

## **Agurkų daigų auginimas po halogeninėmis lempomis papildant šviesos spektrą 455 nm komponente**

**Aušra Brazaitytė<sup>1</sup>, Pavelas Duchovskis<sup>1,2</sup>, Akvilė Viršilė<sup>1,2</sup>,  
Giedrė Samuolienė<sup>1,2</sup>, Julė Jankauskienė<sup>1</sup>, Algirdas Novičkovas<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialas Sodininkystės  
ir daržininkystės institutas, Kauno g. 30, LT-54333 Babtai,*

*Kauno r., el. paštas a.brazaityte@lsdi.lt*

*<sup>2</sup>Lietuvos žemės ūkio universitetas, LT-53361 Akademija, Kauno r.*

Tyrimų tikslas – ištirti mėlynos 455 nm šviesos spektro komponentių, papildančių halogeninių lempų spektrą, poveikį agurkų daigų augimui. Tyrimai atlikti Sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotroniniame komplekse. Tyrimams naudotas agurkų hibridas ‘Mandy’. Agurkų daigai buvo auginami po dviem šviestuvais. Vienas šviestuvus sudarytas iš halogeninių (kaitrinių) lempų, kuriose didžiausią spektro dalį sudaro raudona ir tolimesnė raudona šviesa, o kitas – iš halogeninių (kaitrinių) lempų su papildomais 455 nm puslaidininkiniais šviestukais (LED). Nustatyta, kad papildomi mėlyni 455 nm kietakūniai šviestukai teigiamai veikė agurkų daigų fotosintezės procesus, tačiau jų skleidžiamas mėlynos šviesos srautas nebuvo pakankamas, kad patikimai sumažintų augalų tįsimą. Konstruojant halogeninių lempų ir puslaidininkinių šviestukų šviestuvus reikėtų didinti mėlynos šviesos dalį.

**Reikšminiai žodžiai:** agurkai, auginimas, fotosintezės pigmentai, mėlyna šviesa, šviesos diodai.

**Įvadas.** Augalų švitinimo elektros lempomis metodas taikomas jau maždaug 150 metų. Augalų švitimo technologijos vystėsi nuo kaitrinių iki žemo ir aukšto slėgio dujinio išlydžio lempų. Kaitrinių lempų spektro pagrindą sudaro raudonoji dalis su ypač dideliu kiekiu tolimesnės raudonojo ir infraraudonojo spinduliavimo, kuris šildo augalą ir nulemia stiebo tįsimą. Nepaisant to, kaitrinės lempos dar vis naudojamos augalų auginimo kameroje, kombinuojant jas su kitomis. Plačiausiai iš žemo slėgio dujinio išlydžio lempų augalų auginimui ir fotobiologiniams tyrimams naudojamos fluorescencinės lempos, jų našumas ir spektras vis dar tobulinamas (Wheeler, 2008). XX a. penktajame–šeštajame dešimtmetyje sukurtos aukšto slėgio metalo halidų ir aukšto slėgio natrio lempos dėl gana aukšto elektrinio našumo, ilgo eksploatavimo laiko ir plataus spektro, palyginti su kitomis tuo metu naudojamomis lempomis, tapo tinkamos daugeliui augalų rūšių, todėl iki šiol plačiai naudojamos

pasaulyje. Tačiau visos minėtos lempos generuoja šviesą tose spektro dalyse, kurias augalai naudoja nelabai efektyviai, arba jose daugiau vyrauja viena ar kita spektro dalis. Kaip jau minėta, kaitrinėse lempose vyrauja raudonoji spektro dalis, o aukšto slėgio natrio lempų spektre mažai mėlynos šviesos ir tai lemia augalų tįsimą (Wheeler ir kt., 1991; Menard ir kt., 2006). Norint išvengti tokio aukšto slėgio natrio lempų poveikio, mėlynos šviesos trūkumui kompensuoti augalai buvo švitinti kartu ir metalo halogeninėmis ar fluorescencinėmis lempomis. Naudojant tokią apšvietimą, sojų stiebai ir tarpubambliai laipsniškai trumpėjo didinant mėlynos šviesos kiekį (Wheeler ir kt., 1991). 1990 metais augalams švitinti buvo išbandyti puslaidininkiniai šviesos šaltiniai – šviesos diodai (LED). Jų veikimas paremtas injekcinės elektroluminescencijos principu (Craford ir kt., 2001), todėl iš esmės skiriasi nuo kitų lempų, naudojamų auginant augalus. Šviesos diodų spinduliuojamų bangų ilgiai santykinai nedideli – nuo 15 iki 50 nm, spektro sritis – nuo ultravioletinės iki artimosios infraraudonosios (Žukauskas ir kt., 2002; Massa ir kt., 2008; Morrow, 2008). Jie yra našūs, o veikimo metu išskiriamą šilumą galima lengvai nuvesti norima kryptimi. Šviesos diodų kaina dar žymiai didesnė nei naudojant kaitrines (halogenines) ar išlydzio lempas. Todėl jais bandoma papildyti tradicinių pigesnių lempų spektrus. Daugiausia tokių tyrimų atlikta su dujinio išlydzio lempomis (Menard ir kt., 2006; Topchiy ir kt., 2005). Literatūroje neradome duomenų apie kaitrinių lempų spektro papildymą mūsų naudojama šviesos diodų emituojama šviesa.

