

ВЛИЯНИЕ НА СЪОТНОШЕНИЕТО ЗЕЛЕНА / СИНЯ СВЕТЛИНА ВЪРХУ ФИЗИОЛОГИЯТА НА ЛИСТНА ЦИКОРИЯ ПРИ RGB ОСВЕТЛЕНИЕ

Илияна Илиева¹, Йордан Найденов¹, Таня Иванова¹, Иван Дандолов¹,
Емилия Гешева², Веселина Ненова²

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
²Институт по физиология на растенията и генетика – Българска академия на науките
e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg

Ключови думи: космическа оранжерия, светодиодно осветление, зелена/синя светлина

Резюме: Конструиран е Блок за осветление на енергоспестяващи мощни светодиоди (BO-LED) като перспективен светлинен източник както за космическите оранжерии (КО), така и за бита. Проведени са два едномесечни експеримента с растението листна цикория в Лабораторния макет на КО СВЕТ-2 за изследване на влиянието на процентното съотношение зелена/синя светлина в RGB спектъра и определяне на оптималните светлинни параметри. Растенията са отгледани при еднакъв интензитет на светлината $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, но при различни спектри: 1) 70% червена, 20% зелена и 10% синя светлина (съотношение 2:1) и 2) 70% червена, 10% зелена и 20% синя светлина (съотношение 1:2). След сравняване на резултатите от анализа на растенията от двата експеримента – морфометричните характеристики (свежо и сухо вещество) и хлорофилната флуоресценция, бе установено, че характеристиките на растенията отгледани при преобладаваща синя светлина в спектъра са по-добри.

EFFECT OF THE GREEN / BLUE LIGHT RATIO ON THE PHYSIOLOGY OF RADICCHIO UNDER RGB LIGHTING

Iliana Ilieva¹ Yordan Naydenov¹, Tania Ivanova¹, Ivan Dandolov¹,
Emilia Gesheva², Vesselina Nenova²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
²Institute of Plant Physiology and Genetics – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg

Keywords: space greenhouse, LED lighting, green/blue light ratio

Abstract: A light module based on high power LEDs (BO-LED), as a promising energy saving light source for space greenhouses (SG) and household was designed. Two one-month experiments with leaf chicory plants were carried out in the laboratory mockup of the Space Greenhouse SVET-2 in order to evaluate the impact of the green/blue light ratio in the RGB spectrum and to determine the optimal light parameters. Plants were grown under the same light intensity $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, but with different spectra: 1) 70% red, 20% green and 10% blue light (2:1 ratio) and 2) 70% red, 10% green and 20% blue light (1:2 ratio). After comparing the results of the plants analysis from both experiments – morphometric characteristics (fresh and dry weight) and chlorophyll fluorescence, it was found that plants grown under higher percentage blue light in the spectrum have better characteristics.

Въведение

Осветлението на светодиоди (LED - Light emitting diodes) се наложи като перспективен светлинен източник не само в бита, но и в космоса заради многото си предимства пред останалите изкуствени източници на осветление – консумация на малко енергия, малки размери, продължителен период на експлоатация, голяма надеждност и безопасност при

работа. Червени и сини светодиоди са използвани при конструирането на Блоковете за осветление на Космическите оранжерии (КО) Astroculture - летяла на Space Shuttle и Advanced Astroculture - летяла на борда на Международната космическа станция [1, 2]. Планира се КО за бъдещите дългосрочни полети на човека до Марс, да са със значително по-голяма площ и да използват Блокове за осветление на светодиоди, за чиято разработката се изисква продължителни изследвания с различни видове култури за подбор на оптимални параметри и ефективно осветление [3].

Конструираните досега Блоковете за осветление за КО са на червени и сини светодиоди, които по принцип са достатъчни за растежа и развитието на растенията, но много наземни изследвания показаха, че добавянето и на зелена светлина в спектъра оказва положително влияние върху развитието на растенията [4]. Блокът за осветление на сини, зелени и червени светодиоди (БО-LED) разработен за Космическа оранжерия СВЕТ (КО СВЕТ) предоставя много възможности за изследвания, свързани с установяване влиянието на спектъра и интензитета на светлината върху растежа и развитието на растенията.

