

Pramoninių LED šviestuvų fotonų srauto tankio poveikis agurkų daigams

Aistė Bagdonavičienė,

Julė Jankauskienė,

Aušra Brazaitytė,

Viktorija Vaštakaitė,

Pavelas Duchovskis

*Lietuvos agrarinių ir miškų
mokslų centras,*

Instituto al. 1,

LT-58344 Akademija, Kėdainių r.

El. paštas: a.kasiuleviciute@lsdi.lt

Tyrimai atlikti LAMMC Sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotrono komplekse ir instituto daigyno šiltnamyje. Darbo tikslas – parinkti naujų puslaidininkinių lempų fotonų srauto tankį auginat agurkų daigus šiltnamiuose ir fitotrone. Tyrimams naudotas agurkų hibridas 'Mandy' F₁. Švitinta LED lempomis, kurios sudarytos iš violetinės 420–430 nm, mėlynos 460–470 nm, oranžinės 610–615 nm, raudonos 620–630 nm ir 660–670 nm, baltos (mėlyna 400–500 nm + žalia 500–600 nm + raudona 600–700 nm) spalvos šviesą emituojančių diodų. Eksperimentų metu palaikytas skirtingas fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) fotonų srauto tankis (PPFD) – ~150 ir ~250 μmol m⁻² s⁻¹. Šiltnamyje agurkų daigai auginti po puslaidininkinėmis lempomis natūralaus apšvietimo fone. Fitotrono kameroje agurkų daigams apšviesti naudotos tik puslaidininkinės lempos. Palyginamieji daigai auginti po aukšto slėgio natrio lempomis (SON-T Agro) (~150 μmol m⁻² s⁻¹). Atlikti apšvietimo tyrimai šiltnamyje ir fitotrone parodė, kad švitinimas naujomis puslaidininkinėmis lempomis turėjo teigiamos įtakos daigų biometriniams ir fitocheminiams rodikliams. Nustatyta, kad esant didesniam fotonų srauto tankiui daigai geba užauginti plačius lapus, sukaupti daugiau žalios ir sausos masės. Puslaidininkinių lempų šviesa skatino chlorofilų kaupimą daigų lapuose. Šiltnamyje labiausiai išsivystė daigai, augę po SON-T Agro lempomis. Techninės brandos tarpsniu jie pasiekė VI–VII organogenezės etapą. Fitotrone labiausiai išsivystė daigai, augę po puslaidininkinių lempų šviesa, jie pasiekė VI organogenezės etapą. Daigų fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos turėjo ~150 μmol m⁻² s⁻¹ LED apšvietimo fotonų srauto tankis tiek šiltnamyje, tiek fitotrone.

Raktažodžiai: agurkai, daigai, fotosintetiniai pigmentai, fotosintezės intensyvumas, fotonų srauto tankis, šviesą emituojantys diodai (LED), žalia ir sausa masė

ĮVADAS

Daigų švitinimo optimizavimas turi svarbią reikšmę jų vėlesniam augimui šiltnamiuose ir nulemia augalų produktyvumą bei vaisių kokybę. Kietakūnio apšvietimo poveikis agurkų daigams LAMMC SDI Augalų fiziologijos laboratorijoje tyrinėjamas nuo 2007 m. (Urbonavičiūtė ir kt., 2008; Brazaitytė et al., 2009; Duchovskis ir kt., 2013). Nustatyti pagrindiniai šviesos poveikio augalams dėsniniai bei sukurtos įvairios paskirties puslaidininkinės lempos (Bliznikas et al., 2004; 2009; Žukauskas, Duchovskis, 2009). Tačiau rinkoje atsiranda vis naujų puslaidininkinių lempų, pasižyminčių

pažangiais techniniais sprendimais bei šviesos spektrinių komponentių deriniais.