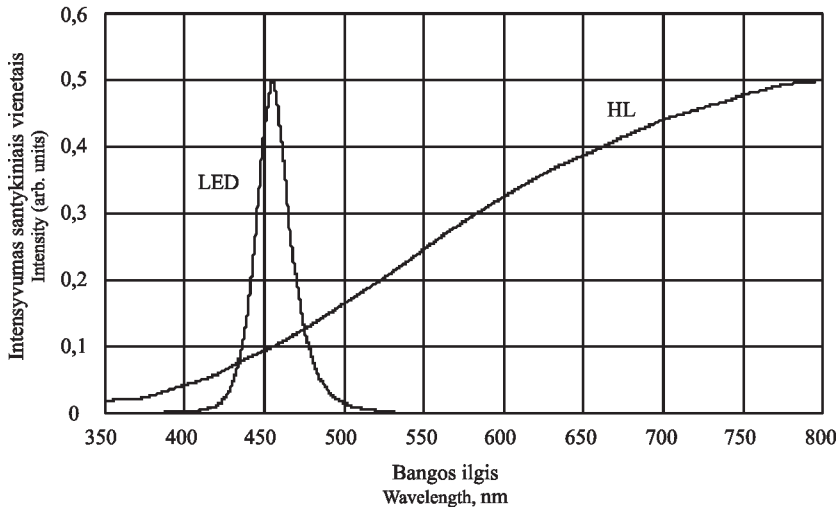
Darbo tikslas – ištirti mėlynos 455 nm šviesos spektro komponenčių, papildančių halogeninių lempų spektrą, poveikį agurkų daigų augimui.

**Tyrimo objektas, metodai ir sąlygos.** Tyrimai atlikti Sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotroniniame komplekse. Agurkų daigai auginami polimeriniuose puodeliuose, pripildytuose artimos neutraliai reakcijos durpių substrato su trąšomis PG MIX (NPK 14–16–18 su mikroelementais; 1,3 kg m<sup>-3</sup>). Iki agurkų sudygimo kameroje buvo palaikoma 25 °C dienos/nakties temperatūra. Agurkams sudygus buvo nustatytas 16 val. fotoperiodas, o dienos/nakties temperatūra – 21/17 °C. Tyrimams naudotas agurkų hibridas 'Mandy', kameroje jis auginamas 30 dienų.

Užaugę agurkų daigai buvo persodinti į šiltnamį ir auginami durpių substrate su trąšomis PG MIX (NPK 14–16–18; 1,3 kg m<sup>-3</sup>). Augalai laistomi pagal poreikį ir tręšiami trąšų tirpalu NUTRIFOL (žaliu ir ruda), magnio sulfatu, kalcio bei amonio salietra atsižvelgiant į augimo tarpsnį. Vanduo rūgštintas azoto rūgštimi. Druskų koncentracija maitinamajame tirpale – EC 2,8–3,0, pH 5,8. Agurkams augant šiltnamyje, mikroklimato sąlygos buvo tokios: temperatūra saulėtą dieną – 24–28 °C, temperatūra apsiniaukusią dieną – 20–22 °C, temperatūra naktį – 17–18 °C, santykinė oro drėgmė – 60–70 proc.

Agurkų daigai buvo auginami po dviejų modulių šviestuvais, kurie buvo sukonstruoti Vilniaus universiteto Taikomųjų mokslų institute, vykdam aukštųjų technologijų projektą PHYTOLED. Vienas iš šviestuvų sudarytas iš halogeninių (kaitrinių) lempų, kuriose didžiausią spektro dalį sudaro raudona ir tolima raudona šviesa, o kitas – iš halogeninių (kaitrinių) lempų su papildomais 455 nm puslaidininkiniais šviestukais (1 pav.). Šviestuvuose panaudotos įprastos halogeninės (100 W) lempos. Halogeninių lempų spektrui papildyti mėlyna šviesa buvo naudoti 3 W galios Luxeon LHXL-LR3C

(Philips Lumileds Lighting, JAV) šviestukai. Bendras fotonų srauto tankis 35 cm atstumu nuo lempų nurodytas lentelėje.



