

# LED šviestuvų fotonų srauto tankio poveikis salotų ir daržovių daigų fotosintetiniams rodikliams

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*

Atliktas tyrimas siekiant parinkti optimalų naujų puslaidininkinių lempų apšvietimo spektrą bei fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) fotonų srauto tankį auginant kokybiškus agurkų, pomidorų daigus ir salotines daržoves, taip pat įvertinti jų produktyvumą ir fotosintetinius rodiklius. Nustatyta, kad dėl pramoninių šviesą emituojančių diodų (angl. LED) šviestuvų ir skirtingo fotonų srauto tankio poveikio šiltnamyje auginti agurkų ir pomidorų daigai, salotos, apšviestos LED kartu su dienos šviesa, turėjo geresnį grynąjį fotosintezės produktyvumą (GPF), santykinį augimo greitį (SAG) ir išlaikė tinkamą antžeminės dalies ir šaknų santykį (AŠS), palyginti su augalais, augintais po SON-T Agro lempomis natūralios dienos šviesos fone. Uždaroje kontroliuojamo klimato kameroje (fitotrone) auginti agurkų ir pomidorų daigai bei salotos, apšviestos LED šviesa, turėjo labai aukštą grynąjį fotosintezės produktyvumą (GPF), santykinį augimo greitį (SAG) ir išlaikė tinkamą antžeminės dalies ir šaknų santykį (AŠS). FAS 250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  pastebimai mažino lapų ploto santykį (LPS), specifinį lapų plotą (SLP) ir lapų masės santykį (LSS).

**Raktažodžiai:** fotosintetiniai rodikliai, fotonų srauto tankis, šviesą emituojantys diodai (LED)

## ĮVADAS

Ankstesnių tyrimų duomenimis, kai agurkų ir pomidorų daigai švitinti tomis pačiomis LED lempomis, nustatyta, kad, esant didesniam FAS, daigų lapų plotas yra didesnis, sukaupiama daugiau antžeminės žalios ir sausos masės, o šaknų sistema gerai išvystyta (Bagdonavičienė ir kt., 2015a; 2015b). Asimiliaciniai (fotosintetiniai) rodikliai išsamiau atskleidžia augaluose vykstančius procesus, tačiau jie nebuvo tirti. Nustatyta, kad esant nepalankiems aplinkos veiksniams, sutrinka augalų fiziologiniai procesai, dėl to vyksta produktyvumo elementų redukcija. Augalų produktyvumo tyrimai su ridikėliais parodė, kad drėgmės deficitas ir aukšta temperatūra mažino grynąjį fotosintezės produktyvumą. Augalas gyvybiniams procesams palaikyti sunaudojo daugiau energijos ir asimiliatų nei jų sukūrė vykstant fotosintezės procesui (Sakalauskiene ir kt., 2008).

Teigiama, kad raudona ir mėlyna šviesa yra pagrindinės apšvietimo spektro komponentės augi-

nant daržovių daigus (Wenke, 2012; Olle, Viršilė, 2013). Raudona šviesa svarbi fotomorfogenezės procesams augaluose, skatina augimą ir vystymąsi, reguliuoja hipokotilio aukštį ir skersmenį, didina sausųjų medžiagų kiekį antžeminėje augalo dalyje, lapų skaičių ir plotą (Drozdova et al., 2001; Samuoliene et al., 2011; Hernández, Kubota, 2012; Fan et al., 2013; Olle, Viršilė, 2013). Mėlyna šviesa mažina augalų tįsimą ir didina sausųjų medžiagų kiekį antžeminėje dalyje, skatina asimiliatų perdavimą į kaupiančiuosius organus, žiotelių atsidarymą, didina fotosintezės intensyvumą bei skatina chlorofilo a sintezę (Drozdova et al., 2001; Menard et al., 2006; Urbonavičiūtė et al., 2008; Olle, Viršilė, 2013). Raudona su mėlyna šviesa ir raudona su balta skatina fotosintezės pigmentų kaupimą ir sintezę augale (Liu et al., 2011; Wojciechowska et al., 2013). Tai patvirtino ir mūsų atlikti tyrimai su puslaidininkėmis lempomis šiltnamyje ir fitotrone, kur daigų švitinimas LED turėjo teigiamos įtakos lapų plotui, žalios ir sausos masės kaupimui (Bagdonavičienė ir kt., 2015a; 2015b).

