

Augalų fotofiziologiniai tyrimai aukštosioms technologijoms

**Akvilė Urbonavičiūtė¹, Giedrė Samuolienė¹, Aušra Brazaitytė¹,
Julė Jankauskienė¹, Anželika Kurilčik¹, Pavelas Duchovskis^{1,3},
Artūras Žukauskas^{2,3}**

¹ Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės institutas, Kauno g. 30, LT-54333,
Babtai, Kauno r., el. paštas a.urbonaviciute@lsdi.lt

² Vilniaus universiteto Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų institutas,
Saulėtekio al. 9-III, LT-10222, Vilnius

³ UAB „Hortiled“

Apžvelgiami fotofiziologiniai tyrimai, vykdomi Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto (LSDI) Augalų fiziologijos laboratorijoje. Pagrindinės tyrimų sritys – tai šviesos parametru poveikis vienamečių, dvimečių ir *in vitro* sistemoje kultivuojamų augalų morfogenezei, fotosintezės sistemai, produktyvumo dinamikai ir medžiagų apykaitai – veiksniams, tiesiogiai darantiems įtaką daržovių derliui ir jo kokybei. Tiriant kietakūnio apšvietimo poveikį augeklams, pasiekta vertingų rezultatų: keičiant spektrinę šviesos sudėtį, galima paveikti morfogenetinius procesus, metabolizmo kryptingumą, paspartinti augalų vystymąsi. LSDI mokslo darbuotojams bendradarbiaujant su Vilniaus universiteto Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto fizikais, pateiktos paraiškos nacionaliniam ir tarptautiniam patentams, įrengti eksperimentiniai pramoniniai apšvietimo moduliai šiltnamiuose.

Reikšminiai žodžiai: kietakūnis apšvietimas, fotomorfogenezė, fotosintezė, metabolizmas, produktyvumas.

Įvadas. Šviesa – vienas svarbiausių gyvybinių veiksnių augeklams. Tai ne tik vienišas natūralus energijos šaltinis fotosintezėi, – įvairūs šviesos fizikiniai parametrai augeklus veikia kaip informacijos šaltinis, nulemiantis jų augimo ir vystymosi kryptingumą. Sudėtinga ir kompleksinė fotoreceptorių sistema (chlorofilai, karotinoidai, fitochromai, kriptochromai, fototropinai ir kt. receptoriai) reaguoja į šviesos spektro kitimus, šviesos intensyvumą, spindulių kritimo kampą, fotoperiodo trukmę ir kt. (Devlin ir kt., 2007). Šviesos parametru kitimas sukelia įvairius morfogenetinius pokyčius, daro įtaką fotosintezės sistemos veiklai, metabolizmo reakcijoms, tačiau šis efektas skirtingų rūšių augeklų skiriasi. Žinoti, koks gali būti fotoatsakas, yra itin svarbu kuriant progresyvias agrotechnologijas. Tinkamai nustačius dirbtinio apšvietimo spektrą, užtikrinamas normalus augeklų augimas, keičiant šviesos spektrą, galima paveikti žiedų morfogenezę, rizogenezę, pusiausvyrą tarp augimo ir vystymosi procesų, biomasės

kaupimą, stiebo ilgėjimą bei pirminio ir antrinio metabolizmo reakcijas, – visa tai, kas tiesiogiai lemia daržovių maistinę kokybę.

Visuotinai priimta, kad optimalus apšvietimo spektras augalams turi būti sudarytas iš 90 % raudonosios spektro dalies ir 10 % mėlynosios spektro dalies šviesos (Kopcewicz, Lewak, 1998). Raudona šviesa, veikianti fitochromo transformacijas, svarbi fotosintezei, žydėjimui bei vaisių formavimui (Furuya, 1993). Mėlyna šviesa veikia chlorofilo formavimąsi, žiotelių varstymąsi, fotomorfogenezę bei fotosintezės produktų gabenimą ir pasiskirstymą augalų dalyse (Dougher, Bugbee, 1998; Heo ir kt., 2002). Vis dėlto skirtingų gyvybinių formų augalų (pasižyminčių skirtingomis augimo strategijomis) skiriasi ir šviesos spektriniai poreikiai. Pastarųjų metų progresas kietakūnio apšvietimo technologijose, paremtose šviesą emituojančių šviestukų panaudojimu, palengvino ir išplėtė fotobiologinių tyrimų, grindžiančių naujų apšvietimo technologijų taikymą, galimybes.

