

Pramoninių LED šviestuvų fotonų srauto tankio poveikis pomidorų daigams

Aistė Bagdonavičienė,

Aušra Brazaitytė,

Julė Jankauskienė,

Viktorija Vaštakaitė,

Pavelas Duchovskis

*Lietuvos agrarinių ir miškų
mokslų centras,*

Instituto al. 1,

LT-58344 Akademija, Kėdainių r.

El. paštas a.kasiuleviciute@lsmi.lt

2014 m. LAMMC Sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijoje atliktas tyrimas parenkant optimalų naujų puslaidininkinių lempų apšvietimo spektrą bei šviesos intensyvumo srautą siekiant išauginti kokybiškus pomidorų daigus ('Cunero' F₁). Tyrimo metu atlikti atskiri eksperimentai uždarose kontroliuojamo klimato kameroje (fitotrone) bei instituto daigyno šiltnamyje. Daigai apšviesti naujomis pramoninio naudojimo puslaidininkinėmis lempomis, sudarytomis 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 (LED). Eksperimentų metu palaikytas skirtingas fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) fotonų srauto tankis – ~150 ir ~250 μmol m⁻² s⁻¹. Nustatyta, kad pomidorų daigų apšvietimas naujais ir pramoniniam naudojimui pritaikytais LED šviestuvais turėjo teigiamos įtakos morfologiniams ir fitocheminiams rodikliams – stebėtas spartesnis augalų vystymasis bei pigmentų kaupimasis. Esant intensyvesnei LED spinduliuotei (~250 μmol m⁻² s⁻¹), pomidorų daigai gebėjo užauginti platesnius lapus, sukaupti daugiau žalios bei sausos masės. Apibendrinant abiejų eksperimentų rezultatus galima teigti, kad fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos turėjo ~150 μmol m⁻² s⁻¹ LED skleidžiama šviesa.

Raktažodžiai: pomidorai, daigai, fotosintezės pigmentai, šviesos intensyvumas, fotonų srauto tankis, LED

ĮVADAS

Šviesa yra gyvybiškai svarbus abiotinis aplinkos veiksnys, turintis įtakos augantiems augalams, jų vystymuisi (Lau, Deng, 2010), veikiantis augalą kaip vienintelis fotosintezės energijos šaltinis (Wenke, 2012). Šviesa kritiškai reguliuoja augimą, įvairius morfologinius ir fiziologinius pokyčius augaluose (Drozdova et al., 2001; Duchovskis ir kt., 2013; Olle, Viršile, 2013). Tinkamai parinkus dirbtinio apšvietimo spektrą, garantuojamas normalus pasirinkto augalo vystymasis ir augimas (Brazaitytė et al., 2010; Wenke, 2012; Brazaitytė, Kasiulevičiūtė, 2013; Duchovskis ir kt., 2013; Jankauskienė, Kasiulevičiūtė, 2013; Jankauskienė et al., 2013; Olle, Viršile, 2013; Sirtautas ir kt., 2014). Parinktas dirbtinis apšvietimas leidžia auginti daržoves ištikus metus (nepriklausomai nuo oro sąlygų ar metų laiko). Šiltnamių daržininkystėje

reikalinga aplinkai draugiška technologija, kuri prisitaikytų prie didėjančių visuomenės maistinių ir energijos taupymo poreikių (Pinho et al., 2012), todėl siekiama kaitrines lempas pakeisti taupesniais – kietakūniais šviesos šaltiniais (Hemming, 2011). Kietakūnis apšvietimas pagrįstas funkcionalia, energetiškai efektyvia, aplinkai draugiška šviesą emituojančių diodų (*Light emitting diodes*, LED) technologija. Kietakūniais šviesos šaltiniais optimizuojamos apšvietimo sąlygos ir įvertinami ekonominiai aspektai, tai lemia produkcijos kaštus (Žukauskas, Duchovskis, 2009; Kubota et al., 2012; Mitchell et al., 2012).

Tinkamas puslaidininkinių lempų spektro ir fotonų srauto tankio parinkimas turi svarbią reikšmę auginant daigus ir lemia augalų produktyvumą bei vaisių kokybę. Šiuo tyrimu siekiama įdiegti naujas pramoninio naudojimo puslaidininkines lempas į esamas pomidorų daigų auginimo technologijas.

