

## Puslaidininkinė lempa augalų fotofiziologiniams procesams tirti ir valdyti

Z. Bliznikas, K. Breivė, G. Tamulaitis, G. Kurilčik, A. Novičkovas, A. Žukauskas

Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų institutas, Vilniaus universitetas,

Saulėtekio al. 9, korp. III, 10222 Vilnius, Lietuva, el. paštas zenius.bliznikas@ff.vu.lt

P. Duchovskis, R. Ulinskaitė, A. Brazaitytė, J. Šikšnianienė

Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės institutas,

Kauno g. 30, 54333 Babtai, Kauno rajonas, Lietuva, el. paštas p.duchovskis@lsdi.lt

### Įvadas

Šviesa yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių augalų augimą. Šviesos veikiamuose augaluose vyksta trejopo pobūdžio fotofiziologiniai procesai: fotosintezė, fotomorfogenezė ir fototropija. Šie procesai turi įtakos augalų dygimo, augimo ir brendimo spartai, jų produktyvumui, maistinei kokybei, išvaizdai ir pan.

Fotosintezės procesus, kuriems vykstant surišama optinės spinduliuotės energija, gaminama biomasė ir išskiriamas deguonis, lemia augaluose esantys fotosintezės pigmentai – chlorofilai *a* ir *b* bei karotinoidai. Svarbiausią vaidmenį fotosintezės procese vaidina chlorofilas *a*, kiti pigmentai atlieka pagalbines funkcijas.

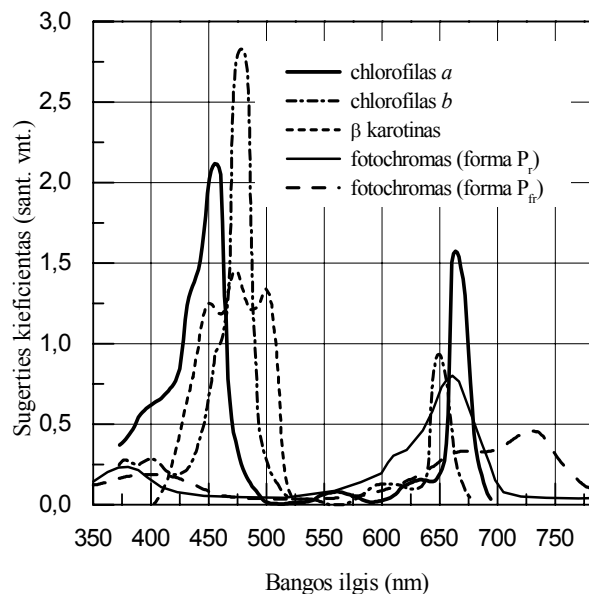
Fotomorfogenezės procesus lemia augaluose esantys fotomorfogenezės pigmentai – fitochromai ir kriptochromai, kurie valdo biocheminius ir genetinius augalų vystymosi mechanizmus. Esminį vaidmenį šiame procese vaidina fitochromas *A*, kurio poveikis susijęs su dviem būsenomis: veikiamas 666 nm bangos ilgio spinduliuotės jis tampa aktyvus (forma  $P_{fr}$ ), o veikiamas 730 nm bangos ilgio spinduliuotės, – pasyvus (forma  $P_r$ ).

Būdingi fotosintezės ir fotomorfogenezės pigmentų sugerties spektrai pateikti 1 pav. [1]. Kriptochromų sugerties spektrai beveik sutampa su karotinoidų spektrais, tačiau jų įtaka morfogenezės procesams dar kaip reikiant neištirta.

Fototropijos procesai siejami su chloroplastų judėjimu citoplazmoje, žiotelių varstymo reguliavimu, taip pat su lapų ir kitų augalo organų judėjimo valdymu. Fototropijos procesus lemia atitinkami pigmentai, sugeriantys nuo 400 nm iki 500 nm bangų ilgių spinduliuotę.

Jau keletą dešimtmečių ieškoma būdų, kaip šviesa kryptingai valdyti augalų fotofiziologinius procesus ir nukreipti juos ūkiui naudinga linkme. Dauguma šios krypties darbų yra atlikta tiriant šviesos spektrinės sudėties įtaką minėtiems procesams. Vyrauja nuomonė, kad fotofiziologiniai procesai vyksta normaliai, kai apšviestoje

mėlynoji spektro dalis (nuo 440 nm iki 460 nm) sudaro 10 % energijos, o raudonoji dalis (nuo 600 nm iki 800 nm) – 90 % energijos. Pastarojoje dalyje apie 75 % energijos turi tekti spinduliuotei, kurios bangų ilgiai yra nuo 600 nm iki 700 nm, ir apie 25 % energijos turi tekti spinduliuotei, kurios bangų ilgiai yra nuo 700 nm iki 800 nm [1]. Taip pat žinoma, kad trumpesnių už 400 nm bangų ilgių spinduliuotė nepalankiai veikia augalų morfogenezės procesus, o ilgesnių už 800 nm bangų ilgių spinduliuotė kelia augalų temperatūrą ir kenkia jų produktyvumui.