Puslaidininkinių lempų apšvietimo spektro ir fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) fotonų srauto tankio įtaka daržovių daigų fotosintetiniams rodikliams nėra plačiai tyrinėjama (Heuvelink, 2005; Fan et al., 2013). Šviesos intensyvumas ir spektras – svarbus veiksnys fotosintetiniams rodikliams, lemiantis daržovių daigų augimą (Fan et al., 2013). Nustatyta, kada aukštas FAS daržovių daiguose didina grynąjį fotosintezės produktyvumą (GPF), santykinį augimo greitį (SAG), lapų ploto santykį (LPS) ir antžeminės dalies bei šaknų santykį (AŠS) (Bagdonavičienė ir kt., 2015c).

Darbo tikslas – įvertinti naujų pramoninių puslaidininkinių lempų fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) įtaką salotų ir daržovių daigų fotosintetiniams rodikliams šiltnamiuose ir kontroliuojamų veiksnių sąlygomis fitotrone.

## METODAI IR SĄLYGOS

Eksperimentai atlikti 2014 m. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotrono kameroje ir daigyno šiltnamyje, dengtame dviguba polimerine plėvele.

**Tyrimo objektai.** Paprastojo agurko (*Cucumis sativus* L.) hibridas ‘Mandy’, valgomąjo pomidoro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hibridas ‘Cunero’, mažosios žaliaalapės ‘Lettony’ ir raudonlapės ‘Redlo’ salotos (*Lactuca sativa* L.), žaliaalapės ‘Lollo Bionda’ ir raudonlapės ‘Lollo Rosa’ salotos.

**Sąlygos.** Daigai auginti polimeriniuose puodeliuose, daiginimui skirtame durpių substrate. Salotos augintos dėžėse, pripildytose daiginimui skirtu durpių substratu PROFI I (nurūgštintas, su trąšomis PG MIX (NPK 14-16-18; 1,3 kg/m<sup>3</sup>)).

Pagrindiniam augalų apšvietimui naudotos puslaidininkinės LED (angl. LED – *light emitting diode*) lempos. Siekiant įvertinti šių lempų fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) įtaką salotų ir

daržovių daigų fotosintetiniams rodikliams, augalai auginti po ~150 ir ~250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED šviesos intensyvumu. Dvi LED lempos sudarytos iš violetinės 420–430 nm (12 diodų), mėlynos 460–470 nm (24 diodai), oranžinės 610–615 nm (12 diodų), raudonos 620–630 nm (36 diodai) ir 660–670 nm (84 diodai), baltos (mėlyna 400–500 nm + žalia 500–600 nm + raudona 600–700 nm) (12 diodų) spalvos šviesą emituojančių diodų (angl. *light-emitting diode*, LED) palaikė ~150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Trys LED lempos palaikė ~250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ir buvo sudarytos iš violetinės 420–430 nm (24 diodai), mėlynos 460–470 nm (48 diodai), oranžinės 610–615 nm (24 diodai), raudonos 620–630 nm (72 diodai) ir 660–670 nm (168 diodai), baltos (mėlyna 400–500 nm + žalia 500–600 nm + raudona 600–700 nm) (24 diodai) spalvos šviesą emituojančių diodų. Šiltnamyje augalai papildomai švitinti aukšto slėgio natrio (angl. HPS – *high pressure sodium*) lempomis (SON-T Agro, Philips) natūralios dienos šviesos fone. Fitotrone papildomos aukšto slėgio natrio lempos ir dienos apšvietimas buvo eliminuoti. Abiejų eksperimentų metu palyginamieji augalai auginti apšviečiant SON-T Agro lempomis (fitotrone) bei jomis papildant dienos šviesą (šiltnamyje) (1 lentelė); palaikytas 16 val. fotoperiodas.

Šiltnamyje agurkų daigai auginti 25 dienas (balandžio mėn.), pomidorų daigai – 28 dienas (balandžio mėn.). Mažosios salotos augintos 25 dienas (balandžio mėn.). Po to ‘Lollo Bionda’ ir ‘Lollo Rosa’ salotų daigai (25 dienų amžiaus) pasodinti į dėžutes, pripildytas durpių substrato, ir auginti šiltnamyje iki gegužės mėn. (vegetacijos trukmė po sodinimo – 24 dienos).

Fitotrono kameroje agurkų ir pomidorų daigai auginti 30 dienų (gegužės mėn.). Mažosios salotos augintos 28 dienas (gegužės mėn.). Po to ‘Lollo Bionda’ ir ‘Lollo Rosa’ salotų daigai (25 dienų amžiaus) pasodinti į dėžes, pripildytas durpių substrato,

### 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 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Photosynthetic photon flux density, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			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	

ir auginti lauko sąlygomis iki birželio vidurio (vegetacijos trukmė po sodinimo – 25 dienos).