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

METODAI IR SĄLYGOS

Eksperimentai atlikti 2014 m. LAMMC Sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotrono kameroje ir daigyno šiltnamyje, dengtame dviguba polimerine plėvele. Tyrimams parinkti ankstyvieji pomidorai 'Cunero' F₁. Išsamiau metodai ir sąlygos aprašyti A. Bagdonavičienės ir kt. straipsnyje „Pramoninių LED šviestuvų fotonų srauto tankio poveikis agurkų daigams“ (*Žemės ūkio mokslai*. 2015. T. 22. Nr. 1. P. 1–7).

Sąlygos. Daigai auginti polimeriniuose puodeliuose, daiginimui tinkamame durpių substrate (nurūgštintas, su trąšomis PG MIX (NPK 14-16-18; 1,3 kg/m³)). Pagrindiniam augalų apšvietimui taikytos 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 šviesą emituojančių diodų (LED). Siekiant įvertinti šių lempų fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) fotonų srauto tankio įtaką daigų vystymuisi ir augimui, augalai auginti po 150 ir 250 μmol m⁻² s⁻¹ LED šviesos intensyvumu. Atliekant eksperimentus šiltnamyje papildomai daigams apšviesti naudotos aukšto slėgio natrio lempos (HPS) (SON-T Agro) (Philips) (150 μmol m⁻² s⁻¹) natūralios šviesos fone. Fitotrone papildomas ir dienos apšvietimas buvo eliminuotas. Abiejų eksperimentų metu palyginamieji (kontroliniai) pomidorų daigai auginti apšviečiant HPS lempomis (fitotrone) bei jomis papildant dienos šviesą (šiltnamyje) (1 lentelė), palaikytas 16 val. fotoperiodas. Pomidorų daigų bio-

metriniai matavimai ir fitocheminė analizė atlikta po 25 dienų (šiltnamyje) bei 30 dienų (fitotrone).

Tyrimo metodai. Vertinant augalų augimo dinamiką, matuotas hipokotilio ilgis ir skersmuo, tarpubamblių ilgis, visas augalo aukštis. Žalia bei sausa masė nustatoma gravimetrijos metodu naudojant elektronines analitines svarstyklas (AG64, MettlerToledo, JAV). Sausa žaliava ruošama augalus džiovinant 105 °C temperatūroje (24 val.) iki nekintamos masės džiovavimo spintoje (Venticell, MBT, Čekija). Augalų lapų plotas matuotas WinDias matuokliu (Delta-T Devices Ltd, UK). Chlorofilų indeksas lapuose nustatytas Dualex4 matuokliu (Force-A, Orsay, France). Organogenezės etapas augale įvertintas pagal F. Kuperman (Kuperman, Rzhanova, 1985) metodiką. Fotosintezės intensyvumas daigų lapuose matuotas nešiojamąja fotosintezės sistema LI-6400XT (LI-COR, USA).

Biometrinių ir pigmentų (chlorofilų) rodikliai nustatyti iš dešimties augalų biologinių pakartojimų (n = 10). Fotosintezės intensyvumas matuotas paėmus po 3 kiekvieno tiriamojo apšvietimo derinio augalus, 15 min. (n = 3).

Skaičiuojant analizių metu gautų duomenų vidurkio, standartinių nuokrypių ir paklaidų variacijos koeficientus naudotas MS Excel programinis paketas. Duomenų statistinė analizė atlikta STATISTICA7 programa naudojant vieno veiksnio ANOVA dispersinę analizę. Tiriamų variantų pakartojimų vidurkių esminiai skirtumai įvertinti esant 95 % tikimybės lygiui (P ≤ 0,05 ir P ≤ 0,01).

REZULTATAI

Šiltnamis. Nustatytas teigiamas naujų puslaidininkinių lempų fotonų srauto tankio poveikis auginant pomidorų daigus. Daigai, auginti po LED lempomis, buvo aukštesni, storesniais stiebais, bet neištįsę (2 lentelė). Daigų, augusių po

1 lentelė. Eksperimentų metu taikyto apšvietimo derinių srautai

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

Variantas Treatment	FAS fotonų srauto tankis μmol m ⁻² s ⁻¹ Photosynthetic photon flux density, μmol m ⁻² s ⁻¹			Fotoperiodas val. Photoperiod, h
	SON-T Agro	LED	LED	
Šiltnamis Greenhouse	150 + dienos šviesa Daylight	150 + dienos šviesa Daylight	250 + dienos šviesa Daylight	16
Fitotronas Phytotron	150	150	250	