1 pav. Būdingi fotosintezės ir fotomorfogenezės pigmentų sugerties spektrai

Nors esama bendrų žinių apie šviesos poveikį augalų fotofiziologiniams procesams, individualūs įvairių augalų poreikiai šviesos spektrinei sudėčiai įvairiuose jų augimo ir vystymosi tarpsniuose nėra žinomi. Spręsti šią problemą

iki šiol sunkino augalininkystei tinkamų valdomo spektro šviestuvų stoka.

### Apšvietimo problemos analizė

Įprasti fitotronų ir šiltnamių šviestuvai gaminami su kaitinamosiomis ir išlydžio lempomis. Esminiai tokių įtaisų trūkumai yra ribotas spindulinis našumas, trumpa eksploatacijos trukmė, nereguliuojama spinduliuotės spektrinė sudėtis bei nepageidaujama infraraudonoji spinduliuotė, kuri pažeidžia mikroklimatą ir neigiamai veikia fiziologinius procesus. Aukšta darbo įtampa apsunkina kompiuterizuotą valdymą ir kelia pavojų aptarnaujančiajam personalui. Be to, visos išlydžio lempos turi gyvsidabrio, taigi jų utilizavimas yra didelė aplinkosaugos problema.

Kaip alternatyva, pastaraisiais metais sparčiai plėtojasi augalų apšvietimo technologija, besiremianti kietakūniais šaltiniais – šviesos diodais. Šiems prietaisams yra būdingas didelis spindulinis našumas (atskirose spektro srityse jau pasiekiami nuo 30 % iki 60 %, esant 100 % fizinei ribai), ilgaamžiškumas (po 50 000–200 000 darbo val. šviesos srautas sumažėja nuo 50 % iki 70 %), greitaveika (spinduliuotės junginėjimo trukmė neviršija dešimtujų μs dalių), maži matmenys, patikimumas, žema maitinimo įtampa. Šviesos diodai spinduliuoja palyginti siauruose (nuo 15 nm iki 50 nm) bangų ilgių ruožuose, kurie užkloja spektro sritį nuo ultravioletinės iki artimosios infraraudonosios [2,3]. Jų konstrukcijoje nėra kenksmingų medžiagų.

Pirmieji bandymai panaudoti šviesos diodus augalams kultivuoti siekia 1991 m. ir yra susiję su energijos taupymu kosminiuose laivuose. Tuomet buvo nustatyta, kad atskiroms augalų rūšims apšvietimo energijos sąnaudos žymiai sumažėja, kai kartu su fluorescencinėmis lempomis naudojama papildoma 660 nm bangos ilgio šviesos diodų spinduliuotė. Vėlesni tyrimai ėmė plėtoti daržo augalų morfogenezės valdymo linkme.

Pagrindiniai šviesos diodų taikymo augalams kultivuoti centrai yra šalyse, kurios sparčiausiai įsisavina kietakūnio apšvietimo technologiją (JAV, Japonijoje, Korėjoje). Europoje, nepaisant to, kad jos šiaurinės valstybės yra potencialios tokių technologijų vartotojos, šie tyrimai atliekami tik epizodiškai [3].

### Darbo tikslas

Kietakūnio apšvietimo technologija leidžia sukurti universalius biotechnologinius kompleksus, kuriuose augalų apšvietimo spektras ir laikinis profilis yra valdomi. Tokie kompleksai yra našesni, ekologiškai saugesni ir gali būti lengvai kompiuterizuojami.

Šio darbo tikslas – sukurti ekonomišką ir funkcinį požiūriu lankstų augalų apšvietimo įtaisą – valdomo spinduliuotės spektro puslaidininkinę lempą (PL) augalų fotosintezės ir fotomorfogenezės procesams tirti ir valdyti *in vivo* sąlygomis. Galimybė valdyti spinduliuotės spektrą leistų tirti jos poveikį įvairių augalų fotofiziologinių procesų eigai atskirose jų vegetacijos tarpsniuose ir nukreipti šiuos procesus ūkiui naudinga linkme.

### Šviesos diodų parinkimas

Atsižvelgus į vyraujančią augalų fotofiziologinių procesų tyrėjų nuomonę apie būtiną augalų apšvietimo spektrinę sudėtį ir įvertinus pagrindinių fotofiziologinių pigmentų sugerties spektrus, buvo atlikta didelio skaisčio šviesos diodų rinkos apžvalga. Pažymėtina, kad dabar ši rinka daugiausia plėtojasi vizualinių prietaikų (visaspalviai vaizduokliai, signalai, bendrasis apšvietimas ir pan.) linkme, kas riboja šviesos diodų pasiūlą augalininkystės poreikiams.