1 pav. Normuoti halogeninės lempos (HL) ir mėlyno šviesos diodo (LED) spektrai

Fig. 1. Normalized spectra of halogen lamp (HL) and blue LED

**Lentelė.** Vienu halogeninių lempų ir papildytų puslaidininkiniais šviestukais bendras fotonų srauto tankis (*PFD*),  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

**Table.** Photon flux densities (*PFD*),  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  of halogen lamps without and with light-emitting diodes (LEDs)

Modulis Module	Lempas tipas Lamp type	Bendras fotonų srautas Photon flux densities ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
1	Halogeninės Halogen	111,4
2	Halogeninės + 455 nm Halogen + 455 nm	100,5

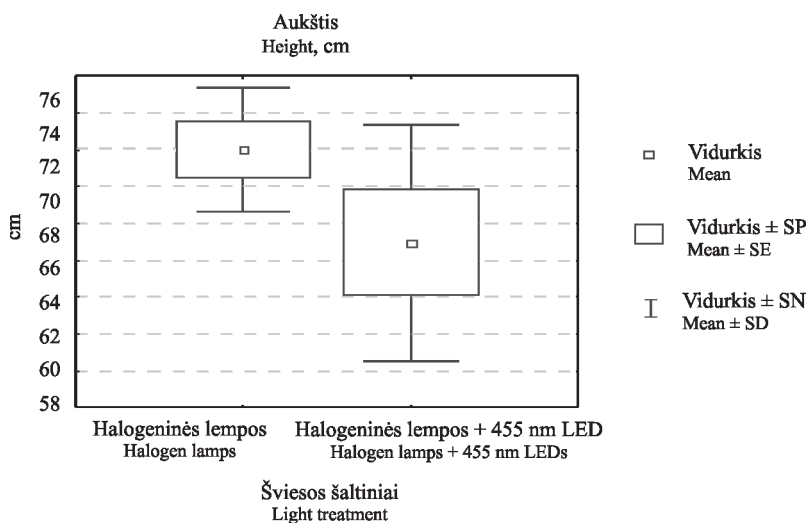
Daigų augimo pabaigoje nustatyta daržovių daigų žalia masė, sausa masė, lapų plotas (naudojant lapų ploto matuoklį „WinDias“ (Delta-T Devices Ltd, UK), aukštis.

Chlorofilų ir karotinoidų kiekis augaliniėje žaliavoje nustatytas spektrofotometriiniu metodu 100 % acetono ekstrakto pagal Wetshtein (Wettstein, 1957), naudojant spektrofotometrą „Genesys 6“ (ThermoSpectronic, JAV). Fotosintezės pigmentų kiekis agurkų lapuose nustatytas daigų augimo pabaigoje.

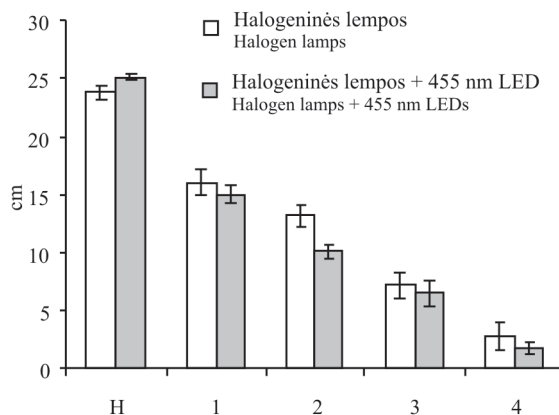
Atlikta agurkų derliaus apskaita. Agurkai buvo skinami tris kartus per savaitę vieną mėnesį.

Statistinei analizei atlikti apskaičiuoti vidurkiai, standartinės paklaidos (SP) ir standartiniai nuokrypiai (SN) naudojant STATISTICA 7 statistinę programą.

**Rezultatai.** Švitinimas halogeninėmis lempomis su papildomais mėlynais 455 nm LED mažino agurkų daigų aukštį, tačiau esminio skirtumo esant skirtingiems apšvietimams nenumatyta (2 pav.). Svarbus tinkamo augalų apšvietimo rodiklis yra hipokotilio ilgis. Agurkų daigų hipokotiliai buvo ištęję po abiem apšvietimo moduliais (3 pav.).