2 lentelė. Biometriniai pomidorų daigų rodikliai šiltnamyje esant skirtingiems apšvietimo deriniams

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

Biometriniai rodikliai <i>Biometric parameters</i>	Apšvietimo derinys šiltnamyje <i>Combination of lighting in greenhouse</i>		
	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 ilgis cm <i>Hypocotyl length, cm</i>	3,56 ± 0,251	3,02 ± 0,409*	2,52 ± 0,327**
Hipokotilio skersmuo cm <i>Hypocotyl diameter, cm</i>	0,40 ± 0,019	0,52 ± 0,033**	0,57 ± 0,030**
Antžeminis augalo dalies aukštis cm <i>Height, cm</i>	19,30 ± 4,029	21,48 ± 2,345	20,14 ± 0,835
Lapų skaičius vnt. <i>Leaf number, units</i>	6,38 ± 0,130	6,40 ± 0,212	6,44 ± 0,195
Lapų plotas cm ² <i>Leaf area, cm²</i>	544,20 ± 43,891	477,47 ± 43,479*	464,44 ± 20,587**
Antžeminė augalo dalies žalia masė g <i>Fresh weight, g</i>	22,59 ± 1,238	14,29 ± 2,022	22,27 ± 1,435
Antžeminė augalo dalies sausa masė g <i>Dry weight, g</i>	2,49 ± 0,140	1,59 ± 0,283	2,55 ± 0,273
Šaknų žalia masė g <i>Root fresh weight, g</i>	5,48 ± 0,339	4,80 ± 0,822	5,86 ± 0,893
Šaknų sausa masė g <i>Root dry weight, g</i>	0,41 ± 0,034	0,33 ± 0,084	0,42 ± 0,072

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

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

~250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimu, hipokotilis buvo trumpiausias, o skersmuo – didžiausias. Tirtas skirtingas apšvietimas lapų skaičiui įtakos neturėjo. Augalų lapų plotas, žalia ir sausa masė buvo didžiausia daigų, augintų po SON-T Agro lempomis, o mažiausia daigų, augintų apšvietus ~150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED (2 lentelė). Labiau išsivystę buvo pomidorų daigai, augę po LED lempomis. Jie pasiekė VIII organogenezės etapą, o po SON-T Agro lempomis dar buvo augalų VII organogenezės etape. Skirtingas apšvietimas neturėjo įtakos žiedų skaičiui (3 lentelė). Didžiau-

sias chlorofilų indeksas buvo daigų, augintų po SON-T Agro ir po ~250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimo lempomis, lapuose (1 pav.). Fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos turėjo ~150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimas, tačiau SON-T Agro lempų šviesa ją slopino (2 pav.).

Fitotronas. Priklausomai nuo apšvietimo derinio ir skirtingo FAS, srauto pomidorų daigų antžeminė dalis vystėsi skirtingai. Nustatyta, kad aukščiausi pomidorų daigai fitotrone užaugo po ~150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimu, o žemiausi – po SON-T Agro lempomis, tačiau gauti

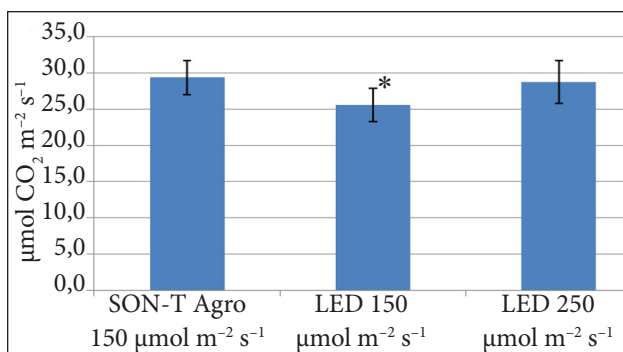
3 lentelė. Pomidorų daigų žiedynų išsivystymas šiltnamyje esant skirtingiems apšvietimo deriniams

Table 3. Development of tomato transplants apices in greenhouse under different lighting combinations