Manoma, kad raudona ir mėlyna šviesa yra pagrindinės apšvietimo spektro komponentės auginant agurkų daigus (Wenke, 2012). Raudona šviesa yra svarbi fotomorfogenezės procesams, skatina chlorofilo *b* sintezę augaluose (Olle, Viršilė, 2013). Mėlyna šviesos komponentė skatina žiotelių atsidarymą, chlorofilo *a* sintezę (Menard et al., 2006; Samuoliene et al., 2012) ir asimiliantų perdavimą į kaupiančiuosius organus (Urbonavičiūtė ir kt., 2008). Bendras raudonos ir mėlynos šviesos poveikis vaidina svarbų vaidmenį – fotomorfogenezėje skatina žiotelių atsidarymą, chlorofilų sintezę,

sausų medžiagų kaupimąsi (Matsuda et al., 2004; Menard et al., 2006; Trouwborst et al., 2010). Daigams augti vien raudonos ir mėlynos šviesos nepakanka (Wang et al., 2009). Oranžinė šviesa skatina agurkų augimą ir biomasės kaupimą, tačiau violetinė UV šviesa veikia priešingai – slopina. Balta šviesa didina agurkų lapų plotą, skatina biomasės kaupimą ir chlorofilų sintezę (Wang et al., 2009; Carvalho, Folta, 2014). Kitas labai svarbus šviesos parametras – fotonų srauto tankis. Manoma, kad auginant agurkų daigus jis turi būti ne mažesnis kaip $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Samuoliene et al., 2012).

Šiuo tyrimu siekiama išsiaiškinti galimybes integruoti naujas pramonines puslaidininkines lempos į esamas agurkų daigų auginimo technologijas.

Darbo tikslas – parinkti naujų puslaidininkinių lempų fotonų srauto tankį auginant agurkų daigus šiltnamiuose ir fitotrone.

METODAI IR SĄLYGOS

Tyrimai atlikti 2014 m. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Sodininkystės ir daržininkystės instituto, Augalų fiziologijos laboratorijos fitotro-niniame komplekse ir instituto daigyno šiltnamyje. Tyrimams parinktas ankstyvas partenokarpinis agurkų hibridas 'Mandy'.

Sąlygos. Daigai auginti polimeriniuose puodeliuose, pripildytuose durpių substrato (nurūgštintas, su trąšomis PG MIX (NPK 14-16-18; $1,3 \text{ kg/m}^3$)).

Augalams apšviesti naudotos pramoninės puslaidininkinės lempos, sudarytos iš violetinės 420–430 nm (1 diodas), mėlynos 460–470 nm (2 diodai), oranžinės 610–615 nm (1 diodas), raudonos 620–630 nm (3 diodai) ir 660–670 nm (7 diodai), baltos (mėlyna 400–500 nm + žalia 500–600 nm + raudona 600–700 nm) (1 diodas) spalvos šviesos diodų.

Eksperto šiltnamyje metu agurkų daigams taikytas skirtingo fotonų srauto tankio (PPFD) (150 ir $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) LED apšvietimas dienos šviesos fone. Atliekant eksperimentus uždaroje fitotrono kameroje natūralus dienos apšvietimas eliminuotas, naudota tik 150 ir $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fotonų srauto tankio puslaidininkinių lempų skleidžiama šviesa. Abiejų eksperimentų metu palyginamajam augalų apšvietimui naudotos aukšto slėgio natrio (SON-T Agro) lempos ($150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), palaikytas 16 val. fotoperiodas.

Agurkų daigai šiltnamyje švitinti 25 dienas, fitotrono komplekse – 30 dienų. Augalai laistyti pagal poreikį.

Tyrimo metodai. Vertinant augalų augimo dinamiką matuotas hipokotilio ilgis ir skersmuo, tarpubamblių ilgis, visas augalo aukštis. Sausos medžiagos nustatytos išdžiovinus antžeminę ir šaknų masę $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje iki nekintamos masės. Augalų lapų plotas matuotas WinDias matuokliu (Delta-T Devices Ltd, UK). Chlorofilų indeksas lapuose nustatytas Dualex4 matuokliu (Force-A, Orsay, France). Pagal F. Kuperman (Kuperman, Rzhanova, 1985) metodiką nustatytas augalų organogenezės etapas. Fotosintezės intensyvumas daiguose matuotas nešiojamąja fotosintezės sistema LI-6400XT (LI-COR, USA).