## TYRIMO METODAI

Vertinant augalų augimo dinamiką, eksperimentų pabaigoje augalų antžeminė ir požeminė žalia bei sausa masės nustatytos gravimetrijos metodu naudojant elektronines analitines svarstyklas (AG64, MettlerToledo, JAV). Sausoji žaliava ruošta augalus džiovinant 105 °C temperatūroje (24 val.) iki nekintamos masės džiovinimo spintoje (Venticell, MBT, Čekija). Augalų lapų plotas matuotas matuokliu „WinDias“ (Delta-T Devices Ltd, UK). Biometriniai rodikliai nustatyti iš dešimties ( $n = 10$ ) augalų biologinių pakartojimų.

Apskaičiuoti asimiliaciniai (fotosintetiniai) rodikliai:

*Grynasis fotosintezės produktyvumas* (GFP) apskaičiuojamas dalijant augalų sausos masės prieaugį per tam tikrą laikotarpį iš vidutinio lapų ploto per tą laikotarpį:

$$GFP = 2 (M_2 - M_1) / (L_1 + L_2) T; \quad (1)$$

$M_1$  ir  $M_2$  – sausos masės prieaugis (g) laikotarpio pradžioje ir pabaigoje;

$L_1$  ir  $L_2$  – lapų plotas ( $m^2$ ) laikotarpio pradžioje ir pabaigoje;

$T$  – laiko trukmė paromis (Bluzmanas ir kt., 1991).

*Santykinis augimo greitis* (SAG) apskaičiuotas pagal formulę:

$$SAG = \ln W_2 - \ln W_1 / t_2 - t_1; \quad (2)$$

$W_1$  ir  $W_2$  – sausa masė laikotarpio pradžioje ir pabaigoje;

$\ln$  – natūrinis logaritmas;

$t_1$  ir  $t_2$  – laikotarpio pradžia ir pabaiga paromis (Hunt et al., 2002).

*Lapų ploto santykis* (LPS) – augalo lapų plotas ( $cm_2$ ) yra padalinamas iš bendros sausos masės (g). Šis santykis apskaičiuotas pagal formulę:

$$LPS = ((s_2 - s_1)(\ln(W_2) - \ln(W_1))) / ((W_2 - W_1)(\ln(s_2) - \ln(s_1))); \quad (3)$$

$s_1$  ir  $s_2$  – lapų plotas laikotarpio pradžioje ir pabaigoje;

$\ln$  – natūrinis logaritmas;

$W_1$  ir  $W_2$  – sausa masė laikotarpio pradžioje ir pabaigoje.

*Specifinis lapų plotas* (SLP) – lapų ploto ( $m_2$ ) ir augalo sausos lapų masės (kg) santykis;

*Lapų masės santykis* (LSS) – bendros lapų masės (g) ir bendros augalo masės (g) santykis;

*Antžeminės dalies : šaknų santykis* (AŠS) – daigų ir šaknų santykis.

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. Tiriamųjų variantų pakartojimų vidurkių esminiai skirtumai įvertinti esant 95 ir 99 % tikimybės lygiui ( $P \leq 0,05$  ir  $P \leq 0,01$ ).

## REZULTATAI

Tirtuosiuose agurkų daiguose didžiausias antžeminės dalies ir šaknų santykis (AŠS) buvo augalus švitinant LED 250  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$  šviesa. Šiltnamyje augintų agurkų daigų AŠS buvo didesnis 12 %, o fitotrone – 4 %, palyginti su daigais, augintais tik po SON-T Agro  $\sim 150 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  apšvietimu. Tai lėmė aukštą grynąjį fotosintezės produktyvumą (GFP), kuris fitotrono kameroje buvo net 26 % didesnis, santykinį augimo greitį (SAG), kuris fitotrono kameroje buvo net 12 %, o šiltnamyje 65 % didesnis, palyginti su daigų, augintų po SON-T Agro lempomis, tačiau šių daigų lapų ploto (LPS) ir specifinio lapų ploto (SLP) santykis buvo mažesni (2, 3 lentelė).

Šiltnamyje pomidorų daigai auginti po SON-T Agro  $\sim 150 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  apšvietimu ir po intensyviu LED 250  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$  apšvietimu, turėjo vienodą lapų masės santykį (LSS), antžeminės dalies ir šaknų santykį (AŠS) bei santykinį augimo greitį (SAG) (2 lentelė). Tai lėmė 19 % aukštesnį GFP, 15 % mažesnį LPS ir 17 % mažesnį SLP pomidorų daiguose, augintuose po SON-T Agro  $\sim 150 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  apšvietimu (2 lentelė). Lyginant su kontroliniais augalais, fitotrone prie LED 250  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$  šviesos auginti pomidorų daigai turėjo 25 % mažesnį AŠS, tai lėmė 36 % didesnį GFP. Šių daigų LPS, SLP ir LSS buvo mažesni atitinkamai 32, 39 ir 3 % (3 lentelė).