Apšvietimo derinys šiltnamyje <i>Combination of lighting in greenhouse</i>	Etapas <i>Stage</i>	Augimo kūgelio aukštis mm <i>Height of apex, mm</i>	Žiedų skaičius vnt. <i>Number of flowers, units</i>
SON-T Agro 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VII–VIII	0,84 ± 0,144	6,60 ± 0,548
LED 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VIII	0,86 ± 0,093	6,20 ± 0,447
LED 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VIII	1,08 ± 0,101*	6,80 ± 0,837

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

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

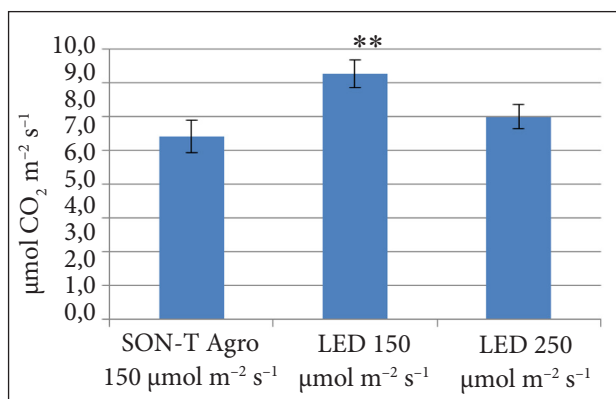


1 pav. Pomidorų daigų chlorofilų indeksas (šiltnamiais)
Fig. 1. Chlorophyll index in leaves of tomato transplants (greenhouse)

* patikimumas, kai $P \leq 0,05$;

* significant at $P \leq 0.05$.

skirtumai neesminiai (4 lentelė). Po SON-T Agro lempomis augusių daigų hipokotilis buvo ištišęs, jo skersmuo – mažiausias. Daigai, auginti po LED lempomis, kur palaikytas $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautas, buvo storiausiais stiebais, neištišę ir užauginę daugiausia žalios ir sausos masės (4 lentelė). Geriausia išsivystę buvo pomidorų daigai, ap-



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

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

** patikimumas, kai $P \leq 0,01$;

** significant at $P \leq 0.01$.

šviesti $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED. Jie buvo pasiekę VII organogenezės etapą ir suformavę daugiausia žiedų (5 lentelė). Didžiausias chlorofilų indeksas nustatytas daigų lapuose, augintuose po

4 lentelė. Biometriniai pomidorų daigų rodikliai fitotrone esant skirtingiems apšvietimo deriniams

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

Biometriniai rodikliai Biometric parameters	Apšvietimo derinys fitotrone Combination of lighting in phytotron		
	SON-T Agro $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	LED $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	LED $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Hipokotilio ilgis cm Hypocotyl length, cm	$4,86 \pm 0,251$	$3,58 \pm 0,363^{**}$	$2,58 \pm 0,295^{**}$
Hipokotilio skersmuo cm Hypocotyl diameter, cm	$0,40 \pm 0,055$	$0,50 \pm 0,000^{**}$	$0,52 \pm 0,045^{**}$
Antžeminis augalo dalies aukštis cm Height, cm	$16,48 \pm 1,248$	$17,12 \pm 1,101$	$16,74 \pm 0,862$
Lapų skaičius vnt. Leaf number, units	$6,40 \pm 0,742$	$6,90 \pm 0,548$	$7,30 \pm 0,447$
Lapų plotas cm^2 Leaf area, cm^2	$321,62 \pm 38,616$	$400,25 \pm 33,341^*$	$347,40 \pm 36,3472$
Antžeminė augalo dalies žalia masė g Fresh weight, g	$10,42 \pm 1,345$	$13,49 \pm 1,621^*$	$13,97 \pm 1,177^*$
Antžeminė augalo dalies sausa masė g Dry weight, g	$1,03 \pm 0,179$	$1,26 \pm 0,206$	$1,82 \pm 0,137^{**}$
Šaknų žalia masė g Root fresh weight, g	$2,22 \pm 0,657$	$2,23 \pm 0,369$	$4,10 \pm 1,029^*$
Šaknų sausa masė g Root dry weight, g	$0,14 \pm 0,035$	$0,16 \pm 0,029$	$0,29 \pm 0,019^{**}$

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

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

5 lentelė. Pomidorų daigų žiedynų išsivystymas fitotrone esant skirtingiems apšvietimo deriniams