Експериментите ни досега бяха насочени към изследване влиянието на интензитета на светлината при конкретен спектрален състав. Резултатите показаха по-добри морфометрични и фотосинтетични характеристики за растението листна цикория, както при по-ниския интензитет на светлината – $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, в сравнение с $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ при спектр $70:20:10\%$ RGB [5], така и при по-високия интензитет – $288 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, в сравнение с $144 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ при спектр $50:15:35\%$ RGB [6]. Възможностите на БО-LED позволяват да бъдат задавани и спектри с вариращи съотношения между червената, синята и зелената светлини.

Цел на настоящето изследване е да установи влиянието на съотношението **зелена / синя** светлина в RGB спектр с фиксиран дял на червената светлина при интензитет $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ върху морфометричните и фотосинтетични характеристики на растението листна цикория.

Експериментална постановка

Експериментите са проведени в климатизираната Лаборатория за биотехнологични изпитания на секция „Космически биотехнологии“ при ИКИТ-БАН. Експерименталната установка е прототип на КО СВЕТ, в която 10 години са провеждани експерименти с растения на Орбиталната станция МИР (1990-2000) за изследване влиянието на микрогравитацията върху растежа и развитието на висши растения [7].

Лабораторната установка на КО СВЕТ (фиг. 1-А) се състои от Камера за отглеждане на растения, оборудвана с датчици за измерване параметрите на средата във въздушната и кореновата зони. За събиране и обработка на данните от тях е използван персонален компютър с вграден многофункционален PCI контролер ME-4610. Самостоятелен Блок управление (вградена микрокомпютърна система) задейства автоматично изпълнителните механизми на КО СВЕТ - продължителност на осветяване (фотопериода) и подаването на вода.

В Камерата е вграден Коренов модул с изкуствена почва - субстрат Балканин, използван за отглеждане на растенията и в космоса. Представлява природен зеолит, добиван от находището в Бели пласт, Кърджали, обогатен с минерални елементи [8]. Тръбна хидро-аеросистема, помпа и вентили осигуряват автоматично желания воден режим.

БО-LED е подвижен и може да бъде фиксиран в Камерата на различни разстояния от вегетационната повърхност. Той е изпълнен на мощни монохроматични светодиоди и е със собствен захранващ блок и програматор за управление.

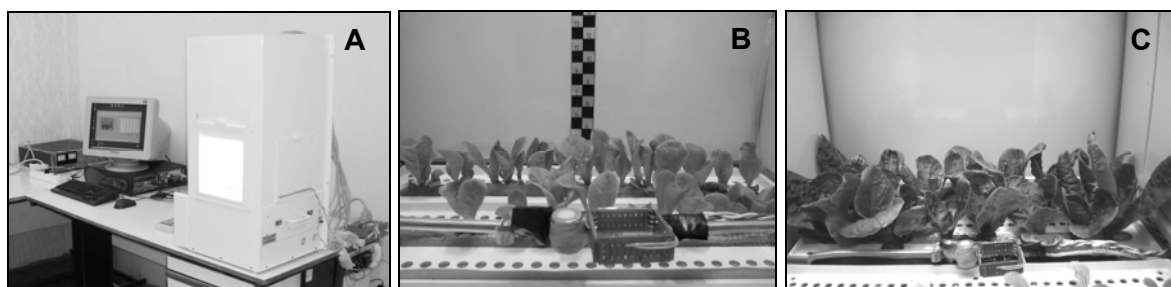
БО-LED е изграден от три типа светодиоди Cree® XLamp® 7090 серия XR, емитиращи монохроматична светлина в червената, зелената и синята области на видимия спектр [9]. Доминантните дължини на вълната са в следните диапазони: R – 620-635 nm; G – 520-535 nm; B – 465-475 nm. Режимът на работа на БО-LED се обезпечава от програматор по DMX протокол. Интензитетът и спектралното съотношение между трите области на генерираната светлина може да варира в широки граници, като при R(0-100%)+G(0-20%)+B(0-50%) може да се постигне максимална плътност на светлинния поток от $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ на разстояние 20 cm. Това позволява изследвания при различни параметри на светлината – интензитет и спектрално съотношение, с цел да бъдат подбрани най-ефективните за съответната растителна култура.