Mažųjų salotų, augintų šiltnamyje po skirtingo intensyvumo LED apšvietimu kartu su dienos

šviesa, buvo aukštas grynasis fotosintezės produktyvumas (GFP). Ryškiausi skirtumai nustatyti raudonlapėse mažosiose ir paprastosiose salotose. Raudonlapių salotų 'Redlo', augintų po LED  $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  apšvietimu, GFP buvo net 162 % didesnis, po LED  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  – 75 % didesnis, tačiau lapų ploto santykis (LPS) atitinkamai 59 ir 40 % mažesnis, specifinis lapų plotas (SLP) atitinkamai 63 ir 44 % mažesnis (2 lentelė). Panašus LED poveikis buvo ir raudonlapėms 'Lollo Rosa' salotoms. Esant skirtingiems LED apšvietimo intensyvumams –  $\sim 150$  ir  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , GFP buvo 47 % didesnis, o LPS atitinkamai 27 ir 30 % bei SLP atitinkamai 30 ir 33 % mažesni. Žaliaalapėse mažosiose ir paprastosiose salotose asimiliacinių rodiklių skirtumas šiek tiek mažesnis negu raudonlapėse.

## APTARIMAS

Vienas iš rodiklių, rodančių optimalų naujų puslaidininkinių lempų apšvietimo spektrą ir šviesos intensyvumo srautą auginamiems daigams bei salotinėms daržovėms, yra fotosintetinio aparato darbas. Grynasis fotosintezės produktyvumas (GFP) yra vienas iš svarbiausių augimo parametrų. Šiuo rodikliu apibūdinamas asimiliacinių organų grynosios gamybos efektyvumas. Stebint grynajo fotosintezės produktyvumo dinamiką, galima laiku pamatyti technologinių elementų trūkumus arba pakeisti aplinkos parametrus, limituojančius efektyvią fotosintezę (Šlapakauskas, Duchovskis, 2008; Kasiulevičiūtė ir kt., 2013). Tyrimo duomenimis,  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED apšvietimo fotonų srauto tankis didino augalų grynąjį fotosintezės produktyvumą (2, 3 lentelė). Tai leidžia manyti apie kompensacinių mechanizmų veikimą augale. Gauti tyrimų rezultatai parodė, kad fitotrone ne tokia intensyvi  $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED šviesa veikė kaip šviesos deficitas ir mažino grynąjį fotosintezės produktyvumą (2, 3 lentelė). Todėl galima sutikti su kitų autorių nuomone, kad augalas biologiniam gyvybingumui palaikyti sunaudojo daugiau energijos ir asimiliatų nei jų sukūrė vykstant fotosintezės procesui (Samuoliene ir kt., 2009).

Šiltnamyje augintuose daržovių daiguose ir salotinėse daržovėse tirtas apšvietimo poveikis neturėjo įtakos santykiniam augimo greičiui (2, 3 lentelė). Tačiau uždaroje kontroliuojamo klimato kameroje (fitotrone) LED  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  šviesa didino daigų ir mažųjų salotų santykinį augimo greitį.

Gauti rezultatai rodo, kad daržovėse, augintose po skirtingu šviesą emituojančių diodų FAS, intensyvi LED  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  šviesa tiek šiltnamyje, tiek fitotrone slopino asimiliacinio ploto augimą (1, 2 lentelė). Kitų autorių darbuose nurodoma, kad raudona, mėlyna, oranžinė ir balta spalva skatina lapų ploto didėjimą (Wang et al., 2009; Carvalho, Folta, 2014). Agurkų ir pomidorų daigai, auginti po LED  $\sim 200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , turėjo didesnę specifinį lapų plotą (SLP) nei daigai, auginami apšviečiant didesniu FAS  $\sim 400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Bagdonavičienė ir kt., 2015c). Didinant FAS nuo 50 iki  $550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mažėja SLP (Fan et al., 2013).

Mūsų atlikti tyrimai rodo, kad skirtingas SON-T Agro ir LED apšvietimas turėjo didelės įtakos sausųjų medžiagų pasiskirstymui augale. Skirtingo intensyvumo LED šviesa žaliaalapėse ir raudonlapėse salotose sutrikdė asimiliatų patekimą į šaknis (2, 3 lentelė). Tokio pasiskirstymo rodiklis yra šaknų ir antžeminės dalies santykis (Sakalauskienė ir kt., 2008). Raudona, mėlyna, oranžinė ir balta spalva stimuliuoja antžeminės dalies augimą (Wang et al., 2009; Carvalho, Folta, 2014).