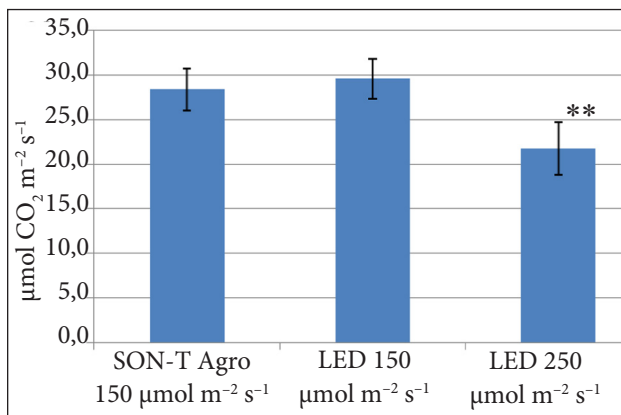
Table 5. Development of tomato transplants apices in phytotron under different lighting combinations

Apšvietimo derinys fitotrone <i>Combination of lighting in phytotron</i>	Etapas <i>Stage</i>	Augimo kūgelio aukštis mm <i>Height of apex, mm</i>	Žiedų skaičius vnt. <i>Number of flowers, units</i>
SON-T Agro 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VI	0,45 \pm 0,056	4,60 \pm 0,548
LED 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VI-VII	0,60 \pm 0,100*	5,40 \pm 0,447*
LED 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	VII	0,68 \pm 0,031**	6,40 \pm 0,447**

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

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

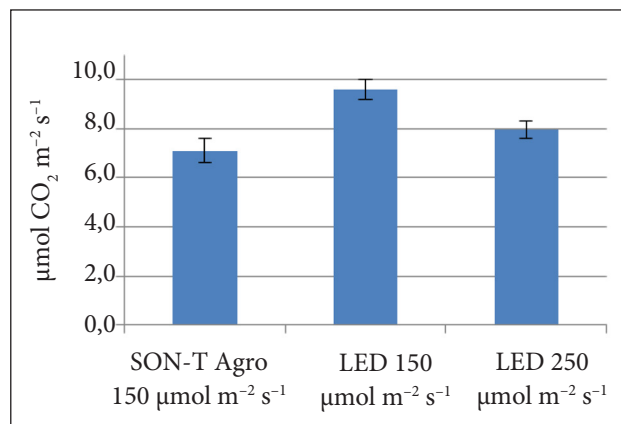
SON-T Agro ir LED lempomis, kur palaikytas $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautas (3 pav.). Fotosintezės intensyvumui patikimai didžiausios įtakos turėjo $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED apšvietimas, tačiau SON-T Agro apšvietimas ją slopino (4 pav.).



3 pav. Pomidorų daigų chlorofilų indeksas (fitotronas)

Fig. 3. Chlorophyll index in leaves of tomato transplants (phytotron)

** patikimumas, kai $P \leq 0,01$; ** significant at $P \leq 0.01$.



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

Fig. 4. Photosynthesis rate in leaves of tomato seedlings, $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (phytotron)

** patikimumas, kai $P \leq 0,01$; ** significant at $P \leq 0.01$.

APTARIMAS

Raudona ir mėlyna šviesa yra pagrindinės šviesos spektro sudedamosios dalys, tinkamiausios pomidorų daigams auginti (Wenke, 2012). Šiame eksperimente tiriamos naujos pramoninės lempos, kuriose raudona šviesa sudaro 66 %, o mėlyna – 13 % bendros fotonų srauto tankio dalies. Raudona šviesa svarbi fotomorfogenezės procesams augaluose vykti, skatina augimą bei vystymąsi, reguliuoja hipokotilio aukštį ir skersmenį, didina sausų medžiagų kiekį antžeminėje augalo dalyje, didina lapų skaičių ir plotą (Drozdova et al., 2001; Hernández, Kubota, 2012; Olle, Viršile, 2013). Mėlyni šviesą emituojantys diodai mažina augalų tįsimą ir didina sausų medžiagų kiekį antžeminėje dalyje, skatina asimiliatų perdavimą į kaupiančiuosius organus (Drozdova et al., 2001; Urbonavičiūtė et al., 2008; Olle, Viršile, 2013). Tai patvirtina ir mūsų atlikti tyrimai su puslaidininkinėmis lempomis šiltnamyje ir fitotrone, kur daigų švitinimas šviesą emituojančiais diodais turėjo teigiamos įtakos lapų plotui, žalios ir sausos masės kaupimui (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 užauginti plačius lapus, antžeminėje dalyje sukaupti daugiau žalios ir sausos masės bei išvystyti gerą šaknų sistemą.