Biometriniai ir fitocheminiai chlorofilai nustatyti atliekant dešimties augalų biologinius pakartojimus ($n = 10$). Fotosintezės intensyvumas įvertintas matuojant po 3 kiekvieno tiriamojo apšvietimo derinio augalus, 15 min. ($n = 3$).

Tyrimo metu tirtų veiksnių įtakos patikimumas įvertintas dispersinės analizės metodu ANOVA skaičiuojant F kriterijų ir jo P reikšmę. Skaičiavimai atlikti naudojantis statistine programa STATISTICA 7.

1 lentelė. Apšvietimo spektro ir srauto deriniai agurkų daigų auginimo eksperimente

Table 1. Lighting combinations and photon flux densities of cucumber transplants growing in the experiment

Variantas Treatments	Fotonų srauto tankis (PPFD) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Photosynthetic photon flux density (PPFD), $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			Fotoperiodas val. Photoperiod, h
	SON-T Agro	LED	LED	
Šiltnamis Greenhouse	150 + dienos šviesa 150 + day light	150 + dienos šviesa 150 + day light	250 + dienos šviesa 250 + day light	16
Fitotrono kamera Phytotron chambers	150	150	250	16

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Šiltnamiai. Priklausomai nuo apšvietimo derinio agurkų daigų antžeminė dalis vystėsi nevienodai. Nustatyta, kad aukščiausi augalai šiltnamyje užaugo po SON-T Agro lempomis, o žemiausi – po puslaidininkinėmis lempomis, kur FAS srautas – $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, tačiau gauti skirtumai nebuvo esminiai (2 lentelė). Po SON-T Agro lempomis augusių daigų hipokotilis buvo ištišęs ir mažesnio skersmens. Daigų, augintų po LED lempomis, kur palaikytas $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautas, hipokotilis nebuvo ištišęs, jo skersmuo buvo didžiausias. Nepriklausomai nuo apšvietimo ir FAS srauto lapų skaičius buvo vienodas. Žalia ir sausa masė buvo didžiausia daigų, augintų po LED lempomis, kur FAS srauto tankis siekė $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Šio apšvietimo derinio teigiamas poveikis nustatytas ir daigų šaknų žaliai ir sausai masei bei chlorofilų indeksui. Labiausiai išsivystę buvo agurkų daigai, augę po SON-T Agro lempomis, jie pasiekė VI–VII organogenezės etapą (3 lentelė). Fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos turėjo $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimas (1 pav.).

Fitotronas. Aukščiausi agurkų augalai fitotrono komplekse užaugo po $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS, o žemiausi – po Son-T Agro lempomis (esminis skirtumas) (4 lentelė). Po SON-T Agro lempomis augusių daigų hipokotilio skersmuo

3 lentelė. Agurkų daigų žiedynų išsivystymas šiltnamyje esant skirtingam apšvietimo deriniui

Table 3. Development of cucumber transplants apexes in greenhouse under different lighting combinations

Apšvietimo derinys šiltnamyje Combination of lighting in greenhouse	Organogenezės etapas Stage	Žiedyno aukštis mm Height of inflorescence, mm
SON-T Agro $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VI–VII	$0,81 \pm 0,050$
LED $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VI	$0,75 \pm 0,006^*$
LED $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VI	$0,73 \pm 0,040^{**}$

* patikimumas iki $P \leq 0,05$; ** patikimumas $P \leq 0,01$;

* significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$.

buvo toks pat kaip ir daigų, augintų apšviečiant $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED, tik jie buvo šiek tiek daugiau ištišę. Skirtingas apšvietimas lapų skaičiui didelės įtakos neturėjo. Augalų lapų plotas, žalia ir sausa masė buvo didžiausia daigų, augintų po $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED, o mažiausia daigų, švitintų SON-T Agro lempomis. Agurkų daigų šaknų žalios ir sausos masės kaupimui teigiamą įtaką turėjo $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimas. Visų daigų, augintų tirtuose variantuose, chlorofilų indeksas buvo panašus. Labiausiai išsivystę buvo