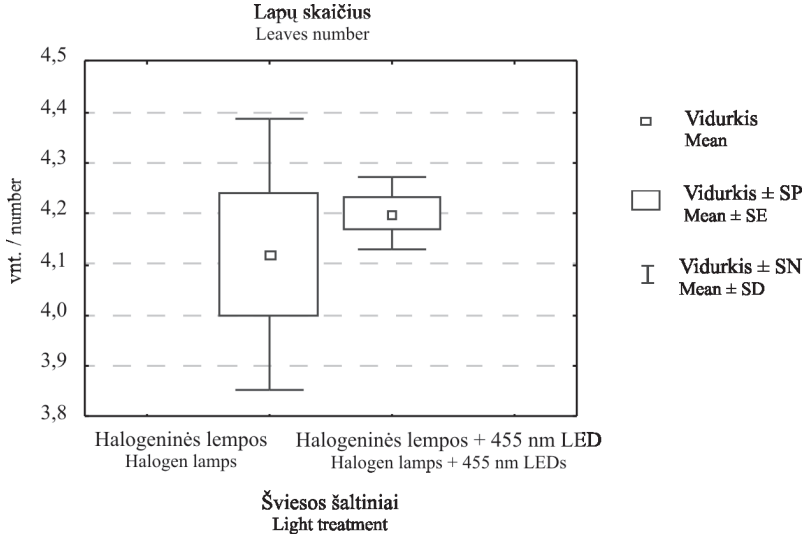


2 pav. Agurkų daigų aukštis  
Fig. 2. Height of cucumber transplants

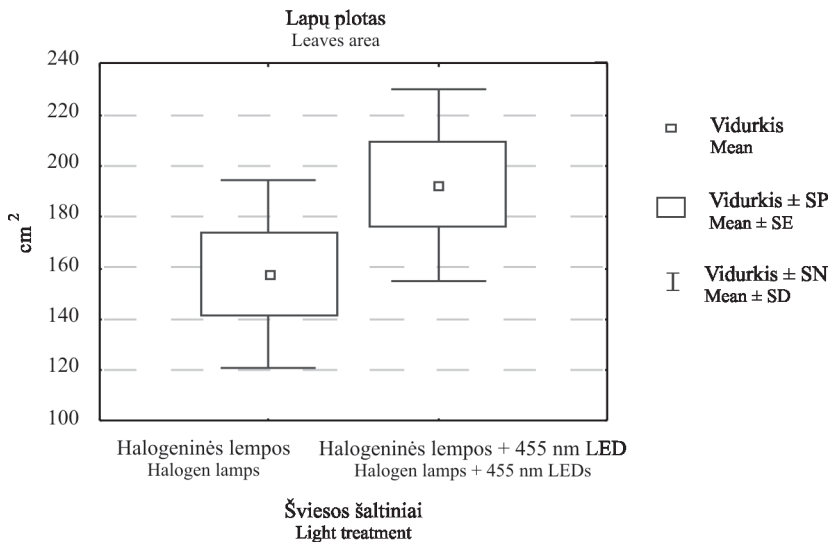


3 pav. Agurkų daigų hipokotilio ir tarpubamblių aukštis  
Fig. 3. Height of cucumber transplants hypocotyl and internodes

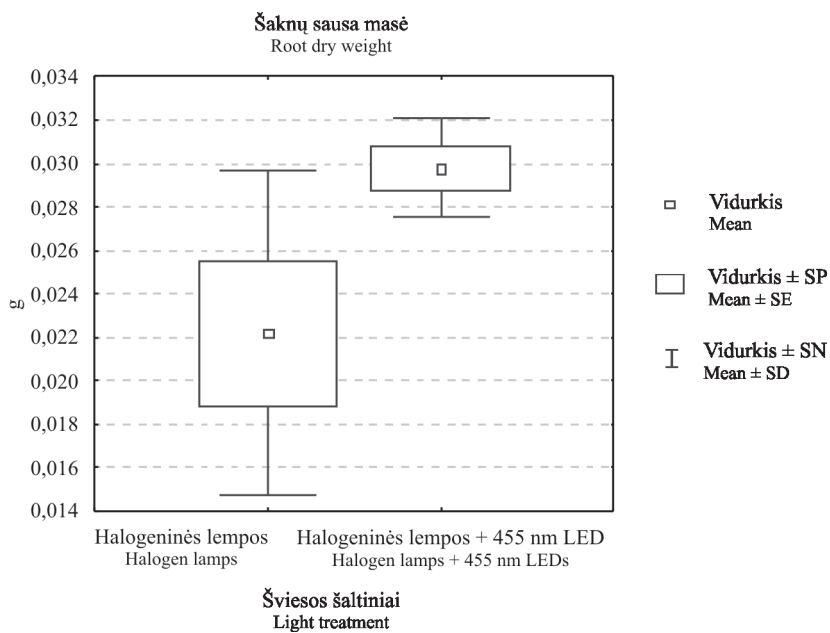
Tačiau tarpubambliai, nors ir nežymiai, buvo trumpesni tų agurkų daigų, kurie augo švitinami halogeninėmis lempomis su papildoma mėlyna 455 nm šviesa. Esminių skirtumų tarp kitų agurkų daigų biometrinių rodiklių taip pat nenustatyta, tačiau augalai, augę po halogeninėmis lempomis su papildomais mėlynais 455 nm LED, turėjo šiek tiek daugiau lapų (4 pav.), buvo suformavę didesnę lapų plotą (5 pav.) ir daugiau sausos masės (6 ir 7 pav.), ypač šaknų (7 pav.).



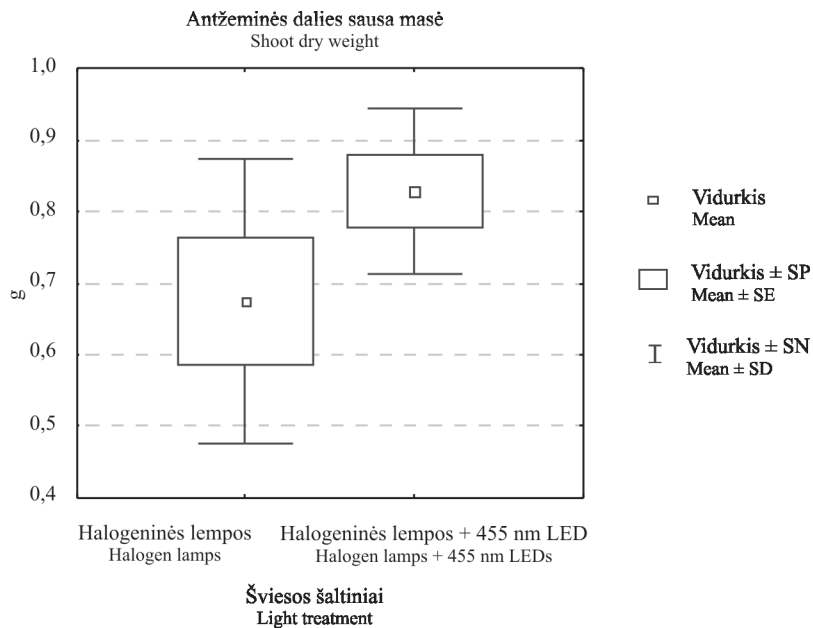
**4 pav.** Agurkų daigų lapų skaičius  
**Fig. 4.** Leaf number of cucumber transplant