Mūsų tirtų pramoninių LED lempų raudonų ir mėlynų spektro komponentų santykį sudarė 5:1. Literatūroje nurodoma, kad raudonos šviesos papildymas mėlyna šviesa santykiu 5:1 skatina sausų medžiagų kaupimąsi pomidoruose (Deram ir kt., 2014) ir vaidina svarbų vaidmenį fotomorfogenezėje (Leperent ir kt., 2012; Duchovskis ir kt., 2013; Olle, Viršilė, 2013). Kitų autorių atlikti tyrimai su pomidorais parodė, kad švitinant

raudonais ir mėlynais šviesą emituojančiais diodais kokybiškiems daigams užauginti pakanka vien tik raudonos šviesos (Hernández, Kubota, 2012). Raudona su mėlyna ir raudona su balta šviesa skatino žalios masės kaupimą, didino fotosintezės pigmentų kiekį salotose (Wojciechowska et al., 2013). X. Y. Liu ir kitų autorių (2011) atlikti bandymai atskleidė, kad augalai, auginti švitinant raudonais ir mėlynais LED, buvo stipresni ir žemesni negu daigai, auginti su įprastinėmis aukšto slėgio natrio lempomis. A. Brazaitytės ir kitų autorių duomenimis (2009), su mėlyna, raudona, tolimąja rauda ir oranžine šviesa galima pagreitinti pomidorų daigų auginimą iki techninės brandos ir taip sumažinti energijos sąnaudas. Raudona, mėlyna, oranžinė ir balta spalva skatina lapų ploto didėjimą, biomasės kaupimą, stimuliuoja antžeminės dalies augimą (Wang et al., 2009; Carvalho, Folta, 2014).

Atliktas tyrimas su skirtingais šviestukų deriniais (380, 447, 520, 595, 622, 638, 660, 669, 731 nm) šiltnamyje parodė, kad daigai pasiekė VIII organogenezės etapą, palyginti su daigais, augintais po SON-T Agro lempomis (VII organogenezės etapas) (Brazaitytė et al., 2009). Mūsų tirtose lempose buvo tokių spektro komponentų. Tyrimo rezultatai parodė, kad labiausia išsivystė daigai, augę po naujomis puslaidininkinėmis lempomis kartu su dienos šviesa, šiltnamyje augę daigai pasiekė VIII organogenezės etapą (3 lentelė), o fitotrone – VII organogenezės etapą (5 lentelė).

Šiltnamyje ir fitotrone tirtos puslaidininkinės lempos šviesa skatino chlorofilų kaupimą daigų lapuose, tai užtikrina normalų fotosintezės procesą bei derliaus formavimą (1, 3 pav.). Raudona šviesa skatina chlorofilo *b* sintezę, ji svarbi fotomorfogenesės procesams augaluose, skatina augimą bei vystymąsi (Drozdova et al., 2001; Samuoliene et al., 2011; Hernández, Kubota, 2012; Olle, Viršilė, 2013). Mėlyni šviesą emituojantys diodai skatina žiotelių atsidarymą, didina fotosintezės intensyvumą bei chlorofilo *a* sintezę (Drozdova et al., 2001; Menard et al., 2006; Urbonavičiūtė et al., 2008; Olle, Viršilė, 2013). Kitų autorių duomenimis, raudona su mėlyna ir raudona su balta šviesa skatina fotosintezės pigmentų kaupimą augale (Wojciechowska et al., 2013). Mūsų tyrimo duomenimis, fotosintezės intensyvumui didžiausios teigiamos įtakos tu-