LSDI Augalų fiziologijos laboratorijose tokie tyrimai vykdomi jau penktus metus. Darbų pradžia – aukštųjų technologijų plėtros programos projektas HORTILED („Kietakūnio apšvietimo technologija augalų fotofiziologinių procesų valdymui“), vadovaujamas prof. A. Žukausko, sujungęs Vilniaus universiteto Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto, Botanikos instituto, Vilniaus universiteto Botanikos sodo mokslininkų vykdomus darbus. Šio projekto darbų tikslas buvo, panaudojant įvairiose spektro dalyse šviesą emituojančius puslaidininkinius šviestukus, sukonstruoti ir pagaminti augalų auginimui pritaikytus šviestuvus bei optimizuoti šviesos spektrą, fotonų srauto tankį bei kitus šviesos parametrus augalų fotofiziologiniams ir biocheminiams procesams valdyti. Sėkmingi darbai buvo pratęsti ir išplėsti tęstiniame aukštųjų technologijų plėtros programos projekte PHYTOLED („Kietakūnio apšvietimo technologija fitotronams ir šiltnamiams“), vykdomame kartu su Vilniaus universiteto Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto bei Fizikos instituto mokslininkais. Pirmojo projekto metu įgytos žinios buvo pritaikytos kurti ekonomiškai apsimokančias kombinuotas kietakūnių šviestuvų ir įprastinių apšvietimo prietaisų derinių technologijas fitotronams ir šiltnadaržiams. Šios technologijos sudaro sąlygas auginti augalus didesnio produktyvumo, geresnės maistinės ir skonio kokybės, geresnės prekinės išvaizdos bei su didesne biologiškai aktyvių medžiagų koncentracija.

Darbo tikslas – pateikti pagrindinių fotofiziologinių tyrimų, vykdomų LSDI, apžvalgą bei mokslinius pasiekimus.

Tyrimo objektas, metodai ir sąlygos. Eksperimentai daryti 2003–2008 metais. Šviesos spektro poveikiui augalų augimui, vystymuisi bei metabolizmui tirti buvo naudoti savitos konstrukcijos šviestuvai: 5 modulių kompiuterizuota sistema fitotronui – pasirinkti deriniai iš pagrindinių mėlyną (455 nm), raudoną (640, 660 ir 670 nm) ir tolimąją raudoną (735 nm) šviesą emituojančių kietakūnių šviestukų (*light-emitting diodes*, LED) bei papildomų UV (385 nm), žalios (510 nm) ir geltonos (595 nm) komponentų su galimybe keisti jų srautus, spektro sudėtį; realizuoti tiek nuostovų, tiek impulsinį apšvietimą. Bendras fotosintetiškai aktyvios šviesos srautas buvo keičiamas nuo 50 iki 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; fotoperiodas – nuo 14 iki 24 val. Aukšto slėgio natrio arba fluorescensinės lempos buvo naudojamos kaip kontrolinis apšvietimas. Analogiška kietakūnio apšvietimo sistema buvo naudota *in vitro* tyrimams.

Ekonominiu atžvilgiu kietakūnių šviestukų (LED) apšvietimą taikyti augalams

yra vis dar neefektyvu dėl santykinai brangių šviestuvų kainų, todėl buvo sukurtos kombinuotos kietakūnių šviestukų ir įprastinių apšvietimo prietaisų derinių technologijos: įprastinių aukšto slėgio natrio lempų, fluorescencinių ir halogeninių lempų spektras buvo papildytas raudonos, mėlynos, tolimosios raudonos kietakūnės šviesos komponentėmis, siekiant gauti augalams optimalią spektrinę sudėtį. Tokie šviestuvai naudoti ir eksperimentams fitotrone; taip pat progresyvios, patentuotos konstrukcijos apšvietimo sistemos *beta* prototipas įrengtas ir gamybiniuose šiltnamiuose.