Проведени са два отделни едномесечни експеримента с растение листна цикория *Cichorium intybus* L. subsp. *intybus* (Foliosum Group) cv. Bianca di Milano, отгледано при различни параметри на светлината (фиг. 1-В,С). БО-LED и при двата експеримента е позициониран на 20 cm над посевната повърхност и е с интензитет на светлината $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, като спектрът е с постоянен дял на червената светлина (70%), а съотношението на зелената към синята светлина се променя съответно **2:1** (20% зелена и 10% синя светлина) и **1:2** (10% зелена и 20% синя светлина), съответно при първия и втория експеримент. В Таблица 1 са

дадени точните данни за интензитета на RGB светлината при съответните процентни съотношения. Растенията са отгледани при температура – 18-20°C, относителна влажност на въздуха – 60-70% и фотопериод – 16h ден / 8h нощ.

Таблица 1. Интензитет на отделните спектрални съставки в RGB осветление

Спектър на RGB светлината (%)	70:20:10	70:10:20
Интензитет на червената светлина [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	154	154
Интензитет на зелената светлина [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	44	22
Интензитет на синята светлина [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	22	44
Общ интензитет на светлината [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	220	220



Фиг. 1. (А) Лабораторният макет на КО СВЕТ. (В) Растения листна цикория при спектър 70:20:10 RGB. (С) Растения листна цикория при спектър 70:10:20 RGB.

Анализ на растенията

Морфометрични характеристики

Свежото тегло на надземната част на растенията (листата) е измерено на аналитична везна (Sartorius - PT 120, Germany) веднага след вземане на пробата, броят на развитите листа е преброен и е измерена височината.

За определяне на съдържанието на сухо вещество в листата на растенията е взета средна проба от 5 растения. 1g свеж материал е поставен в тегловно стъкло и фиксиран в сушилня при 105°C за 4h, след което е сушен при 60°C до постоянно тегло.

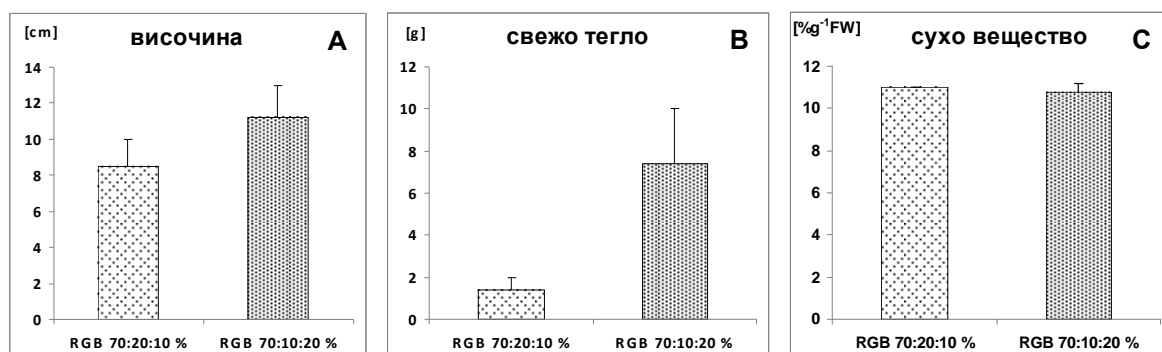
Измерване на хлорофилна флуоресценция

Хлорофилната флуоресценция е измерена на листни дискове взети от трети лист при стайна температура с импулсно амплитудно модулиран флуориметър (PAM 101-103, Waltz, Effeltrich, Germany). Данните за флуоресценцията са записани и обработени с програма FIP 4.1, QA Data, Turcu, Finland [10]. От получените данни са изчислени следните показатели: активност на Фотосистема II – $F_{PS2}=(Fm'-F)/F$ и нефотохимично гасене – $NPQ=(Fm-Fm')/Fm'$.