**5 pav.** Agurkų daigų lapų plotas  
**Fig. 5.** Leaf area of cucumber transplants

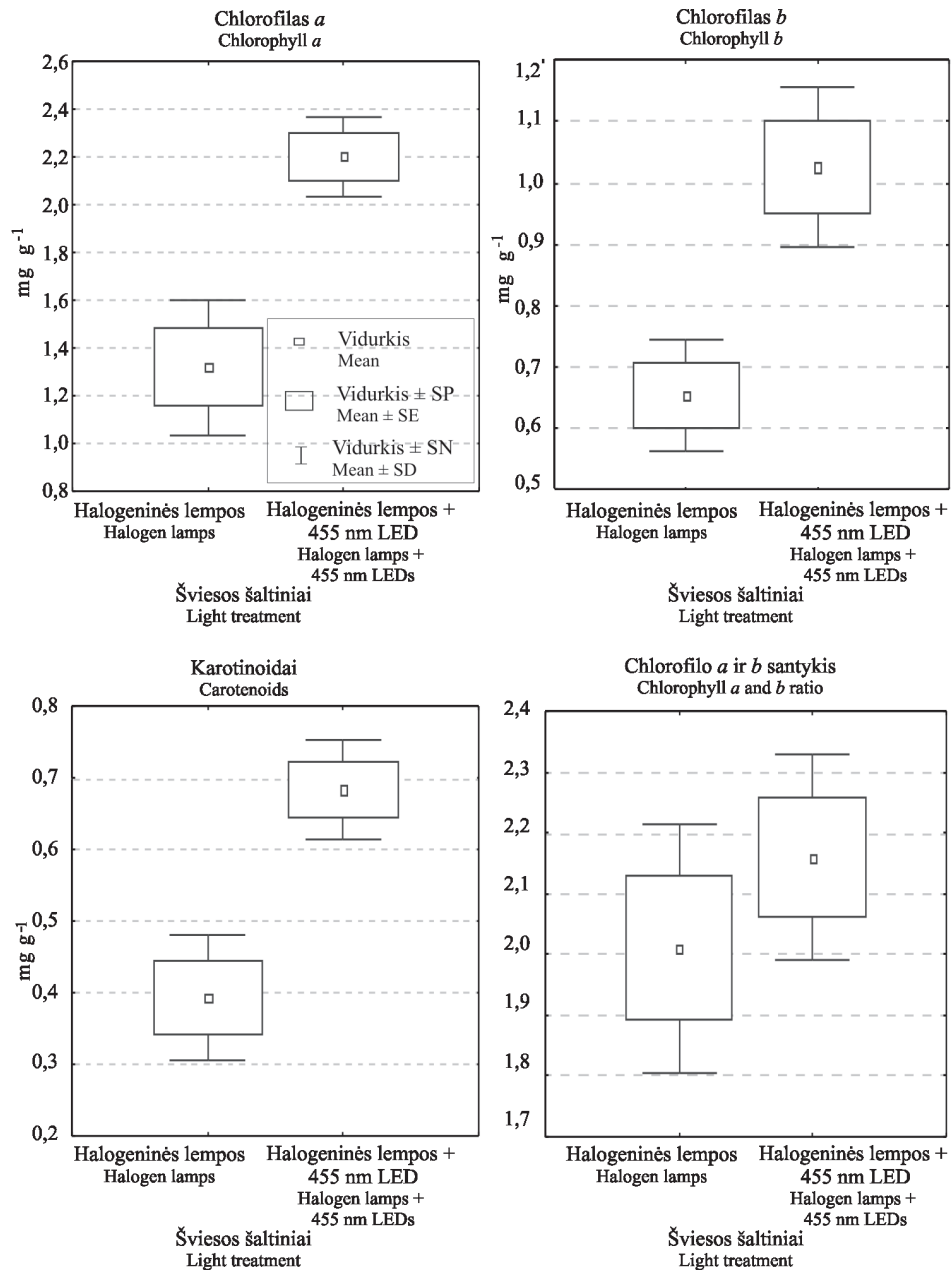


**6 pav.** Agurkų daigų šaknų sausa masė  
**Fig. 6.** Root dry weight of cucumber transplants



**7 pav.** Agurkų daigų antžeminės dalies sausa masė  
**Fig. 7.** Shoot dry weight of cucumber transplants

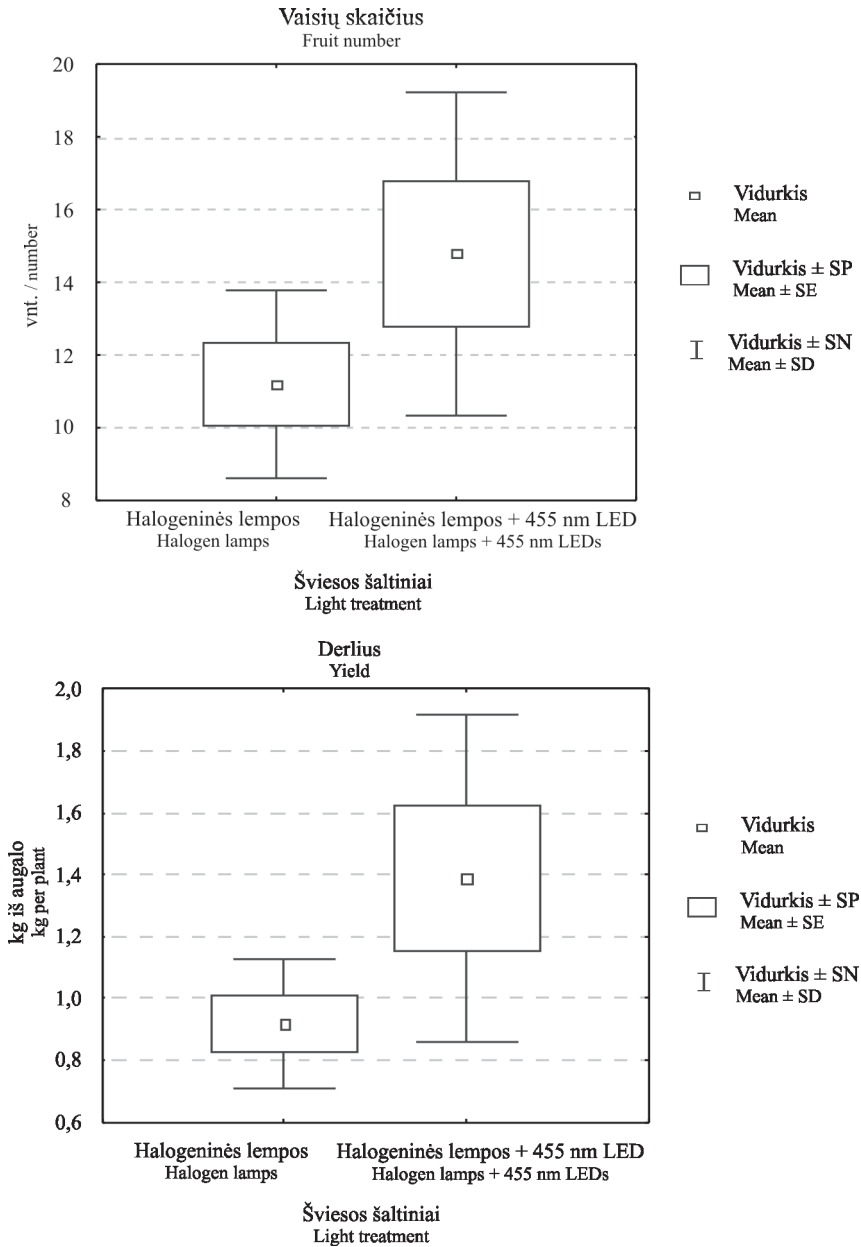
Halogeninės lempos su papildomais mėlynais LED turėjo teigiamos įtakos pigmentų kiekiui žaliuose agurkų daigų lapuose. Chlorofilo *a* ir chlorofilo *b* kiekis po tokiomis lempomis augintuose agurkuose buvo 1,6 karto, o karotinoidų – 1,7 karto didesnis, palyginti su augalais, augusiais tik po halogeninėmis lempomis (8 pav.).



**8 pav.** Fotosintezės pigmentų kiekis ir santykis agurkų daigų žaliuose lapuose  
**Fig. 8.** Photosynthesis pigment content and ratio in green leaves of cucumber transplants

Chlorofilų *a* ir *b* santykiui didelės įtakos nenustatyta, tačiau veikiant papildomai mėlyna šviesa ir jis buvo kiek didesnis (8 pav.).

Buvo nustatytas nedidelis teigiamas švitinimo halogeninėmis lempomis su papildomais mėlynais 455 nm LED poveikis agurkų derliaus sudedamosioms dalims. Tokie augalai išaugino daugiau vaisių ir buvo gautas didesnis vidutinis derlius (9 pav.).