Lengviausiai augalų apšvietimo problema sprendžiama mėlynajai šviesos spektro sričiai, kuri yra svarbi fototropizmui ir iš dalies fotosintezei. Vienas iš standartinių bangos ilgių mėlyniesiems InGaN šviesos diodams yra apie 450 nm. Tokių diodų gamyba sparčiai plečiasi dėl baltų puslaidininkinių šviesos šaltinių poreikio, nuolat auga jų galia, o kaina krinta. Šio darbo tikslams buvo pasirinkti kompanijos „Lumileds Lighting“ šviesos diodai LUXEON™ LXHL-LR5C ( $\lambda_p=453$  nm,  $\Phi_e=320$  mW,  $I_F=0,7$  A). Čia  $\lambda_p$  yra spindulinio srauto galios spektro smailės bangos ilgis;  $\Phi_e$  – spinduliuotės srauto galia tekant vardinei srovei  $I_F$ .

Didžiausias šviesos srautas reikalingas raudonojoje spektro srityje. Dažniausiai šioje srityje naudojami AlGaAs šviesos diodai, kurie generuoja nuo 660 nm iki 680 nm bangos ilgio šviesą. Tačiau AlGaAs technologiją pastaruoju metu išstumia AlGaInP šviesos diodai, kurie generuoja raudoną apie 640 nm bangos ilgio šviesą. Nors pastarieji diodai yra našesni ir pigesni, tačiau ir jų gamyba dėl siauresnės taikymo srities dar nėra pakankamai išplėtotą. Be to, rinkoje nėra galingų AlGaInP diodų, generuojančių ilgesnių nei 640 nm bangų spinduliuotę. Todėl optimizuojant šviestuvo kainą ir našumą, buvo pasirinktas derinys, kuriame šioje spektro srityje fotosintezei valdyti panaudoti dviejų bangos ilgių prietaisai. Chlorofilui *a* žadinti pasirinkti kompanijos „Epitex“ AlGaAs daugialusčiai diodiniai šviestuvai L660-66-60 ( $\lambda_p=660$  nm,  $\Phi_e=95$  mW,  $I_F=0,24$  A), o chlorofilui *b* žadinti pasirinkti kompanijos „Lumileds Lighting“ didelės galios vienkristaliai diodai LXHL-MD1D ( $\lambda_p=640$  nm,  $\Phi_e=100$  mW  $I_F=0,35$  A).

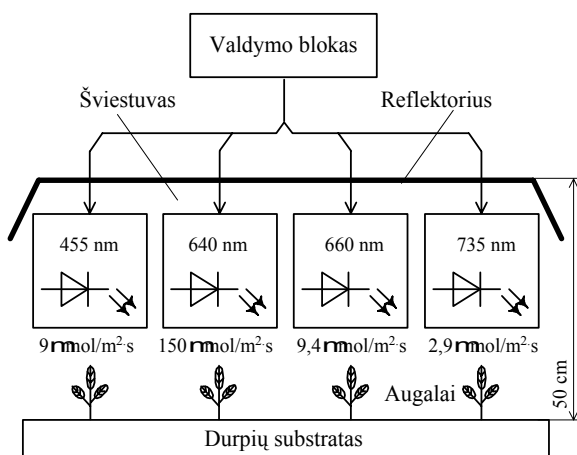
Artimajai infraraudonajai sričiai, kuri svarbi fotomorfogenezės procesams, reikalingi palyginti nedideli šviesos srautai, todėl kainos problema yra tokia opi. Šiai sričiai buvo pasirinkti „Epitex“ L735-05AU šviesos diodai ( $\lambda_p=731$  nm,  $\Phi_e=95$  mW,  $I_F=0,05$  A).

Panašios paskirties įtaisas pateikiamas patento [4] aprašyme. Čia augalams kultivuoti siūloma naudoti trijų bangos ilgių šviesos diodus, kurių spektrinių charakteristikų smailių bangos ilgiai yra parinkti iš srities nuo 620 nm iki 680 nm (fotosintezei valdyti), iš srities nuo 700 nm iki 760 nm (fotomorfogenezei valdyti) ir iš srities nuo 400 nm iki 500 nm (fotomorfogenezei ir fototropijai valdyti). Tačiau palyginus šių sričių bangos ilgius su 1 pav. pateiktomis charakteristikomis matyti, kad siūlomas trijų šaltinių spektrinis derinys negali pasirinktinai žadinti 640 nm arba 660 nm bangų ilgių srityje. Tuo tarpu pasiūlytoji keturspalvė sistema leidžia optimizuoti fotosintezės sistemos veikimą selektyviai žadinant chlorofilus *a* ir *b*.