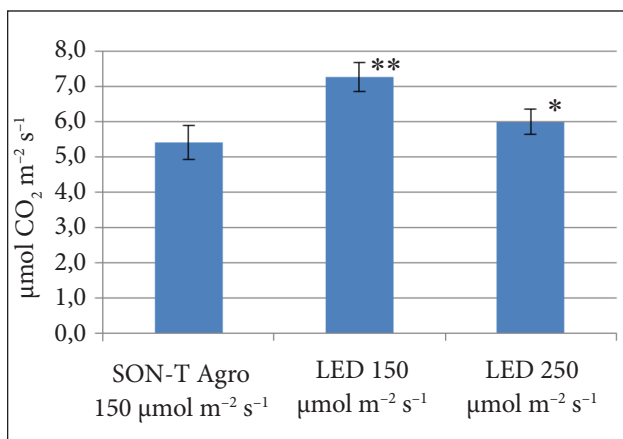
2 lentelė. Biometriniai agurkų daigų rodikliai šiltnamyje esant skirtingam apšvietimo deriniui

Table 2. Biometric characteristics of cucumber transplants growing in greenhouse under different lighting combinations

Biometriniai rodikliai Biometric parameters	Apšvietimo derinys šiltnamyje Combination of lighting in greenhouse		
	SON-T Agro $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	LED $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	LED $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Hipokotilio aukštis cm / <i>Hypocotyl length, cm</i>	$5,62 \pm 0,763$	$4,70 \pm 0,515^*$	$4,06 \pm 0,462^{**}$
Hipokotilio skersmuo cm / <i>Hypocotyl diameter, cm</i>	$0,40 \pm 0,29$	$0,53 \pm 0,024^{**}$	$0,55 \pm 0,022^{**}$
Antžeminis augalo aukštis cm / <i>Height, cm</i>	$17,52 \pm 2,764$	$17,02 \pm 2,250$	$17,12 \pm 2,465$
Lapų skaičius vnt. / <i>Leaf number, units</i>	$4,38 \pm 0,179$	$4,26 \pm 0,114$	$4,32 \pm 0,130$
Lapų plotas cm^2 / <i>Leaf area, cm^2</i>	$655,54 \pm 55,940$	$734,69 \pm 45,403$	$788,56 \pm 29,131$
Antžeminė žalia masė g / <i>Fresh weight, g</i>	$23,59 \pm 2,195$	$27,258 \pm 1,966$	$30,36 \pm 0,606^*$
Antžeminė sausa masė g / <i>Dry weight, g</i>	$2,71 \pm 0,234$	$2,99 \pm 0,224$	$3,32 \pm 0,099^*$
Šaknų žalia masė g / <i>Fresh weight, g</i>	$8,02 \pm 0,789$	$8,65 \pm 0,697$	$9,37 \pm 1,330$
Šaknų sausa masė g / <i>Dry weight, g</i>	$0,41 \pm 0,042$	$0,45 \pm 0,033$	$0,45 \pm 0,055$
Chlorofilų indeksas / <i>Chlorophyll index</i>	$27,25 \pm 3,685$	$26,68 \pm 2,87$	$32,39 \pm 3,89^*$

* patikimumas iki $P \leq 0,05$; ** patikimumas $P \leq 0,01$;

* significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$.



1 pav. Agurkų daigų fotosintezės intensyvumas $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (šiltnamius)

Fig. 1. Photosynthetic rate in leaves of cucumber transplants, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (greenhouse)

* patikimumas iki $P \leq 0,05$; ** patikimumas $P \leq 0,01$;

* significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$.

agurkų daigai, augę po LED lempomis, jie pasiekė VI organogenezės etapą (5 lentelė). Fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos turėjo $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ LED apšvietimas (esminis skirtumas) (2 pav.).