Tyrimų objektai – itin įvairūs pagal bandymų savitumą. Fotomorfofenetiniai bandymai atliekami su valgomąja morka (*Daucus sativa* (Hoffm.) Röhl. var. 'Garduolės'), lapiniu ridikėliu (*Raphanus sativus* L. c. v. 'Saxa'); renkama žaliava eksperimentams su braškių daigais (*Fragaria* × *ananassa* Duch.); kietakūnės šviesos poveikis fotosintezei ir metabolizmui tirtas atliekant bandymus su įvairiomis žalumyninėmis daržovėmis ir želmenimis: su petražole (*Petroselinum crispum* (Miller) Nyman ex A. W. Hill, c. v. 'Moss curled'), mairūnu (*Majorana hortensis* Moench.), laiškiniu svogūnu (*Allium cepa* L.), lapine salota (*Lactuca sativa* c. v. 'Grand rapids', 'Lolo bionda', 'Funly'), krapo augalais (*Anethum graveolens* L. c. v. 'Smaragd'), baziliku (*Ocimum basilicum* L.), žieminio kviečio (*Triticum aestivum* L. c. v. 'Širvinta') bei paprastojo miežio želmenimis (*Hordeum vulgare* L. c. v. 'Aura') ir lapiniu ridikėliu (*Raphanus sativus* L. c. v. 'Tamina'); tirta šviesos įtaka agurko (*Cucumis sativus* L. c. v. 'Mandy' F.) ir pomidoro (*Lycopersicon lycopersicum* L. c. v. 'Raissa' F.) daigų augimui ir produktyvumui; *in vitro* tyrimai atliekami su chrizantema (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Ellen'), vynmedžiu (*Vitis vinifera* L. 'Gailiūnė') ir valgomąja bulve (*Solanum tuberosum* L. 'Nida').

Bandymai vykdyti fitotrone, šiltnamiuose bei *in vitro* sąlygomis. Po kietakūnių apšvietimu augalai auginti nuo pat sėjos arba perkelti po apšvietimu jau techninės brandos tarpsniu, siekiant įvertinti trumpalaikio apšvietimo poveikį. Vertinant fotofiziologinį šviesos efektą augalams, jų augimui, vystymuisi bei metabolizmui, atliekamos įvairios analizės ir matavimai. Spektrofotometriniais metodais nustatomas fotosintezės pigmentų kiekis (Гавриленко, 2003), vitamino C koncentracija (Janghel ir kt., 2007), bendras fenolinių junginių kiekis (Ragae ir kt., 2006), augalinės žaliavos ekstraktų antioksidacinis aktyvumas (Ragae ir kt., 2006, Kasparavičienė ir kt., 2004), fermentų aktyvumas (Data, Sharma, 1999; Ali ir kt., 2007) ir kt. Skysčių chromatografijos metodu nustatoma fitohormonų (Wang ir kt., 2003), cukrų (Urbonavičiūtė ir kt., 2006), tokoferolių (Murkovic ir kt., 1999) ir kitų biologiškai aktyvių medžiagų sudėtis bei koncentracijos; potenciometrinio metodu (Geniatakis ir kt., 2003) analizuojama nitrato jonų koncentracija daržovėse. Vertinant produktyvumo dinamiką, matuojamas asimiliacinis lapų plotas, žalia masė ir sausosios medžiagos, kiti biometriniai rodikliai.

Rezultatai. Tyrimai vykdyti įvairiomis kryptimis, siekiant įvairiapusėms iširti šviesos efektą augalams. Čia pristatomi pagrindiniai rezultatai ir pasiekimai.