## Lempas konstrukcija

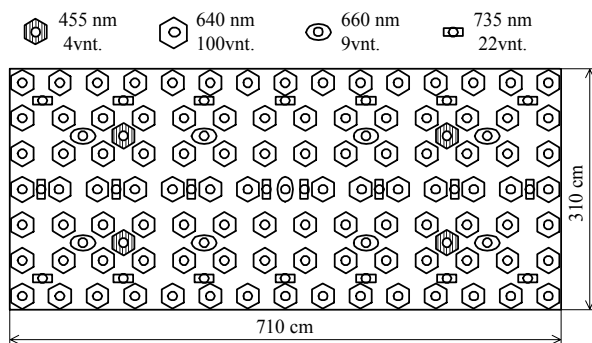
Lempą sudaro puslaidininkinis šviestuvus ir jo valdymo blokas. Šviestuvo paskirtis – sukurti reikiamos spektrinės sudėties ir reikiamo srauto šviesą. Valdymo bloko paskirtis – tiekti valdomo stiprio srovės atskiroms šviesos diodų grupėms ir paros būvyje sukurti apšvietimo „dienos–nakties“ režimą.

PL sandaros schema pateikta 2 pav. Šviestuvus yra statomas virš augalų lysvės. Prie augalų aukščio šviestuvus derinamas keičiant reflektoriaus atstumą iki lysvės paviršiaus. Jis reguliuojamas nuo keleto iki 50 cm.



2 pav. Lempas sandaros schema. Brėžinyje skaičiais pažymėti atskirų šviesos diodų grupių srauto spektrinės charakteristikos smalių bangos ilgiai ir atskirų grupių sukuriamas fotonų srauto tankis 20 cm atstumu nuo reflektoriaus

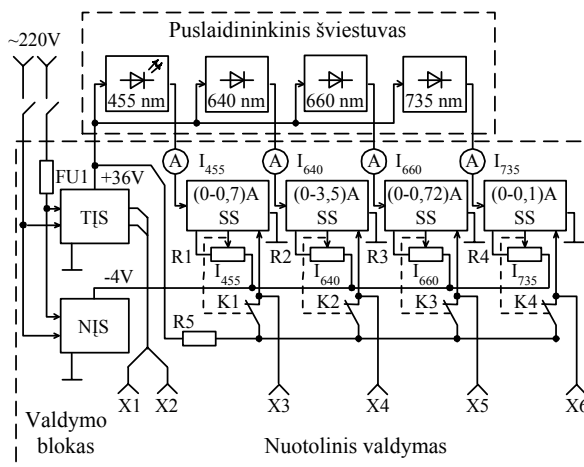
Šviesos diodų išdėstymo reflektoriaus paviršiuje brėžinys pateiktas 3 pav.



3 pav. Šviesos diodų išdėstymo brėžinys. Skirtingų bangos ilgių šviesos diodai schemiškai pažymėti figūromis, atitinkančiomis jų konstrukciją

Vieno bangos ilgio šviesos diodai yra sujungti į šakas, o šakos sujungtos į grupes taip, kad skirtingo bangos ilgio šviesos diodų grupių suminės įtampos būtų artimiausios. Taip periodine tvarka ir simetriškai reflektoriaus centro atžvilgiu išdėstyti diodai sukuria tolygaus tankio srautą nuo 25 cm iki 30 cm atstumu nuo reflektoriaus, o diodų išskiriamą šilumą visiškai išsklaido metalinis reflektorius.

Valdymo blokas pagamintas kaip atskiras prietaisas. Jo struktūrinė elektrinė schema pateikta 4 pav. Jame sumontuoti valdomi srovės stabilizatoriai, kurie tiekia nustatyto stiprio srovės šviestuvo šviesos diodų grupėms, jų srovės matavimo prietaisai, elektroniniai srovės jungikliai, įtampos stabilizatoriai bei kitos valdymo funkcijas užtikrinančios elektronikos grandinės.

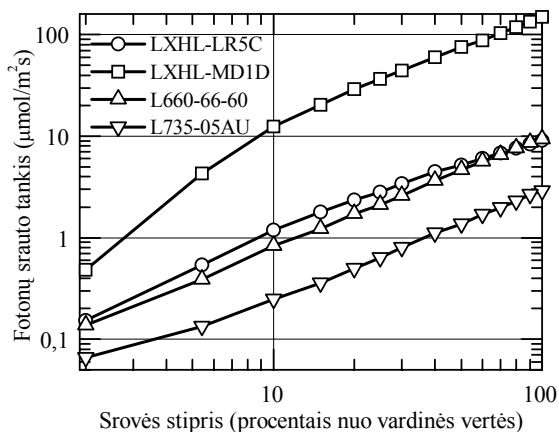


4 pav. Puslaidininkinės lempas struktūrinė elektrinė schema

Kiekvienos diodų grupės srovė matuojama procentais nuo didžiausios grupės srovės, atitinkančios ir didžiausią grupės šviesos srautą. Bendrojo srauto spektrinė sudėtis yra formuojama nustatant atskirų grupių sroves. Valdymo bloko grandynai yra suprojektuoti taip, kad „dienos–nakties“ režimas ir kai kurie srauto parametrai gali būti nustatomi nuotolinio valdymo priemonėmis, kurios jungiamos prie kontaktų X1... X6. Prijungus nesudėtingą sąsają, lempa gali būti valdoma kompiuteriu.