Aptarimas. Raudona, mėlyna, oranžinė ir balta spalva skatina agurkų lapų ploto didėjimą, biomasės kaupimą, stimuliuoja antžeminės dalies augimą (Wang et al., 2009; Carvalho, Folta, 2014). Mūsų atliktų tyrimų duomenimis, daigų apšvieti-

5 lentelė. Agurkų daigų žiedynų išsivystymas fitotrone esant skirtingam apšvietimo deriniui

Table 5. Development of cucumber transplants apices in phytotron under different lighting combinations

Apšvietimo derinys fitotrone Combination of lighting in phytotron	Organogenezės etapas Stage	Žiedyno aukštis mm Height of inflorescence, mm
SON-T Agro 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	V	$0,35 \pm 0,049$
LED 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	V-VI	$0,69 \pm 0,085^{**}$
LED 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	VI	$0,68 \pm 0,132^{**}$

* patikimumas iki $P \leq 0,05$; ** patikimumas $P \leq 0,01$;

* significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$.

mas naujomis puslaidininkinėmis lempomis turėjo teigiamos įtakos lapų plotui, žalios ir sausos masių kaupimui šiltnamio ir fitotrono sąlygomis (2, 4 lentelė). Tirtas skirtingas šviesą emituojančių diodų fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srauto tankis (FAS) $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ nm}$ ir $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ nm}$ parodė, kad, didinant FAS, daigai geba formuoti didesnius lapus, kaupti didesnę antžeminę žalią ir sausą masę bei išauginti didesnę šaknų sistemą. Įvairių autorių duomenimis, kietakūnio ap-

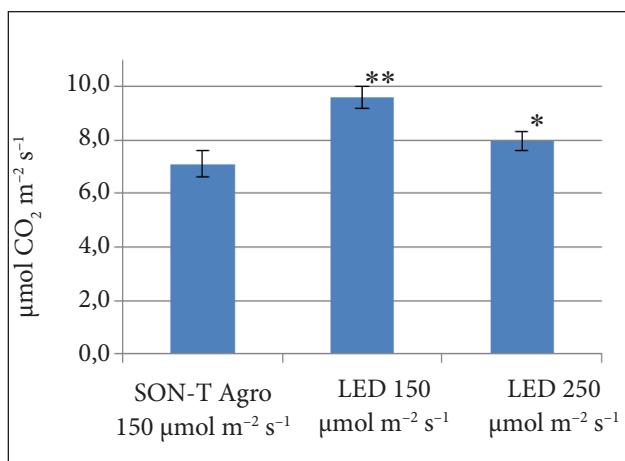
4 lentelė. Biometriniai agurkų daigų rodikliai fitotrone esant skirtingam apšvietimo deriniui

Table 4. Biometric characteristics of cucumber transplants growing in phytotron under different lighting combinations

Biometriniai rodikliai Biometric parameters	Apšvietimo derinys fitotrone Combination of lighting in phytotron		
	SON-T Agro 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	LED150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	LED 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Hipokotilio aukštis cm / Hypocotyl length, cm	$2,86 \pm 0,730$	$2,60 \pm 0,412$	$2,72 \pm 0,618$
Hipokotilio skersmuo cm / Hypocotyl diameter, cm	$0,40 \pm 0,055$	$0,36 \pm 0,055$	$0,40 \pm 0,000$
Antžeminis aukštis cm / Height, cm	$12,48 \pm 0,950$	$13,26 \pm 0,684$	$18,00 \pm 0,485^{**}$
Lapų skaičius vnt. / Leaf number, units	$6,10 \pm 0,548$	$6,50 \pm 0,707$	$6,90 \pm 0,894$
Lapų plotas cm^2 / Leaf area, cm^2	$353,20 \pm 30,794$	$417,74 \pm 34,169^*$	$503,25 \pm 8,685^{**}$
Antžeminė žalia masė g / Fresh weight, g	$9,41 \pm 1,235$	$11,01 \pm 0,889^*$	$16,16 \pm 0,052^{**}$
Antžeminė sausa masė g / Dry weight, g	$1,12 \pm 0,201$	$1,08 \pm 0,052$	$2,00 \pm 0,179^{**}$
Šaknų žalia masė g / Fresh weight, g	$2,19 \pm 0,612$	$2,13 \pm 0,356$	$3,83 \pm 0,537^{**}$
Šaknų sausa masė g / Dry weight, g	$0,14 \pm 0,049$	$0,13 \pm 0,022$	$0,24 \pm 0,016^{**}$
Chlorofilų indeksas / Chlorophyll index	$31,41 \pm 2,040$	$31,41 \pm 2,040$	$32,79 \pm 1,611$

* patikimumas iki $P \leq 0,05$; ** patikimumas $P \leq 0,01$;

* significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$.