9 pav. Agurkų vaisių skaičius ir derlius  
Fig. 9. Cucumber fruit number and yield

**Aptarimas.** Kaitrinės lempos yra vienas seniausiai naudojamų šviesos šaltinių auginant augalus. Esminis tokių lempų trūkumas, kad dėl intensyvaus spinduliavimo raudonoje ir tolimoje raudonoje spektro dalyje augalai užauga su ilgais tarpubambliais bei lapkočiais ir silpnais stiebais, palyginti su augalais, užaugusiais natūralaus apšvietimo sąlygomis (Withrow, Withrow; 1947; Wheleer, 2008). Atliekant mūsų tyrimą agurkų daigai, augę naudojant tik halogeninių lempų šviesą, taip pat buvo ištįsusiais tarpubambliais (3 pav.) ir suformavo mažesnę lapų plotą (5 pav.). Šie augalai ir sausųjų medžiagų kaupė mažiau (6 ir 7 pav.). Tačiau literatūroje nurodoma, kad pomidorai, sojos, špinatai, auginami po kaitrinėmis lempomis, užaugino daugiau sausos masės (Withrow, Withrow; 1947). Antras tokių lempų trūkumas – jų sklaidžiami infraraudonieji spinduliai pakelia lapų ir šaknų aplinkos temperatūrą ir ji yra daug aukštesnė negu oro, dėl to pažeidžiamas temperatūrų gradientas ir blogėja augalų augimas (Withrow, Withrow; 1947; Kurets ir kt., 2003). Nepaisant minėtų trūkumų, kaitrinės lempos vis dar naudojamos auginant dekoratyvinius augalus ar augalų auginimo kamerose, derinant jas su kitomis lempomis (Wheleer, 2008). Norint nustatyti apšvietimo poveikį dekoratyviniams augalams, reikia juos gana ilgai auginami, todėl panaudojome agurkus kaip modelinius augalus, nes jie greitai auga, greitai pražysta, o auginant, kol bus gautas derlius galima nustatyti skirtingo švitinimo išliekamąjį poveikį. Kaitrinių lempų apšvietimas dažniausiai papildomas mėlynų spindulių turinčiomis fluorescencinėmis lempomis, tačiau, sukūrus puslaidininkinius šviesos šaltinius, atsirado galimybė tokių lempų spektrą papildyti konkrečių bangos ilgių šviesa, tinkamiausia fiziologiniams procesams vykti. Atliekant mūsų tyrimus halogeninių lempų spektras papildytas 455 nm šviesos diodų spinduliuote. Šis bangų ilgis artimiausias karotinoidų, kurių, kaip žinoma, svarbiausia funkcija – dalyvavimas fotosintezėje, absorbcijos spektrui. Gauti rezultatai parodė, kad papildomas mėlynos šviesos kiekis teigiamai veikė fotosintezės pigmentų sintezę. Chlorofilų ir karotinoidų kiekis agurkų daigų lapuose buvo žymiai didesnis, palyginti su augalais, augusiais vien tik po halogeninėmis lempomis (8 pav.). Teigiamą mėlynos šviesos poveikį fotosintezės sistemai nurodo ir kiti autoriai (Goins ir kt., 1997; Yorio ir kt., 2001; Matsuda ir kt., 2004).

Mėlyna šviesa yra gyvybiškai svarbi augalų augimui ir vystimuisi, nes jos fotoreceptorai dalyvauja daugelyje fotomorfogenezės procesų (Christie, Briggs 2001). Nustatyta, kad raudonos puslaidininkinių šviestukų šviesos papildymas mėlyna šviesa skatino sausųjų medžiagų kaupimąsi paprikose (Brown ir kt., 1995), kviečiuose (Goins ir kt., 1997), špinatuose, ridikėliuose ir salotose (Yorio ir kt., 2001). Tai rodo, kad mėlyna šviesa vaidina svarbų vaidmenį ir fotomorfogenezėje, ir kaupiantis sausosioms medžiagoms (Matsuda ir kt., 2004). Mūsų gauti duomenys rodo, kad mėlyna šviesa teigiamai veikė agurkų daigų augimo procesus, tačiau jos papildomas kiekis, gautas iš kietakūnio 455 nm apšvietimo, nebuvo pakankamas. Nors agurkų daigai, papildomai švitinti mėlyna šviesa, užaugo žemesni (2 pav.), su trumpesniais tarpubambliais (3 pav.), išaugino didesnę lapų plotą (5 pav.) ir kaupė daugiau sausųjų medžiagų (6 ir 7 pav.), tačiau skirtumai buvo neesminiai. Literatūroje nurodoma, kad mėlyna šviesa, veikdama per mėlynos šviesos fotoreceptorius, *kryptochromus* hipokotilio augimą veikia kaip inhibitorius (Assmann, Shimazaki, 1999; Spalding, Folta, 2005). Todėl ne trumpesnis šių augalų hipokotilis, palyginti su agurkų daigais, augintais vien tik po

halogeninėmis lempomis, rodo mėlynų spindulių trūkumą (3 pav.).

Išliekamojo esminio mėlynos šviesos poveikio derliui taip pat nenustatyta, tačiau jis buvo šiek tiek didesnis (9 pav.). Kitų autorių (McCall, 1992; Tremblay, Gosselin, 1998) ir ankstesni mūsų tyrimai (Brazaitytė ir kt., 2009) parodė, kad skirtingos kokybės ir intensyvumo šviesa daro poveikį įvairių augalų daigų augimui ir vystymuisi, tačiau nėra didelio poveikio produktyvumui augalus persodinus.