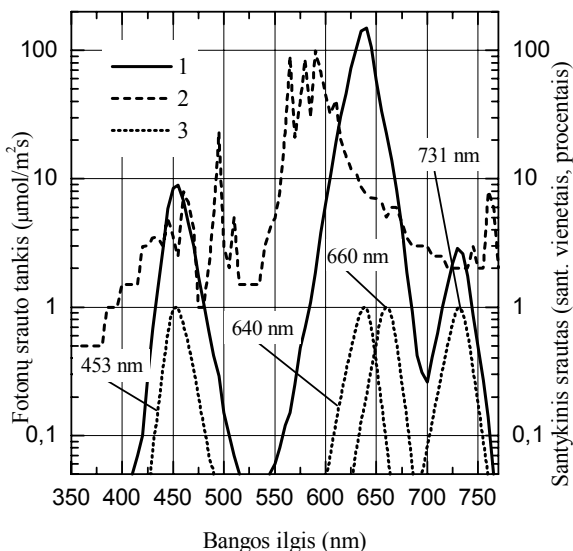
Pagrindiniai pagamintos PL parametrai pateikti 5 ir 6 pav. diagramose bei 1 lentelėje.

Atskirų bangų ilgių šviesos diodų grupių fotonų srautų tankių priklausomybės nuo srovės stiprio charakteristika pateikta 5 pav.



5 pav. Atskirų bangų ilgių šviesos diodų grupių fotonų srautų tankių priklausomybės nuo srovės stiprio charakteristika

PL didžiausiojo bendrojo fotonų srauto tankio spektrinė charakteristika augalų viršūnių plokštumoje, tekant per diodus vardinėms srovėms, pateikta 6 pav. Čia pavaizduotos ir atskirų bangų ilgių šviesos diodų santykinio srauto spektrinės charakteristikos bei dabar plačiai naudojamos didelio slėgio natrio SON-T Agro lempos srauto galios spektrinė charakteristika.



6 pav. Puslaidininkinės lempos fotonų srauto tankio (1), išreikšto  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , SON-T Agro lempos santykinio srauto (2), išreikšto procentais, ir atskirų bangų ilgių šviesos diodų spinduliuotės santykinį srautą (3), išreikštą santykiniais vienetais, spektrinės charakteristikos. Skaičiais ant trečiųjų kreivių pažymėti šviesos diodų srautų spektrinių charakteristikų smailių bangos ilgiai

Pagrindiniai puslaidininkinės lempos parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pagrindiniai puslaidininkinės lempos parametrai

Parametro pavadinimas, matavimo vienetas	Parametro vertė	
Didžiausias bendrojo spinduliuotės srauto tankis, $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^*$	172	
Spinduliuotės srauto tankio reguliavimo diapazonas, $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	$\lambda=453\text{ nm}$	nuo 0 iki 9
	$\lambda=640\text{ nm}$	nuo 0 iki 150
	$\lambda=660\text{ nm}$	nuo 0 iki 10
	$\lambda=731\text{ nm}$	nuo 0 iki 3
Reflektoriaus paviršiaus plotas, $\text{cm}^2$	$31 \times 71$	
Šviesos diodų vartojama srovė, A	iki 5,1	
Šviesos diodų vartojama galia, W	iki 181	
Galios vartojama iš 220 V tinklo, W	iki 210	

\* $1\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}=1\text{ mW}/\text{cm}^2 \times 0,0838\lambda\text{ (nm)}$

Atskirų bangų ilgių srautų tankio netolygumas 90 % paviršiaus, kurio bendras plotas yra  $(30 \times 70)\text{ cm}^2$ , nevirsija 15 %.

Iš pateiktų charakteristikų matyti, kad sukurta PL generuoja spinduliuotės srautą bangų ilgių diapazone, kuris lemia fiziologinių procesų vyksmus augaluose, o srauto parametrai gali būti keičiami plačiame verčių diapazone.

## Eksperimentų rezultatai

Šiame skyrelyje pateikti rezultatai rodo, kad, parenkant aprašytos PL spinduliuotės spektrinės sudėties derinį, galima skatinti arba stabdyti fotosintezės bei fotomorfogenezės procesus. Šie rezultatai bandymais *in vivo* yra gauti LSDI Augalų fiziologijos laboratorijoje. Bandymai atlikti su daržo augalais (salotomis *Grand Rapids*, ridikėliais *Saxa*) fitotrono kameros apšvietimui atskirai naudojant sukurtas PL ir SON-T Agro lempas. Abiem atvejais visos kitos bandymų sąlygos buvo vienodos.

Tyrimuose naudoti spinduliuotės spektrinės sudėties deriniai pateikti 3 lentelėje, o gauti rezultatai – 7–10 pav.