Didžiausias antžeminės dalies ir šaknų santykis buvo agurkų daigų, augintų po LED  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  šviesa. Tai lėmė aukštą grynąjį fotosintezės produktyvumą, santykinį augimo greitį, tačiau mažesnę lapų ploto, specifinio lapų ploto ir lapų masės santykį (2, 3 lentelė). Ryškesni fotosintetinių rodiklių skirtumai pastebėti uždaroje fitotrono kameroje, kur daigai buvo auginti be dienos šviesos (3 lentelė). R. Hernández ir C. Kubota (2015) teigimu, esant  $6,48 \text{ mol m}^{-2} \text{diena}^{-1}$  šviesos intensyvumui dėl sumažėjusio lapo ploto slopinama šviesos absorbcija, o tolimesnis šviesos intensyvumo mažėjimas sutrikdytų augalo augimą.

LED šviesos fotonų srauto tankis agurkų ir pomidorų daigus veikė skirtingai. Šiltnamyje šių daigų didžiausias antžeminės dalies ir šaknų santykis buvo auginant juos po LED  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , fitotrone – po LED  $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  šviesa. Šiltnamyje augintų pomidorų daigų didelis antžeminės dalies ir šaknų santykis lėmė aukštą grynąjį fotosintezės produktyvumą, santykinį augimo greitį, tačiau mažesnę lapų ploto, specifinio lapų ploto ir lapų masės santykį (2, 3 lentelė). Lyginant su kontroliniais augalais, fitotrone, apšvietus LED  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  šviesa, auginti pomidorų daigai turėjo mažesnę antžeminės dalies ir šaknų santykį, tai lėmė didesnę grynąjį fotosintezės produktyvumą, mažesnę lapų ploto ir



2 lentelė. Skirtingo apšvietimo poveikis salotų ir daržovių daigų asimiliaciniams (fotosintetiniams) rodikliams šiltnamyje  
 Table 2. Assimilation (photosynthetic) indicators of lettuce and vegetable transplants with different lighting combinations in greenhouse

Apšvietimo derinys šiltnamyje Combination of lighting in greenhouse	Agurkų daigai 'Mandy' F1 Cucumber transplants 'Mandy' F1	Pomidorų daigai 'Cunero' F1 Tomato transplants 'Cunero' F1	Mažosios salotos / Baby leaf lettuce		Salotos / Lettuce	
			žalialapės 'Lettony' Green 'Lettony'	raudonlapės 'Redlo' Red 'Redlo'	žalialapės 'Lollo Bionda' Green 'Lollo Bionda'	raudonlapės 'Lollo Rosa' Red 'Lollo Rosa'
<b>Grynasys fotosintezės produktyvumas (GFP) / Net assimilation rate (NAR), g/m<sup>2</sup></b>						
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,21 ± 0,03	0,26 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,15 ± 0,03
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,20 ± 0,03	0,19 ± 0,03	0,24 ± 0,04*	0,21 ± 0,03**	0,26 ± 0,04	0,22 ± 0,03*
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,21 ± 0,02	0,31 ± 0,06	0,14 ± 0,02	0,14 ± 0,02*	0,23 ± 0,03	0,22 ± 0,04*
<b>Santykinis augimo greitis (SAG) / Relative growth rate (RGR), g para<sup>-1</sup></b>						
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,22 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,23 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,02
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,23 ± 0,03	0,20 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01
<b>Lapų ploto santykis (LPS) / Leaf area ratio (LAR), cm<sup>2</sup>/g</b>						
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	122,64 ± 15,33	111,03 ± 12,41	143,87 ± 13,26	221,11 ± 16,78	160,86 ± 14,78	222,04 ± 17,86
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	125,43 ± 13,26	142,18 ± 15,01*	80,07 ± 11,23**	90,47 ± 10,89**	133,97 ± 13,56	161,87 ± 14,56**
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	122,65 ± 15,49	94,29 ± 12,89	123,12 ± 10,29	131,73 ± 14,54**	149,79 ± 13,50	156,42 ± 14,12**
<b>Specifinis lapų plotas (SLP) / Specific leaf area (SLA), m<sup>2</sup>/kg</b>						
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	241,90 ± 27,23	218,55 ± 21,91	386,82 ± 54,51	625,18 ± 97,69	438,32 ± 54,78	628,11 ± 50,71
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	245,72 ± 18,76	300,30 ± 45,02**	203,88 ± 22,86**	228,24 ± 31,11**	364,32 ± 39,86	438,69 ± 51,36**
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	237,52 ± 20,21	182,13 ± 19,46	333,75 ± 44,16	348,31 ± 38,81**	416,00 ± 56,00	422,21 ± 51,72**
<b>Lapų masės santykis (LSS) / Leaf weight ratio (LWR), g/g</b>						
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,87 ± 0,06	0,86 ± 0,06	N	N	0,88 ± 0,05	0,88 ± 0,06
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,87 ± 0,03	0,83 ± 0,05	N	N	0,76 ± 0,05*	0,88 ± 0,05
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,88 ± 0,06	0,86 ± 0,06	N	N	0,75 ± 0,05*	0,85 ± 0,06
<b>Antžeminės dalies : šaknų santykis (AŠS) / Shoot-root ratio (SRR), g/g</b>						
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	6,61 ± 2,20	6,07 ± 2,89	N	N	7,00 ± 2,87	7,00 ± 2,01
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	6,64 ± 2,23	4,82 ± 2,76	N	N	3,13 ± 2,74	7,25 ± 2,36
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	7,38 ± 2,18	6,07 ± 2,00	N	N	3,00 ± 1,89	5,80 ± 2,83