**Išvada.** Papildomi mėlyni 455 nm puslaidininkiniai šviestukai teigiamai veikė agurkų daigų fotosintezės procesus, tačiau jų skleidžiamas mėlynos šviesos srautas nebuvo pakankamas, kad patikimai sumažintų augalų tįsimą. Konstruojant halogeninių lempų ir puslaidininkinių šviestukų šviestuvus reikėtų didinti mėlynos šviesos dalį.

**Padėka.** Tyrimus rėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas. Projektas PHYTOLED (Nr. B24-2007).

*Gauta 2010 06 16  
Parengta spausdinti 2010 06 21*

## Literatūra

1. Assmann S. M., Shimazaki K. 1999. The multisensory guard cell. Stomatal responses to blue light and abscisic acid. *Plant Physiology*, 119: 809–815.
2. Brazaitytė A., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Samuoliene G., Jankauskienė J., Kasiulevičiūtė-Bonakėrė A., Bliznikas Z., Novičkovas A., Breivė K., Žukauskas A. 2009. The effect of light-emitting diodes lighting on cucumber transplants and after-effect on yield. *Žemdirbyste–Agriculture*, 96(3): 102–118.
3. Brown C. S., Schuerger A. C., Sager J. C. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 808–813.
4. Christie J. M., Briggs W. R. 2001. Blue light sensing in higher plants. *J. Biol. Chem.* 276: 11 457–11 460.
5. Craford M. G., Holonyak N., Kish F. A. 2001. In pursuit of ultimate lamp. *Sci. Am.*, 284: 63–67.
6. Goins G. D., Yorio N. C., Sanwo M. M., Brown C. S. 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *J. Exp. Bot.*, 48: 1 407–1 413.
7. Yorio N. C., Goins G. D., Kagie H. R., Wheeler R. M., Sager, J. C. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36: 380–383.
8. Kurets V. K., Drosdov S. N., Popov E. G., Talanov A. V., Dembo E. D. 2003. The temperature gradient air–soil as a factor in the optimization of net photosynthesis in whole plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50(1): 72–78.
9. Massa G. D., Kim H. H., Wheeler R. M., Mitchell C. A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7): 1 951–1 956.

10. Matsuda R., Ohashi–Kaneko K., Fujiwara K., Goto E., Kurata K. 2004. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. *Plant Cell Physiol.*, 45(12): 1 870–1 874.
11. McCall D. 1992. Effect of supplementary light on tomato transplant growth, and the after-effects on yield. *Scientia Horticulturae*, 51(1–2): 65–70.
12. Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A. 2006. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Horticulturae*, 711: 291–296.
13. Morrow R. C. 2008. LED lighting in horticulture. *HortScience*, 43(7): 1 947–1 950.
14. Spalding E. P., Folta K. M. 2005. Illuminating topics in plant photobiology. *Plant, Cell and Environment*, 28: 39–53.
15. Topchiy N. M., Sytnik S. K., Syvash O. O., Zolotareva O. K. 2005. The effect of additional red irradiation on the photosynthetic apparatus of *Pisum sativum*. *Photosynthetica*, 43(3): 451–456.
16. Tremblay N., Gosselin A. 1998. Effect of carbon dioxide enrichment and light. *HortTechnology*, 8(4): 524–528.
17. Wettstein D. 1957. Chlorophyll letale und der submikroskopische formweschel der plastiden. *Experimental cell research*, 12: 427.
18. Wheeler R. M. 2008. A historical background of plant lighting: an introduction to the workshop. *HortScience*, 43(7): 1 942–1 943.
19. Wheeler R. M., Mackowiak C. L., Sager J. C. 1991. Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. *Agron. J.*, 83: 903–906.
20. Withrow A. P., Withrow R. 1947. Plant growth with artificial sources of radiant energy. *Plant Physiol*, 22: 494–513.
21. Žukauskas A., Shur M. S., Gaska R. 2002. *Introduction to Solid State Lighting*. Willey, New York.

SODININKYSTĖ IR DARŽININKYSTĖ. SCIENTIFIC ARTICLES. 2010. 29(2).

### **Growing of cucumber transplants under halogen lamps with supplemental blue 455 nm light-emitting diodes**

**A. Brazaitytė, P. Duchovskis, A. Viršilė, G. Samuolienė, J. Jankauskienė, A. Novičkovas**

#### *Summary*

The objective of our studies was to investigate the effect of solid-state short-wavelength sources of 455 nm blue light in combination with halogen lamps for growing of cucumber transplants. Experiments were performed in chambers and greenhouse of phytotron complex at the Laboratory of Plant Physiology, Institute of Horticulture. Cucumber hybrid ‘Mandy’ was used for the investigation. Cucumber transplants were grown under two illuminators. One of

them was designed only from incandescent halogen lamps and another one from incandescent halogen lamps supplemented with 455 nm light-emitting diodes (LEDs). It was established that supplemental blue LEDs positively affected photosynthesis processes of cucumber transplants, though amount of blue light were not sufficient for significant decrease of plant elongation.

**Key words:** blue light, cucumber, growth, light-emitting diodes, photosynthesis pigments.