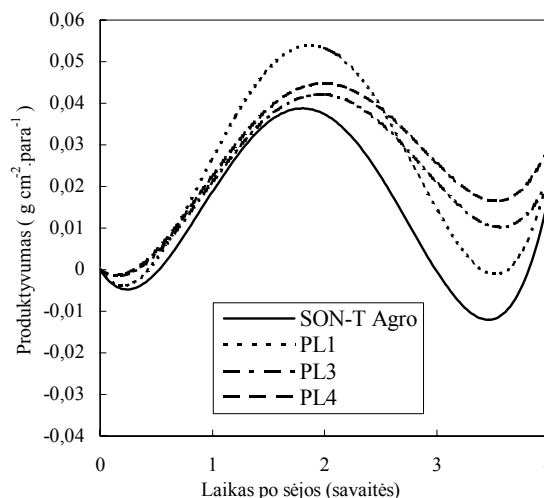
3 lentelė. Spinduliuotės fotonų srauto tankio spektrinės sudėties deriniai paros metu

Derinio parametrai, derinio žymuo	453 nm	640 nm	660 nm	731 nm
	Diena; naktis	Diena; naktis	Diena; naktis	Diena; naktis
PL1	6,4; 0	85; 0	6,6; 0	2; 0
PL2	6,5; 0	86,7; 0	6,8; 0	0; 100
PL3	8,8; 0	79; 0	9,3; 0	2,9; 0
PL4	6,5; 0	86,7; 0	6,8; 0	0; 100*

Srautų tankiai nurodyti procentais nuo didžiausios srauto tankio vertės.

\*- nuo 2 val. iki 3 val.

Vienas svarbiausių fotosintezės rodiklių yra grynas fotosintezės produktyvumas. Jis išreiškiamas sausųjų medžiagų kiekiu, kurį per parą lapų asimiliacinio paviršiaus ploto vienetui pagamina augalas.

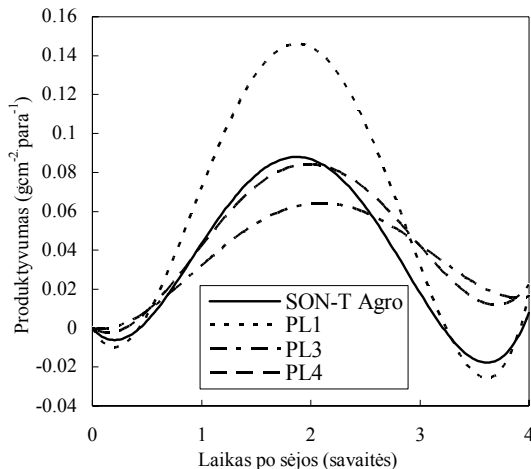


7 pav. Salotų fotosintezės grynojo produktyvumo priklausomybės nuo PL spinduliuotės spektro derinio diagrama

Iš 7 ir 8 pav. matyti, kad salotų ir ridikėlių grynas fotosintezės produktyvumas esti didžiausias, kai

apšvietimui naudojamas PL1 spinduliuotės derinys. Naudojant derinį PL2 fotosintezė nevyksta, o augimo procesas praktiškai sustoja. Esminis šių derinių skirtumas – tai kitoks 735 nm bangos ilgio spinduliuotės naudojimo laikas paros metu.

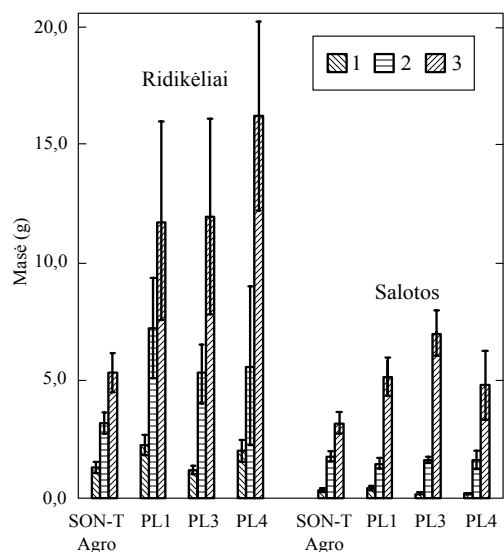
Kitas svarbus fotosintezės rodiklis yra augalo per tam tikrą laikotarpį sukaupta žalioji masė. Ji nustatoma sveriant augalus.