Получените резултати са обработени статистически по метода на едномерния дисперсионен анализ при $P = 0.05$.

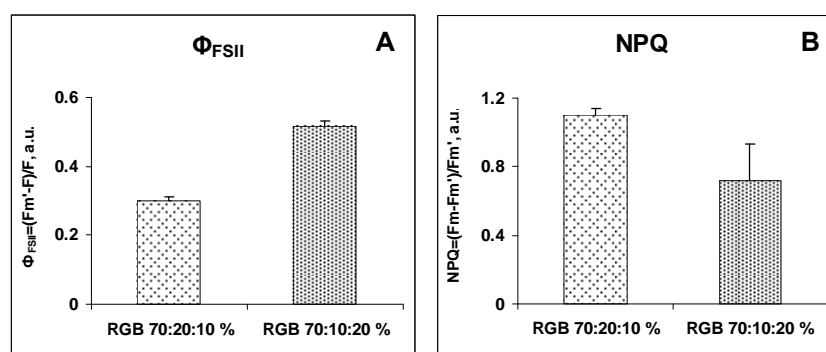
Резултати и дискусия

Различното съотношение на синята и зелената светлина в RGB спектъра оказва влияние върху нарастването във височина и синтеза на свежа биомаса при изследваното растение листна цикория. Растенията отгледани при спектър с по-голям дял на синята светлина са по-високи (фиг. 2-А) и с повече свежа биомаса (фиг. 2-В). От друга страна варирането в съотношението зелена / синя светлина не оказва влияние върху синтезираното сухо вещество в растенията (фиг. 2-С).



Фиг. 2. (A) Височина, (B) Свежо тегло и (C) Сухо вещество на растение листна цикория, отгледано при RGB светлина със спектрален състав 70:20:10 и 70:10:20, и интензитет $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Фотосинтетичните характеристики на растенията при съотношение 1:2 зелена/синя светлина са по-добри, определени въз основа активността на Фотосистема II – Φ_{FSII} (фиг. 3-A). При този спектрален състав светлината индуцира и по-слаба фотозащита, отчетена чрез пониското ниво на показателя Нефотохимично гасене – NPQ (фиг. 3-B).



Фиг. 3. (A) Активност на Фотосистема II (Φ_{FSII}), (B) Нефотохимично гасене (NPQ) на растение листна цикория, отгледано при RGB светлина със спектрален състав 70:20:10 и 70:10:20, и интензитет $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Растенията възприемат светлинните сигнали от заобикалящата ги среда посредством три групи фоторецептори – фитохроми (в червената и FR области от спектъра), фототропини и криптохроми (в UV и синята области от спектъра) [11,12]. Фоторецептори, които възприемат зелената светлина все още не са установени, но се предполага че тя се възприема от фототропините и криптохромите, поради което има основание да се допуска взаимодействие между синята и зелената светлини. Реверсивно влияние на зелената светлина върху индуцирано от синята светлина отваряне на устицата е установено при растенията *Vicia faba*, *Commelina communis*, *Pisum sativum*, *Nicotiana glauca*, *Arabidopsis thaliana*, *Nicotiana tabacum*, *Allium cepa*, *Hordeum vulgare*, като зелената светлина **не** индуцира наблюдавания ефект самостоятелно, а само в присъствието на синя светлина, и максимална реверсия се постига при съотношение на зелена към синя светлина 2:1 [13]. Получените резултати от нашето изследване също показват влияние на комбинирана синя и зелена светлина, проявяващо се в 4 пъти по-малко синтезирана биомаса и 2 пъти по-слаб интензитет на фотосинтезата при спектр със съотношение зелена / синя светлина 2:1 при растение *Cichorium intybus*. Тези резултати насочва вниманието към внимателен подбор на съдържанието на зелена светлина в спектъра на светодиодното осветление при отглеждането на растения в контролирани условия, тъй като могат да се отключат нежелани физиологични ефекти.