Pastaba / Note: \* patikimumas, kai P ≤ 0,05; \*\* patikimumas, kai P ≤ 0,01; N – nenustatyta / Significant at P ≤ 0,05; \*\* significant at P ≤ 0,01. N – no data.

3 lentelė. Skirtingo apšvietimo poveikis salotų ir daržovių daigų asimiliaciniams (fotosintetiniams) rodikliams fitotrone  
 Table 3. Assimilation (photosynthetic) indicators of lettuce and vegetable transplants with different lighting combinations in phytotron

Apšvietimo derinys šiltnamyje Combination of lighting in greenhouse	Agurkų daigai 'Mandy' FI Cucumber transplants 'Mandy' FI	Pomidorų daigai 'Cunero' FI Tomato transplants 'Cunero' FI	Mažosios salotos / Baby leaf lettuce			Salotos / Lettuce	
			žalialapės 'Green 'Lettony' 'Green 'Lettony'	raudonlapės 'Redlo' 'Red 'Redlo'	žalialapės 'Lollo Bionda' 'Green 'Lollo Bionda'	raudonlapės 'Lollo Rosa' 'Red 'Lollo Rosa'	
<b>Grynas fotosintezės produktyvumas (GFP) / Net assimilation rate (NAR), g/m<sup>2</sup></b>							
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,19 ± 0,03	0,19 ± 0,03	0,12 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,24 ± 0,03	0,15 ± 0,01	
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,15 ± 0,02	0,19 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,16 ± 0,03*	0,14 ± 0,02	
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,24 ± 0,04	0,31 ± 0,05**	0,30 ± 0,04**	0,17 ± 0,02**	0,39 ± 0,05**	0,32 ± 0,04**	
<b>Santykinis augimo greitis (SAG) / Relative growth rate (RGR), g para<sup>-1</sup></b>							
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,16 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,16 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,18 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,10 ± 0,01*	0,10 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	
<b>Lapų ploto santykis (LPS) / Leaf area ratio (LAR), cm<sup>2</sup>/g</b>							
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	143,37 ± 12,23	140,80 ± 13,20	119,03 ± 10,01	179,00 ± 13,87	121,46 ± 13,33	190,90 ± 14,20	
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	171,80 ± 14,52*	146,13 ± 11,01	129,58 ± 14,52	211,91 ± 14,55*	158,07 ± 14,07**	190,65 ± 13,93	
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	123,76 ± 12,85	95,53 ± 10,98**	67,39 ± 13,73**	107,24 ± 13,88**	86,27 ± 12,76**	106,11 ± 13,79**	
<b>Specifinis lapų plotas (SLP) / Specific leaf area (SLA), m<sup>2</sup>/kg</b>							
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	315,36 ± 45,75	312,25 ± 36,12	405,00 ± 98,78	643,88 ± 100,03	377,25 ± 43,78	617,77 ± 79,76	
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	386,80 ± 49,80	317,66 ± 47,02	423,00 ± 97,68	779,25 ± 99,86	543,33 ± 73,63**	645,90 ± 88,64	
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	251,63 ± 39,43	190,88 ± 21,11**	177,78 ± 23,15**	312,47 ± 44,87**	240,94 ± 24,25**	297,78 ± 31,25**	
<b>Lapų masės santykis (LSS) / Leaf weight ratio (LWR), g/g</b>							
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,89 ± 0,07	0,88 ± 0,06	N	N	0,86 ± 0,06	0,93 ± 0,06	
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,89 ± 0,07	0,89 ± 0,07	N	N	0,82 ± 0,04	0,91 ± 0,03	
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0,89 ± 0,08	0,85 ± 0,07	N	N	0,73 ± 0,08	0,78 ± 0,05**	
<b>Antžeminės dalies : šaknų santykis (AŠS) / Shoot-root ratio (SRR), g/g</b>							
SON-T Agro 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	8,00 ± 2,23	7,36 ± 2,18	N	N	6,00 ± 2,86	13,00 ± 5,31	
LED 150 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	8,31 ± 1,99	7,88 ± 2,29	N	N	4,50 ± 2,13	10,00 ± 4,01	
LED 250 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	8,33 ± 2,07	5,52 ± 2,13	N	N	2,67 ± 2,88	3,30 ± 2,13**	