2 pav. Agurkų daigų fotosintezės intensyvumas $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (fitotronas)

Fig. 2. Photosynthetic rate in leaves of cucumber transplants, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (phytotron)

* patikimumas iki $P \leq 0,05$; ** patikimumas $P \leq 0,01$;

* significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$.

švietimo spektrą papildžius mėlynos, oranžinės, raudonos bei tolimosios raudonos bangų šviesos šviestukais, galima pagreitinti agurkų daigų auginimą ir sumažinti energijos sąnaudas (Brazaitytė et al., 2009). Raudoną šviesą emituojantys diodai didina sausų medžiagų kiekį antžeminėje augalo dalyje (Olle, Viršilė, 2013). Mėlyni 445 nm šviesą emituojantys diodai (LED) skatina fotosintezės pigmentų kaupimą agurkų daigų lapuose (Novičkovas et al., 2012; Kasiulevičiūtė, 2013). G. Trouwborst ir kitų autorių (2010) atlikti tyrimai su agurkais, augintais po aukšto slėgio natrio lempomis kartu su raudonais ir mėlynais (santykiu 4:1) šviesą emituojančiais diodais, kai FAS srauto tankis $221 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nm, parodė, kad toks apšvietimas skatino lapų ploto didėjimą ir gerino fotosintezės sistemos parametrus, tačiau biomasės kaupimui ir tolimesniam derliaus kiekiui didelės įtakos neturėjo.

A. Bagdonavičienės ir kitų autorių (2014) atlikti tyrimai fitotronu su agurkais parodė, kad po raudonais ir mėlynais LED daigai antžeminėje dalyje ir šaknyse sukaupė esmingai daugiau žalios masės nei augę po SON-T Agro lempomis. SON-T Agro lempų šviesa lėtino agurkų daigų vystymąsi. Tai parodė ir mūsų gauti tyrimų duomenys (2, 3, 4, 5 lentelė).

Raudona, mėlyna ir balta spalva skatina chlorofilų sintezę agurkuose (Wang et al., 2009; Carvalho, Folta, 2014). Šiltnamyje ir fitotronu tirtos naujos

puslaidininkinės lempos šviesa skatino chlorofilų kaupimą, tai užtikrina normalų fotosintezės procesą bei derliaus formavimą (1, 2 pav.). Atlikti tyrimai su balta, raudona ir mėlyna LED šviesa auginant salotas atskleidė, kad raudona su mėlyna ir raudona su balta šviesa skatino žalios masės kaupimą, didino fotosintezės pigmentų kiekį (Wojciechowska et al., 2013). Mūsų tyrimų duomenimis, fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos turėjo FAS $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ švitinimas šviesą emituojančiais diodais tiek šiltnamyje, tiek fitotronu (1, 2 pav.). G. Trouwborst ir kitų autorių (2010) atlikti tyrimai su LED ir fotonų srauto tankiu auginant agurkus parodė, kad normaliam fotosintezės intensyvumui užtikrinti FAS $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ neužtenka. Todėl tyrimai su skirtingu LED apšvietimo srautu gali būti tęsiami ateityje.

Priklausomai nuo apšvietimo ir augimo sąlygų, augalų organogenezė vyksta skirtingai. Mūsų duomenimis, daigyno šiltnamyje labiausiai išsivystę daigai, augę po SON-T Agro lempomis kartu su dienos šviesa, jie pasiekė VI–VII organogenezės etapą (3 lentelė). Fitotrono komplekse atlikto tyrimo rezultatai buvo priešingi: labiausiai išsivystę daigai, augę po naujų puslaidininkinių lempų šviesa, ir pasiekė VI organogenezės etapą (5 lentelė). Kitų autorių duomenimis, skirtingas apšvietimas agurkų derliui dėsningo poveikio neturėjo (Carvalho, Folta, 2014), tačiau LED apšvietimas turėjo įtakos žydėjimo ir derėjimo pradžioje (Brazaitytė et al., 2009; Brazaitytė ir kt., 2010).