Šviesos spektrinės sudėties poveikis fotosintezės sistemai. Šviesa inicijuoja fotosintezės procesus: fotosintetiškai aktyvios šviesos srautas ir fotoperiodas nulemia fotosintezės intensyvumą, o spektrinė sudėtis – fotosintezės sistemos formavimąsi, jos produktų metabolizmą ir judėjimą. Todėl svarbu užtikrinti optimalias apšvietimo sąlygas augalams. Tyrimai buvo atliekami su salotomis, ridikėliais ir kitomis daržovėmis (Brazaitytė ir kt., 2004; Brazaitytė ir kt., 2006). Nustatyta, kad

sąlyginai didelis fotosintetiškai aktyvios raudonos (640 nm) šviesos srautas paskatina biomasės kaupimąsi, augimo procesų intensyvumą, didesnę cukrų susikaupimą lapuose, tačiau kartu kiek anksčiau prasideda ir senėjimo procesai augaluose. Šie dėsningumai pritaikyti kuriant šiltnamių apšvietimą: prie įprastinių aukšto slėgio natrio lempų pritaisius raudonų kietakūnių šviestukų ir švitinant augalus jų techninės brandos tarpsniu, salotos užauga geresnės kokybės ir skanesnės. Tačiau, greta raudonos, augalams (ypač ridikėliams, pomidorams) būtinas ir nedidelis srautas mėlynos šviesos: ji paskatina chlorofilo kaupimąsi lapuose bei asimiliatų perdavimą į kaupiančiuosius organus. Greta fotosintezės, kaip biomasės produkcijos proceso, svarbu ir šviesos sąlygojamas fotosintezės produktų – angliavandenių – metabolizmas. Tai ne tik nulemia daržovių skonio savybes, bet ir bendrą augalo būklę, kadangi cukrūs, ypač sacharozė, veikia kaip signalą perduodančios molekulės ir taip daro įtaką daugeliui fiziologinių procesų.

Kietakūnės šviesos taikymas augalų maistinės kokybės gerinimui. Šviesos poveikis augalams – tai rezultatas veiklos kompleksinio signalo perdavimo tinklo, įtraukiančio įvairius fermentus, pirminius ir antrinius metabolitus; todėl, keičiant įvairius šviesos parametrus, galima kryptingai paveikti medžiagų apykaitą, kartu ir reguliuoti daržovių maistinę kokybę. Vis dėlto yra sunku pasiekti visapusiškai teigiamą efektą, kadangi iškyla priešprieša tarp natūralių augalo poreikių, metabolizmo homeostazės ir agronominių, mitybinių tikslų. Šviesos poveikio metabolizmui tyrimai buvo atliekami naudojant įvairius šviestuvus: tai ir keičiamo spektro LED šviestuvai, ir kombinuotieji HPS, fluorescensinių, halogeninių lempų ir kietakūnių šviestukų deriniai. Po jais augintos salotos, svogūnų laiškai, krapai, mairūnai, bazilikai, petražolės, lapiniai ridikėliai, kviečių ir miežių želmenys (Ulinskaitė ir kt., 2004; Urbonavičiūtė ir kt., 2007 a; Urbonavičiūtė ir kt., 2008). Tačiau skirtingų augalų šviesos spektriniai poreikiai skiriasi, todėl ne visi augalai tinkami auginti po kietakūnio apšvietimo šaltiniais. Teigiamas poveikis maistinės kokybės atžvilgiu (dėl padidėjusio monocukrų bei vitamino C kiekio jų audiniuose, nitratų redukcijos, antioksidacinio aktyvumo) pasiektas švitinant salotas, mairūnus, kviečių želmenis ir lapinius ridikėlius. Medžiagų apykaita gali būti paskatinama vien didesnio fotosintetiškai aktyvios raudonos šviesos srauto, tačiau, derinant raudoną 640 nm šviesą su tolimąja raudona ar mėlyna šviesa, aktyvuojama daugiau fotoreceptorių ir, jiems veikiant bendrai, pasiekiami reikšmingesnių efektų.