Pastaba / Note: \* patikimumas, kai P ≤ 0,05; \*\* patikimumas, kai P ≤ 0,01; N – nenustatyta / \* Significant at P ≤ 0,05; \*\* significant at P ≤ 0,01. N – no data.

specifinio lapų ploto bei lapų masės santykį. Raudona ir mėlyna šviesa yra pagrindinės šviesos spektro sudedamosios dalys, tinkamiausios pomidorų daigams auginti (Wenke, 2012). X. X. Fan su bendraautoriais (2013) tyrinėjo pomidorų daigų auginimą uždaroje patalpose prie raudonos ir mėlynos LED šviesos, kur FAS  $\sim 150$ ,  $\sim 200$  ir  $\sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , ir nustatė, kad prie didesnio FAS, specifinis lapų plotas mažėjo, dėl to buvo slopinamas pomidorų daigų augimas.

Raudona su mėlyna šviesa ir raudona su balta šviesa skatina žalios masės kaupimą, didina fotosintezės pigmentų kiekį salotose (Wojciechowska et al., 2013). Mėlyna šviesa mažosiose salotose lėmė didesnę specifinį lapų plotą ir grynąją fotosintezės produktyvumą (Sirtautas et al., 2014). Mūsų tirta skirtinga šviesą emituojančių diodų FAS  $\sim 150$  ir  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  parodė žaliaalapėse ir raudonlapėse salotose sutrikusį asimiliatų patekimą į šaknis (2, 3 lentelė).

Įvertinant naujų pramoninių puslaidininkinių lempų FAS įtaką daigų vystymuisi, augimui šiltnamiuose ir kontroliuojamų veiksmų sąlygomis fitotrone nustatyta, kad skirtingų šeimų augalai, auginti apšvietus LED šviesa, turėjo gerą grynąją fotosintezės produktyvumą, santykinį augimo greitį ir išlaikė gerą antžeminės dalies bei šaknų santykį.

## IŠVADOS

1. Šiltnamyje auginti agurkų ir pomidorų daigai bei salotos, apšviestos LED kartu su dienos šviesa, didino grynąją fotosintezės produktyvumą, santykinį augimo greitį, išlaikė tinkamą antžeminės dalies ir šaknų santykį, tačiau lapų ploto santykis ir specifinis lapų plotas buvo mažesni.

2. Uždaroje kontroliuojamo klimato kameroje (fitotrone) auginti agurkų, pomidorų daigai ir salotos, apšviestos tik LED šviesa, turėjo labai aukštą grynąją fotosintezės produktyvumą, aukštą santykinį augimo greitį, išlaikė tinkamą antžeminės dalies ir šaknų santykį. Didelė fotosintetiškai aktyvi spinduliuotė (FAS)  $\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  stipriai mažino lapų ploto santykį, specifinį lapų plotą ir lapų masės santykį, palyginti su augalais, augintais po SON-T-Agro lempomis, apšviečiant  $\sim 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

