wang, Z., Liu, Q., Wang, R., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Liu, J., Du, J., Shu, K., Yang, W., Yang, F., 2018. Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system. *PloS One*. 13, 1-15.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198159>
- FAOSTAT, 2022. The food and agriculture organization of the United Nations (UNFAO, Rome, Italy). Chickpea production in 2022.
- Gao, J., Shi, J., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., Zhang, J., 2017. Grain yield and root characteristics of summer maize (*Zea mays* L.) under shade stress conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203, 562-573.
<https://doi.org/10.1111/jac.12210>
- Gao, Y.B., Zheng, W.W., Zhang, C., Zhang, L.L., Xu, K., 2019. High temperature and high light intensity induced photo inhibition of bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) by disruption of D1 turnover in photosystem II. *Scientia Horticulturae*. 248, 132-137.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.007>
- Gaur, P.M., Samineni, S., Thudi, M., Tripathi, S., Sajja, S.B., Jayalakshmi, V., Mannur, D.M., Vijayakumar, A.G., Ganga Rao, N.V., Ojiewo, C., Fikre, A., Kimurto, P., Kileo, R.O., Girma, N., Chaturvedi, S.K., Varshney, R.K., Dixit, G.P., 2019. Integrated breeding approaches for improving drought and heat adaptation in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Breeding*. 138, 389-400.
<https://doi.org/10.1111/pbr.12641>
- Gong, W., Jiang, C., Wu, Y., Chen, H., Liu, W., Yang, W., 2015. Tolerance vs. avoidance: Two strategies of soybean (*Glycine max*) seedlings in response to shade in intercropping. *Photosynthetica*. 53, 259-268.
<https://doi.org/10.1007/s11099-015-0103-8>
- Hussain, S., Iqbal, N., Rahman, T., Liu, T., Brestic, M., Safdar, M. E., Asghar, M.A., Farooq, M.U., Shafiq, I., Ali, A., Shoaib, M., Chen, G., Qin, S., Liu, W., Yang, W., 2019. Shade effect on carbohydrates dynamics and stem strength of soybean genotypes. *Environmental and Experimental Botany*. 162, 374-382.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.011>
- Khalid, M., Raza, M., Yu, H., Sun, F., Zhang, Y., Lu, F., Si, L., Iqbal, N., Khan, I., Fu, F.L., Li, W.C., 2019. Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. Merr.). *Applied Ecology Environmental Research*. 17, 2551-2569.
https://doi.org/10.15666/aer/1702_25512569
- Lake, L., Sadras, V.O., 2014. The critical period for yield determination in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*. 168, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.003>
- Lorenzo, C.D., Alonso Iserte, J., Sanchez Lamas, M., Antonietti, M.S., Garcia Gagliardi, P., Hernando, C.E., Dezar, C.A.A., Vazquez, M., Casal, J.J., Yanovsky, M.J., Cerdán, P.D., 2019. Shade delays flowering in *Medicago sativa*. *The Plant Journal*. 99, 7-22.
<https://doi.org/10.1111/tpj.14333>
- Mitache, M., Baidani, A., Bencharki, B., Idrissi, O., 2024. Exploring the impact of light intensity under speed breeding conditions on the development and growth of lentil and chickpea. *Plant Methods*. 20, 30.
<https://doi.org/10.1186/s13007-024-01156-9>
- Mobini, S.H., Lulsdorf, M., Warkentin, T.D., Vandenberg, A., 2016. Low red: Far-red light ratio causes faster in vitro flowering in lentil. *Canadian Journal of Plant Science*. 96, 908-918.
<https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0282>
- Naveed, M., Shafiq, M., Nadeem, M., Haq, A.U., Zahid, M.A., 2020. "Noor-2013" a bold seeded and high yielding chickpea kabuli variety developed indigenously. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 30, 885-894.
<https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.4.0104>
- Park, Y., Runkle, E.S. 2017. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environmental and Experimental Botany*. 136, 41-49.