IŠVADOS

1. Agurkų daigus švitinant šiltnamiuose puslaidininkinėmis lempomis suminis fotonų srauto tankis turi būti ne mažiau kaip $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Tirtos naujos puslaidininkinės lempos užtikrina tokius parametrus ir yra pranašesnis už eksperimente naudotas aukšto slėgio natrio lempas.

2. Auginant agurkų daigus šiltnamyje, papildant natūralų apšvietimą $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ LED šviestuvų šviesa, augalai užauga kompaktiški ir labiau išsivystę, sukaupia daugiau žalios ir sausos masės, suformuoja gerą šaknų sistemą, sukaupia daugiau chlorofilų, tai užtikrina normalų fotosintezės procesą bei derliaus formavimą.

3. Auginant agurkų daigus fitotrono komplekse prie $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ LED šviestuvų, augalai užauga aukšti ir tvirti, sukaupia daugiau žalios ir

sausos masės, išsivysto stipri šaknų sistema, augalui užtikrinamas normalus fotosintezės intensyvumas.

Gauta 2014 10 23
Priimta 2015 03 30

LITERATŪRA

1. Bagdonavičienė A., Jankauskienė J., Brazaitytė A., Duchovskis P., Novičkovas A., Dabašinskas L. 2014. Šviesą emituojančių diodų ir aukšto slėgio natrio lempų poveikis agurkų daigams auginant skirtinguose substratuose. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 33(1–2). P. 61–73.
2. Bliznikas Z., Breivė K., Novičkovas A., Vitta P., Žukauskas A., Duchovskis P. 2009. Solid-state lamp for the improvement of nutritional quality of leafy vegetables. *Electronics and Electrical Engineering*. Vol. 8(96). P. 47–50.
3. Bliznikas Z., Breivė K., Tamulaitis G., Kurilčik G., Novičkovas A., Žukauskas A., Duchovskis P., Ulinskaitė R., Brazaitytė A., Šikšnianienė J. 2004. Puslaidininkinė lempa augalų fiziologiniams procesams tirti ir valdyti. *Elektronika ir elektrotechnika*. Vol. 56(7). P. 74–79.
4. Brazaitytė A., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Samuolienė 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. *Zemdirbyste–Agriculture*. Vol. 96(3). P. 102–118.
5. Brazaitytė A., Duchovskis P., Viršilė A., Samuolienė G., Jankauskienė J., Novičkovas A. 2010. Agurkų daigų auginimas po halogeninėmis lempomis papildant spektrą 455 nm komponente. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 29(2). P. 43–54.
6. Carvalho S. D., Folta K. M. 2014. Environmentally modified organisms – expanding genetic potential with light. *Critical Reviews in Plant Sciences*. Vol. 33(6). P. 486–508.
7. Duchovskis P., Brazaitytė A., Samuolienė G., Viršilė A., Miliauskienė J., Sakalauskienė S., Sirtautas R., Kasiulevičiūtė A. 2013. Augalų fiziologijos tyrimai agronominiams problemoms spręsti: apžvalga. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 32(3–4). P. 109–128.
8. Kasiulevičiūtė A. 2013. Šviesos spektro sudėties įtaka agurkų (*Cucumis sativus* L.) daigų augimui ir fotosintezės pigmentų kiekiui. *Sodininkystė ir Daržininkystė*. Vol. 32(1/2). P. 67–76.
9. Kuperman F. M., Rzhanova E. I. 1985. *Biologiya razvitiya kul'turnykh rasteniy*. Vyshaya shkola, Moskva. T. 1. 192 s.
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 Physiology*. Vol. 45(12). P. 1870–1874.
11. Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A. 2006. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Horticulturae*. Vol. 711. P. 291–296.
12. Novičkovas A., Brazaitytė A., Duchovskis P., Jankauskienė J., Samuolienė G., Viršilė A., Sirtautas R., Bliznikas Z., Zukauskas A. 2012. Solid-state lamps (LEDs) for the short-wavelength supplementary lighting in greenhouses: experimental results with cucumber. *Acta Horticulturae*. Vol. 927. P. 723–730.
13. Samuolienė G., Brazaitytė A., Duchovskis P., Viršilė A., Jankauskienė J., Sirtautas R., Novičkovas A., Sakalauskienė S., Sakalauskaitė J. 2012. Cultivation of vegetable transplants using solid-state lamps for the short-wavelength supplementary lighting in greenhouses. *Acta Horticulturae*. Vol. 952. P. 885–892.
14. Trouwborst G., Oosterkamp J., Hogewoning S. W., Harbinson J., Van Ieperen W. 2010. The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum*. Vol. 138(3). P. 289–300.
15. Olle M., Viršilė A. 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*. Vol. 22(2). P. 223–234.
16. Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Brazaitytė A., Jankauskienė J., Kurilčik A., Duchovskis P., Žukauskas A. 2008. Augalų fotofiziologiniai tyrimai aukštosios technologijoms. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 27(3) P. 253–261.
17. Wang H., Gu M., Cui J., Shi K., Zhou Y., Yu J. 2009. Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. Vol. 96(1) P. 30–37.
18. Wenke L. 2012. Light environmental management for artificial protected horticulture. *Agrotechnology*. Vol. 1. P. 101.
19. Wojciechowska R., Kołton A., Długosz-Grochowska O., Żupnik M., Grzesiak W. 2013. The effect of LED lighting on photosynthetic parameters and weight of lamb's lettuce (*Valerianella locusta*). *Folia Horticulturae*. Vol. 25(1). P. 41–47.