rėjo FAS $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ švitinimas šviesą emituojančiais diodais tiek šiltnamyje, tiek fitotrone (2, 4 pav.). Raudonos šviesos papildymas mėlyna skatina fotosintezės pigmentų sintezę, didina jų kiekį ir užtikrina normalų fotosintezės intensyvumą pomidorų daiguose (Liu et al., 2011), stimuliuoja žiotelių varstymąsi, didina fotosintezės intensyvumą ir vaidina svarbų vaidmenį fotomorfogenezeje (Menard et al., 2006; Trouwborst et al., 2010). Daugiausia fotosintezės pigmentų sukaupti daigai, auginti po raudona ir mėlyna šviesa, teigiamos įtakos turėjo 380 nm UV ir 595 nm oranžinės spalvos priedas. Papildoma geltona šviesa, naudota pomidorų daigams apšviesti, mažino bendrą pomidorų derlių (Brazaitytė et al., 2009). Atlikti tyrimai su balta (420–680 nm), mėlyna (460 nm), raudona (635 nm), žalia (520 nm) LED šviesa parodė, kad mėlyna šviesa, veikdama per mėlynos spalvos fotoreceptorius kriptochromus ir fototropinus, užprogramuoja ir vykdo fototropizmą augale, reguliuoja lapų žiotelių varstymąsi, chloroplastų padėtį ląstelėje ir efektyviai apsaugo pomidorų daigus nuo patogenų (Kim et al., 2013).

IŠVADOS

1. Pomidorų daigams apšviesti šiltnamiuose puslaidininkinėmis lempomis suminis fotonų srauto tankis turi būti ne mažesnis kaip $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.
2. Auginant pomidorų daigus fitotrone ir šiltnamyje, esant $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED spinduliuotei, augalai užauga aukšti ir tvirti, sukaupia daugiau žalios ir sausos masės, susiformuoja stipri šaknų sistema, daigai greičiau vystosi. Tirtas pramoninių puslaidininkinių lempų modelis užtikrina reikiamus parametrus ir yra pranašesnis už įprastines aukšto slėgio natrio lempas.

Gauta 2014 11 24
Priimta 2015 06 17

LITERATŪRA

1. Brazaitytė A., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Samuoliene G., Jankauskienė J., Kazėnas V., Kasiulevičiūtė-Bonakėrė A., Bliznikas Z., Novičkovas A., Breivė K., Žukauskas A. 2009. After-effect of light-emitting diodes lighting on tomato growth and yield in greenhouse. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 28(1). P. 115–126.