## LITERATŪRA

1. Bagdonavičienė A., Jankauskienė J., Brazaitytė A., Vaštakaitė V., Duchovskis P. 2015a. Pramoninių LED šviestuvų fotonų srauto tankio poveikis agurkų daigams. *Žemės ūkio mokslai*. Vol. 22(1). P. 1–7.
2. Bagdonavičienė A., Brazaitytė A., Jankauskienė J., Vaštakaitė V., Duchovskis P. 2015b. Pramoninių LED šviestuvų fotonų srauto tankio poveikis pomidorų daigams. *Žemės ūkio mokslai*. Vol. 22(2). P. 57–64.
3. Bagdonavičienė A., Brazaitytė A., Jankauskienė J., Duchovskis P. 2015c. The effect of photosynthetic photon flux density on cucumber and tomato transplants assimilative indices. *Rural Development 2015: Scientific Conference Proceedings* (in the press).
4. Bluzmanas P., Borusas S., Dagys J., Gruodienė J., Stašauskaitė S., Šlapakauskas V., Vonsavičienė V. 1991. *Augalų fiziologija*. Vilnius: Mokslas. 419 p.
5. Fan X. X., Xu Z. G., Liu X. Y., Tang C. M., Wang L. W., Han X. L. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*. Vol. 153. P. 50–55.
6. Hernández R., Kubota C. 2015. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*.
7. Kasiulevičiūtė A., Sakalauskienė S., Sirtautas R., Viršilė A., Brazaitytė A., Duchovskis P. 2013. Temperatūros ir drėgmės režimo kompleksinis poveikis valgomųjų morkų (*Daucus sativus* Röhl.) augimui ir fotosintezės pigmentams. *16-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos „Aplinkos apsaugos konferencija / Environmental protection engineering“ straipsnių rinkinys*. P. 57–63.
8. Heuvelink E. (ed.). 2005. *Tomatoes*. Vol. 13.
9. Hunt R., Causton D. R., Shipley B., Askew A. P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*. Vol. 90(4). P. 485–488.
10. Šlapakauskas V., Duchovskis P. 2008. *Augalų produktyvumas*. Klaipėda: IDP solutions. 277 p.
11. Sakalauskienė S., Brazaitytė A., Šabajevienė G., Lazauskas S., Sakalauskaitė J., Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Duchovskis P. 2009. Kompleksinis aplinkos veiksnių poveikis sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) fiziologiniams rodikliams organogenezės III–IV etapais. *Žemdirbystė-Agriculture*. Vol. 96(3). P. 93–101.
12. Sakalauskienė S., Šabajevienė G., Lazauskas S., Brazaitytė A., Samuolienė G., Urbonavičiūtė A., Sakalauskaitė J., Ulinskaitė R., Duchovskis P. 2008. Skirtingo drėgmės ir temperatūros režimo kompleksinis poveikis ridikėlių fotosintetiniams rodikliams III–IV organogenezės etapuose. *Sodininkystė ir daržininkystė*. Vol. 27(1). P. 97–104.

13. Samuolienė G., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Šabajevienė G. 2009. Flowering initiation in plants of different Apiaceae species. *Žemdirbystė-Agriculture*. Vol. 96(3). P. 186–198.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A. 2006. Developmental and physiological responses of tomato and tomato to additional blue light. *Acta Horticulturae*. Vol. 711. P. 291–296.
19. Olle M., Viršile 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.
20. Samuolienė G., Brazaitytė A., Duchovskis P., Viršilė A., Jankauskienė J., Sirtautas R., Novickovas A., Sakalauskiene 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.
21. Sirtautas R., Viršile A., Samuolienė G., Samuolienė G., Brazaitytė A., Miliauskiene J., Sakalauskiene 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.
22. 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.
23. Wang H., Gu M., Cui J., Shi K., Zhou Y., Yu J. 2009. Effects of light quality on CO<sub>2</sub> 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.
24. Wenke L. 2012. Light environmental management for artificial protected horticulture. *Agrotechnology*. Vol. 1. P. 101.
25. 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

#### EFFECT OF THE PHOTOSYNTHETIC PHOTON FLUX DENSITY OF INDUSTRIAL LIGHT-EMITTING DIODE LAMPS ON ASSIMILATIVE INDICES IN SALAD AND VEGETABLE TRANSPLANTS

##### Summary

In 2014, 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 optimal photosynthetic photon flux density (PPFD) of new solid-state lighting lamps for growing of cucumber and tomato transplants and salad vegetable and to estimate their productivity and photosynthetic rates. Solid-state lighting lamps containing 420–430 nm (violet), 460–470 nm (blue), 610–615 nm (orange), 620–630 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<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Salad and vegetable transplants were grown in the greenhouse with a combination of natural light and LED light lamps. In the phytotron chambers plants used only LED light lamps. As a reference group, transplants were grown under high-pressure sodium lamps (SON-T Agro) PPFD ~150 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Our investigations revealed that because of the effect of the light emitting diode (LED) lamps and different photosynthetic photon flux density (PPFD) on the greenhouse cultivation of salad and vegetable transplants, lighted with LED and natural daylight, they had a better net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR) and maintained a good shoot–root ratio (SRR), compared with that of plants grown under SON-T Agro with natural daylight. In the phytotron chambers cultivation of cucumber and tomato transplants and salad, illuminated by LED light, had a very high net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR) and maintained the shoot–root ratio (SRR). PPFD ~250 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> significantly reduced the leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA) and leaf weight ratio (LWR).

**Key words:** assimilative indices, light-emitting diodes (LEDs), photosynthetic photon flux density