**Aistė Bagdonavičienė, Julė Jankauskienė,
Aušra Brazaitytė, Viktorija Vaštakaitė,
Pavelas Duchovskis**

INDUSTRIAL LIGHT-EMITTING DIODE LAMPS FOR GROWTH OF: (1) CUCUMBER TRANSPLANTS

Summary

Experiments were carried out in the phytotron chambers of the Plant Physiology Laboratory and the greenhouse of the seed-plot of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. The aim of this study was to select the photon flux density of new solid-state lighting lamps for cucumber transplants growing in the greenhouses and the phytotron chambers under controlled environment growth conditions. Cucumber hybrid 'Mandy' F1 was chosen for investigation. Solid-state lighting lamps containing 420–430 nm (violet), 460–470 nm (blue), 610–615 nm (orange), 620–630 nm and 660–670 nm (red), and blue 400–500 nm + green 500–600 nm + red 600–700 nm (white) light-emitting diodes (LEDs) were used in the experiments. The generated photosynthetic photon flux density (PPFD) of each type of solid-state modules was ~ 150 and $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Cucumber

transplants were grown in the greenhouse with a combination of natural light and LED light lamps. In the phytotron chambers only LED light lamps were used for cucumber transplants. As a reference group, transplants were grown under high-pressure sodium lamps (SON-T Agro), PPFD $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The lighting in the greenhouse and phytotron chambers has shown that irradiation of new LED lamps had a positive effect on the biometric and phytochemical parameters of cucumber transplants. Our investigations revealed that higher PPFD had a positive effect on the leaf area and fresh / dry weight of cucumber transplants. The cucumber transplants grown under the LED light lamps accumulated more chlorophyll in their leaves. The cucumber transplants grown under the SON-T Agro lamp were most developed in the greenhouse. They reached the stage of organogenesis VI–VII. In the phytotron chambers, most developed were the transplants grown under LED lamps, they reached the stage of organogenesis VI. LED PPFD $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ had the most positive impact on the photosynthetic rate in the greenhouse and phytotron chambers of cucumber transplants growing.

Key words: cucumber, transplants, photosynthetic pigments, photosynthetic rate, light-emitting diodes (LEDs), photosynthetic photon flux density, fresh and dry weight