- <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013>
- Pierik, R., Testerink, C., 2014. The art of being flexible: How to escape from shade, salt, and drought. *Plant Physiology*. 166, 5–22. <https://doi.org/10.1104/pp.114.239160>
- Ramegowda, V., Senthil, A., Senthil-Kumar, M., 2024. Stress combinations and their interactions in crop plants. *Plant Physiology Reports*. 29, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s40502-024-00785-5>
- Shafiq, I., Hussain, S., Raza, M.A., Iqbal, N., Asghar, M.A., Reza, A., Fan, Y., Mumtaz, M., Shoaib, M., Ansar, M., Manaf, A., Yang, W., Yang, F., 2021. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. *Journal of Integrative Agriculture*. 20, 4–23. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63227-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63227-0)
- Sulistyowati, D., Chozin, M., Syukur, M., Melati, M., Guntoro, D., 2016. Selection of shade-tolerant tomato genotypes. *Journal of Applied Horticulture*. 18, 154–159. <https://doi.org/10.37855/jah.2016.v18i02.27>
- Szymanska, R., Ślesak, I., Orzechowska, A., Kruk, J., 2017. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*. 139, 165–177. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.002>
- Toyama, T., Hanaoka, T., Yamada, K., Suzuki, K., Tanaka, Y., Morikawa, M., Mori, K., 2019. Enhanced production of biomass and lipids by *Euglena gracilis* via co-culturing with a microalga growth-promoting bacterium, *Emticicia* sp. EG3. *Biotechnology for Biofuels*. 12 (205), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1544-2>
- Wang, X., Gao, X., Liu, Y., Fan, S., Ma, Q., 2020. Progress of research on the regulatory pathway of the plant shade-avoidance syndrome. *Frontiers in Plant Science*. 11, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00439>
- Wimalasekera, R., 2019. Effect of light intensity on photosynthesis. *Photosynthesis, Productivity and Environmental Stress*. 4, 65–73. <https://doi.org/10.1002/9781119501800.ch4>
- Yang, C., Li, L., 2017. Hormonal regulation in shade avoidance. *Frontiers in Plant Science*. 8, 1527. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01527>
- Yang, F., Fan, Y., Wu, X., Cheng, Y., Liu, Q., Feng, L., Chen, J., Wang, Z., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Liu, J., Du, J., Shu, K., Yang, W., 2018. Auxin to gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Frontiers in Plant Science*. 9, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00056>
- Yang, F., Feng, L., Liu, Q., Wu, X., Fan, Y., Raza, M.A., Cheng, Y., Chen, J., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Liu, J., Du, J., Shu, K., Yang, W., 2018. Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environmental and Experimental Botany*. 150, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.008>
- Yeasmen, N., Orsat, V. 2024. Industrial processing of chickpeas (*Cicer arietinum*) for protein production. *Crop Science*. 1–24. <https://doi.org/10.1002/csc2.21361>
- Yu, W., Liu, Y., Song, L., Jacobs, D.F., Du, X., Ying, Y., Shao, Q., Wu, J., 2017. Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*. 36, 148–160. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9625-y>
- Zhang, J., Chen, W., Dell, B., Vergauwen, R., Zhang, X., Mayer, J., Ende, W., 2015. Wheat genotypic variation in dynamic fluxes of WSC components in different stem segments under drought during grain filling. *Frontiers in Plant Science*. 6, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00624>
- Zheng, D.M., Wang, X., Liu, Q., Sun, Y.R., Ma, W.T., Li, L., Yang, Z., Tcherkez, G., Adams, M.A., Yang, Y., Gong, X.Y., 2024. Temperature responses of leaf respiration in light and darkness are similar and modulated by leaf development. *New Phytologist*. 241, 1435–1446. <https://doi.org/10.1111/nph.19428>
- Zhou, R., Yu, X., Huang, S., Song, X., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O., 2020. Genotype dependent responses of chickpea to high temperature and moderately increased light. *Plant Physiology and Biochemistry*. 154, 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.030>