2. Brazaitytė A., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Jankauskienė J., Sakalauskaitė J., Šabajevienė G., Sirtautas R., Novičkovas A. 2010. The effect of light-emitting diodes lighting of tomato transplants. *Žemdirbystė-Agriculture*. Vol. 97(2). P. 89–98.
3. Brazaitytė A., Kasiulevičiūtė A. 2013. The effects of HPS lamp supplementation with blue light-emitting diodes on the growth of two tomato hybrid transplants. *Rural Development 2013*. Vol. 6(2). P. 49–53.
4. 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.
5. Deram P., Lefsrud M. G., Orsat V. 2014. Supplemental lighting orientation and red-to-blue ratio of light-emitting diodes for greenhouse tomato production. *HortScience*. Vol. 49(4). P. 448–452.
6. Drozdova I. S., Bondar V. V., Bukhov N. G., Kotov A. A., Kotova L. M., Maevskaya S. N., Mokronosov A. T. 2001. Effects of light spectral quality on morphogenesis and source–sink relations in radish plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. Vol. 48(4). P. 415–420.
7. Duchovskis P., Brazaitytė A., Samuolienė G., Viršilė A., Miliauskienė J., Sakalauskienė S., Sirtautas R., Kasiulevičiūtė A. 2013. Augalų fiziologijos tyrimai agronominėms problemoms spręsti: apžvalga. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 32(3–4). P. 109–128.
8. Fageria N. K., Baligar V. C., Clark R. B. 2006. *Physiology of Crop Production*. New York: Food Products Press. P. 61–184.
9. Hernández R., Kubota C. 2012. Tomato Seedling Growth and Morphological Responses to Supplemental LED Lighting Red: Blue Ratios Under Varied Daily Solar Light Integrals. *Proceedings of the VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*. Vol. 956. P. 187–194.
10. Hemming S. 2011. Use of natural and artificial light in horticulture – interaction of plant and technology. *Acta Horticulturae*. Vol. 907. P. 25–35.
11. Jankauskienė J., Brazaitytė A., Bobinas Č., Duchovskis P. 2013. Effect of transplant growth stage on tomato productivity. *Acta Scientiarum Polonorum: Hortorum Cultus*. Vol. 12(2). P. 143–152.
12. Jankauskienė J., Kasiulevičiūtė A. 2013. The Comparison of Supplemental Blue and Green Light Effects on Two Cucumber Hybrid Transplants Grown Under HPS Lighting in Greenhouse. *Rural Development 2013: The Sixth International Scientific Conference Proceedings*. Vol. 6(2). P. 111–114.
13. Kim K., Kook H. S., Jang Y. J., Lee W. H., Kamalakannan S., Chae J. C., Lee K. J. 2013. The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. Vol. 4. P. 203.
14. 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.
15. Kubota C., Chia P., Yang Z., Li Q. 2012. Applications of far-red light emitting diodes in plant production under controlled environments. *Acta Horticulturae*. Vol. 952. P. 59–66.
16. Kuperman F. M., Rzhanova E. I. 1985. *Biologiya razvitiya kul'turnykh rasteniy*. Vyshaya shkola, Moskva. T. 1. 192 s.
17. Leperent W., Savvides A., Fanourakis D. 2012. Red and Blue Light Effects during Growth on Hydraulic and Stomatal Conductance in Leaves of Young Tomato Plants. *Proceedings of the VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*. Vol. 956. P. 223–230.
18. Lau O. S., Deng X. W. 2010. Plant hormone signaling lightens up: integrators of light and hormones. *Current Opinion in Plant Biology*. Vol. 13(5). P. 571–577.
19. Liu X. Y., Chang T. T., Guo S. R., Xu Z. G., Li J. 2011. Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling. *Acta Horticulturae*. Vol. 907. P. 325–330.
20. 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.
21. Mitchell C. A. 2012. Plant lighting in controlled environments for space and earth applications. *Acta Horticulturae*. Vol. 956. P. 23–36.
22. 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.
23. Pinho P., Jokinen K., Halonen L. 2012. Horticultural lighting – present and future challenges. *Lighting Research and Technology*. Vol. 44(4). P. 427–437.
24. Samuolienė G., Brazaitytė A., Duchovskis P., Viršilė A., Jankauskienė J., Sirtautas R., Novičkovas A., Sakalauskienė S., Sakalauskaitė J. 2011. Cultivation of Vegetable Transplants Using Solid-State Lamps for the Short-Wavelength Supplementary Lighting in Greenhouses. *Proceedings of the International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys*. Vol. 952. P. 885–892.
25. Sirtautas R., Viršilė A., Samuolienė G., Samuolienė G., Brazaitytė A., Miliauskienė J., Sakalauskienė S., Duchovskis P. 2014. Growing of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) under high-pressure

- sodium lamps with supplemental blue, cyan and green LEDs. *Žemdirbystė–Agriculture*. Vol. 101(1). P. 75–78.
26. 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.
 27. 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.
 28. Žukauskas A., Duchovskis P. 2009. *Phosphor Conversion Light-emitting Diode for Meeting Photomorphogenetic Needs of Plants*. European Patent Application EP2356702.
 29. 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.
 30. Wenke L. 2012. Light environmental management for artificial protected horticulture. *Agrotechnology*. Vol. 1. P. 101.
 31. 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, Aušra Brazaitytė, Julė Jankauskienė, Viktorija Vaštakaitė, Pavelas Duchovskis

INDUSTRIAL LIGHT-EMITTING DIODE LAMPS FOR GROWTH OF TOMATO 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 tomato transplants growing in the greenhouses and the phytotron chambers under controlled environment growth conditions. Tomato hybrid 'Cunero' 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 ~250 μmol m⁻² s⁻¹. Tomato 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 tomato transplants. As a reference group, transplants were grown under high-pressure sodium lamps (SON-T Agro), PPFD ~150 μmol m⁻² 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 tomato transplants. Our investigations revealed that LED light and higher PPFD had positive effects on the hypocotyl diameter, leaf area and fresh/dry weight of tomato transplants. The tomato transplants grown under the LED lamp were most developed. In the greenhouse they reached the stage of organogenesis VIII, in the phytotron chambers they reached the stage of organogenesis VII. LED PPFD ~150 μmol m⁻² s⁻¹ had the most positive impact on the photosynthetic rate in the greenhouse and phytotron chambers of tomato transplants growing.

Key words: tomato, transplants, photosynthetic pigments, photosynthetic rate, photosynthetic photon flux density, light-emitting diodes (LEDs)