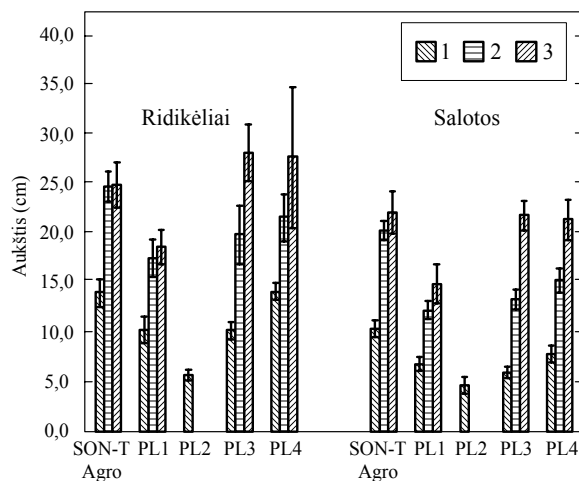
**8 pav.** Ridikėlių fotosintezės grynojo produktyvumo priklausomybės nuo PL spinduliuotės spektro derinio diagrama

Iš 9 ir 10 pav. pateiktų diagramų matyti, kad silpnesnis 640 nm bangos ilgio srautas (PL3) bei 731 nm bangos ilgio srautas įjungtas tik vienai valandai naktį (PL4) skatina žaliosios masės prieaugį ir neturi įtakos augalų aukščiui. Spinduliuotės derinys PL2, kai 731 nm bangos ilgio srautas yra įjungtas tik naktį, smarkiai stabdo vegetacijos procesus.

Morfogenezės procesus augaluose lemia fitohormonų kiekis ir jų tarpusavio santykis. Vieni svarbiausių fitohormonų yra giberelino ir abscizo rūgštys. Šių fitohormonų koncentracijos augalų lapuose diagrama pateikta 11 pav.

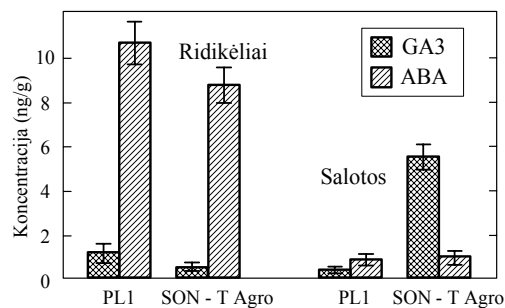


**9 pav.** Ridikėlių ir salotų žaliosios masės priklausomybės nuo PL spinduliuotės spektro derinio diagrama praėjus vienai (1), dviem (2) ir trimis (3) savaitėms po sėjos



**10 pav.** Ridikėlių ir salotų aukščio priklausomybės nuo PL spinduliuotės spektro derinio diagrama praėjus vienai (1), dviem (2) ir trimis (3) savaitėms po sėjos

SON-T Agro lempų spinduliuotė skatina giberelino rūgšties sintezę ir sukuria fitohormonų disbalansą. Dėl to skatinamas augalų tįsimas (10 pav.), o žaliosios masės jie sukaupia mažiau (9 pav.).



**11 pav.** Fitohormonų (GA3- giberelino rūgštis, ABA- abscizo rūgštis) koncentracijos ridikėlių ir salotų lapuose diagrama praėjus dviem savaitėms po sėjos

Taigi pateikti eksperimentinių tyrimų rezultatai rodo, kad spinduliuotės spektrinė sudėtis turi įtakos fotosintezės ir fotomorfogenezės procesams. Matyti aiškūs dėsningumas, kad paros metu parinkus atitinkamą spinduliuotės spektrinės sudėties derinį, galima skatinti arba stabdyti fotosintezės bei fotomorfogenezės pigmentų veiklą ir valdyti augaluose vykstančius fotofiziologinius procesus.

## Išvados

Darbe pateikti rezultatai rodo, kad naudojant šiuo metu rinkoje esančius šviesos diodus galima sukurti daugelio funkcijų, ekologiškus bei energiniu požiūriu našius puslaidininkinius apšvietimo įtaisus – puslaidininkines lempas augalams kultivuoti dirbtinio klimato sąlygomis.

Atlikti tyrimai parodė, kad keičiant spinduliuotės spektrinę sudėtį galima įvairiuose augimo tarpsniuose patikimai valdyti kultūriniuose augaluose vykstančius fotofiziologinius procesus ir nukreipti juos ūkiui naudinga linkme:

1. Parenkant augalų rūšiai individualų spinduliuotės spektro derinį, stabdyti arba skatinti augalų ūsimą, skatinti didesnio lapų asimiliacinio paviršiaus formavimąsi, valdyti fotosintezės procesus ir didinti augalų ūkinį produktyvumą;

2. Didinant fotofiziologinių procesų našumą ir valdant morfogenezę, tobulinti augalų biotechnologijos metodus ir spartinti augalų selekcijos procesą.

Siekiant taupyti energiją tikslinga sukurti keičiamos spektrinės sudėties nenuostovaus apšvietimo įtaisus ir nustatyti galimybes impulsinį apšvietimą panaudoti augalams kultivuoti dirbtinio klimato sąlygomis.

Darbas atliktas Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui parėmus.