Литература:

1. Barta, D. J., T. W. Tibbitts, R. J. Bula, R. C. Morrow. Evaluation of Light-Emitting Diode Characteristics for a Space-Based Plant Irradiation Source, *Advances in Space Research*, 1992, Vol. 12, No. 5, pp. 141-149.
2. Link, B. M., S. J. Durst, W. Zhou, B. Stanković. Seed-to-seed Growth of *Arabidopsis thaliana* on the International Space Station, *Advances in Space Research*, 2003, Vol. 31, No. 10, pp. 2237-2243.
3. Ivanova, T. N., I. I. Ilieva, Y. N. Naydenov, V. N. Sychev, M. A. Levinskikh. "Greenhouse-Mars" Project: New Light-Emitting Diode Module Tests, *Proceedings of the Conference "Fundamental Space Research"*, 23-28 September 2008, Sunny Beach, Bulgaria, 2008, pp. 291-294.
4. Kim, H-H., G. D. Goins, R. M. Wheeler, J. C. Sager. Green-light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-light-emitting Diodes, *HortScience*, 39(7), 2004, pp. 1617-1622.
5. Ilieva, I., T. Ivanova, Y. Naydenov, I. Dandolo, D. Stefanov. Plant Experiments with Light-Emitting Diode Module in SVET Space Greenhouse, *Advances in Space Research*, 2010, Vol. 46, No. 7, pp. 840-845.
6. Ilieva, I., Y. Naydenov, T. Ivanova, I. Dandolo, D. Stefanov, E. Gesheva. Morphometrical Characteristics and Photosynthetic activity of Radicchio under RGB LED Lighting, *Proceedings of the Seventh Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" (SES 2011)*, 29 November - 1 December 2011, Sofia, Bulgaria, 2012, pp. 119-124.
7. Ivanova T. Greenhouse Aboard Mir Shows Plants Can Thrive in Space, *21st CENTURY – Science and Technology*, Vol. 15, 2, 2002, pp. 39-47.
8. Ivanova, T., I. Stoyanov, G. Stoilov, P. Kostov, S. Sapunova. Zeolite Gardens in Space, *Natural Zeolites Sofia'95*, Pensoft Publishers, Sofia–Moscow, 1997, pp. 3-10.
9. Ivanova, T., I. Dandolo, I. Ilieva, Y. Naydenov, M. Levinskikh, V. Sychev. New LEDs Light Module developed on "Greenhouse-Mars" Project, *Aerospace Research in Bulgaria*, Vol. 23, 2009, pp. 85-102.
10. Tyystjärvi, E., J. Karunen. A Microcomputer Program and Fast Analog to Digital Converter Card for the Analysis of Fluorescence Induction Transients, *Photosynthesis Research*, 1990, Vol. 26, pp. 127-132.
11. Batschauer, A. Photoreceptors of Higher Plants, *Planta*, Vol. 206, pp. 479-492, 1998.
12. Briggs, W. R., M. A. Olney. Photoreceptors in Plant Photomorphogenesis to Date. Five Phytochromes, two Cryptochromes, one Phototropin, and one Superchrome, *Plant Physiology*, Vol. 125, pp. 85-88, 2001.
13. Talbott, L. D., G. Nikolova, A. Ortiz, I. Shmayevich, E. Zeiger. Green Light Reversal of Blue-light-stimulated Stomatal Opening is Found in a Diversity of Plant Species, *American Journal of Botany*, 2002, Vol. 89, No. 2, pp. 366-368.