## Literatūra

1. **Kopcewicz J., Lewak S.** Podstawy fizjologii roślin.- Warszawa: PWN, 1998. – ISBN 83-01-12566-7. – 725 p.
2. **Žukauskas A., Shur M. S., Gaska R.** Intruduction to Solid State Liching. -New York: Willey, 2002. – IBSN 0471215740. – 220 p
3. **Aukštųjų technologijų plėtros projektas** „Kietakūnio apšvietimo technologija augalų fotofiziologinių procesų valdymui“ (HORTILED). <<http://www.hortiled.ff.vu.lt>> (2004 03 05).
4. **Ignatius R. W., Martin T. S., Bula R. J., Morrow R. C., Tibbitts T. W.** Method and apparatus for irradiation of plants using optoelectronic devices. US Patent 5012609. 1991.

Pateikta spaudai 2004 05 27

**A. Žukauskas, Z. Bliznikas, K. Breivė, G. Tamulaitis, G. Kurilčik, A. Novičkovas, P. Duchovskis, R. Ulinskaitė, A. Brazaitytė, J. Šikšnianienė.** **Puslaidininkinė lempa augalų fotofiziologiniams procesams tirti ir valdyti // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 7(56). – P. 74-79.**

Aprašyta šviesos spektrinės sudėties svarbą augalų vegetacijai. Pateiktas puslaidininkinės keičiamo spinduliuotės spektro lempos su kompanijų „Lumileds Lighting“ ir „Epitex“ šviesos diodais, kuri skirta augalų fotofiziologiniams procesams tirti ir valdyti dirbtinio klimato sąlygomis, aprašymas. Lempa sukuria spinduliuotės srautą 453 nm (srauto tankis nuo 0 iki 9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ), 640 nm (srauto tankis nuo 0 iki 150  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ), 660 nm (srauto tankis nuo 0 iki 9,7  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) ir 731 nm (srauto tankis nuo 0 iki 2,9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) bangų ilgių ruožuose, kurie lemia fotosintezės ir fotomorfogenezės vyksmus augaluose. Lempa apšviečia ne mažesnę kaip  $(31 \times 71) \text{ cm}^2$  lysvės plotą, atstumas iki lysvės paviršiaus reguliuojamas nuo keleto iki 50 cm.

Bandytų metu gauti keičiamo spektro spinduliuotės poveikio daržo augalų (salotų *Grand Rapids*, ridikėlių *Saxa*) fotosintezės ir fotomorfogenezės procesams rezultatai rodo, kad paros metu parinkus atitinkamą spinduliuotės spektrinės sudėties derinį, galima įvairiais augalų augimo tarpsniais skatinti arba stabdyti fotosintezės bei fotomorfogenezės eigą, nukreipti šiuos procesus ūkiui naudinga linkme. Il. 11, bibl. 4 ( lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**A. Žukauskas, Z. Bliznikas, K. Breivė, G. Tamulaitis, G. Kurilčik, A. Novičkovas, P. Duchovskis, R. Ulinskaitė, A. Brazaitytė, J. Šikšnianienė.** **Semiconductor Lamp for Investigation and Control of Photophysiological Processes in Plants // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004 – No.7(56). – P. 74- 79.**

A semiconductor light-emitting diode based lamp with variable spectrum for investigation and control of photophysiological processes in plants under artificial-climate conditions is described. High-power emitters with the peak wavelengths of the spectral power distribution functions at 453 nm (the flux density from 0 to 9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ), 640 nm (0 to 150  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ), 660 nm (0 to 10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) and 731 nm (0 to 3  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) were used for the spectral ranges, which are responsible for control of the photosynthetic and photomorphogenetic processes in plants.

Results on the influence of variable-spectrum illumination of vegetables (lettuce *Grand Rapids*, radish *Saxa*) are presented. Analysis of photosynthetic and photomorphogenetic processes shows that these processes can be controlled by selection of a particular spectral composition of the incident light and circadian regime of illumination. Ill. 11, bibl. 4 (in Lithuanian, summaries in Lithuanian, Russian and English).

**A. Жукаускас, З. Близникас, К. Брейве, Г. Тамулайтис, Г. Курильчик, А. Новичковас, П. Духовскис, Р. Улинскайте, А. Бразайтите, И. Шикшняне.** **Полупроводниковая лампа для исследований и управления фотофизиологических процессов растений // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 7(56). – С. 74-79.**

Представлено описание полупроводниковой светодиодной лампы с изменяемым спектром излучения, которая предназначена для исследования и управления фотофизиологическими процессами растений, культивируемых в условиях искусственного климата. Данная лампа излучает поток в диапазонах 453 nm (плотность потока от 0 до 9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ), 640 nm (0 – 150  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ), 660 nm (0 – 9,7  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) и 731 nm (0 – 2,9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) длин волн, которые существенно влияют на ход процессов фотосинтеза и фотоморфогенеза растений.

Представлены результаты экспериментальных исследований, которые демонстрируют, что при оптимальном подборе спектрального состава излучения в „дневное“ и „ночное“ время можно управлять процессами фотосинтеза и фотоморфогенеза на различных этапах вегетации исследуемых растений: салата *Grand Rapids* и редиски *Saxa*. Данный факт предоставляет возможность использовать упомянутые процессы в хозяйственно полезном направлении. Ил. 11, библи. 4 ( на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