Kietakūnės šviesos taikymas augalų produktyvumui didinti. Šviesos valdymo galimybės buvo pasitelktos ir auginant agurkų, pomidorų, paprikų daigus, siekiant, kad jie būtų sveikesni, tvirtesni, produktyvesni, anksčiau pradėtų derėti. Ištyrus pagrindinių (455, 640, 660 ir 735 nm) ir papildomų žalių, UV ir geltonų kietakūnių šviesos komponentų apšvietimo modulyje efektą, nustatyta, kad tik papildoma žalia 520 nm šviesa teigiamai veikė agurkų daigų augimą ir vystymąsi. Yra žinoma, kad žalia šviesa gali prasiskverbti pro lapiją efektyviau nei kitų spalvų šviesa, todėl efektyviau išnaudojama fotosintezei ir paskatina vystymąsi. Tačiau pomidorų daigus paveikė priešingai – žalia šviesa švitinti pomidorų daigai buvo mažesni, lėčiau vystėsi, lapai sukaupė mažiau fotosintezės pigmentų. Įdomus ir kontraversiškas UV spinduliuotės poveikis: agurkų daigai, auge po papildoma UV šviesa, buvo gležni, suformavo mažiau lapų, prasčiau vystėsi, o štai pomidorų augalai – suformavo didesni

lapų plotą, daugiau žiedų ant žiedynstiebio, sukaupė didžiausią žalią masę. Šie fotofiziologiniai reiškiniai gali būti paaiškinti genetiniais augalo rūšies ypatumais, kadangi pomidorai savo kilme – kalnuotų vietovių augalai. Ilgalaikio išliekamojo tirtu apšvietimo poveikio fotosintezės sistemos veiklai nepastebėta, tačiau tokiomis sąlygomis greičiau išauginami sveikesni, stipresni daigai, kas nulemia pomidorų augalų tolesnį augimą bei derlių. Tolesniuose tyrimų etapuose kietakūnį apšvietimą siekiama pritaikyti šiltnamiuose kaip papildomą prie įprastinių aukšto slėgio natrio lempų, kad būtų galima efektyviai ir ekonomiškai naudingai auginti geros kokybės daigus.

Šviesos įtaka augalų morfogenezei. Augalų morfogenezės valdymas bei fotofiziologinių procesų vyksmas priklauso nuo darnios egzogeninių veiksnių bei endogeninių mechanizmų veiklos. Iš aplinkos veiksnių, lemiančių augalų vystymąsi, šviesa yra ypač svarbi; atsakas į šviesą nėra paprastas linijinis signalo perdavimo būdas, o įvairių fotoreceptorių integruotos informacijos rezultatas, veikiantis per sąveikaujančių signalinių komponentų tinklą (Chory ir kt., 1996); be to, skirtingų gyvybinių formų augaluose šis fotoatsakas skiriasi. LSDI atliekamuose fotofiziologiniuose darbuose tiriamas fotoperiodo, šviesos spektrinės sudėties bei kompleksinis su kitais morfogenetiniais veiksniais poveikis vienamečių ir dvimečių augalų morfogenezei. Tyrimai su valgomojujū ridikėlių parodė, kad šviesos spektrinė sudėtis gali smarkiai paveikti ne tik fotosintezės sistemos veiklą, bet ir šakniavaisio formavimąsi, darydama įtaką asimiliatų pasiskirstymui tarp asimiliacinių ir kaupiančiųjų audinių. Normaliam šakniavaisio formavimuisi yra būtinas tam tikras srautas mėlynosios spektro dalies šviesos, teigiamai veikia ir papildoma žalia šviesa (Baranauskis, Duchovskis, 2006; Urbonavičiūtė ir kt., 2007 b). Įdomių fiziologinių efektų pasiekta aktyvuojant fitochromo transformacijas – tolimosios raudonosios šviesos komponentą panaudojant pertraukti nakties periodui, taip pat pažymėtini saviti metabolizmo pokyčiai ridikėlius paveikus impulsine šviesa.

Kitas morfogenetinių tyrimų objektas – valgomoji morka. Augalų fiziologijos laboratorijoje jau nuo 2002 m. vykdomi dvimečių augalų žydėjimo iniciacijos tyrimai. Šviesos fotoperiodas nagrinėjamas kaip vienas pagrindinių žydėjimą lemiančių aplinkos veiksnių (Samuolienė ir kt., 2004; Samuolienė ir kt., 2008), tačiau žinias apie šį fotomorfogenetinį efektą naujomis vertingomis detalėmis papildė kietakūnės šviesos spektrinės sudėties efekto tyrimai (Samuolienė ir kt., 2006; Samuolienė ir kt., 2007). Nustatyta, kad įvairiais morkų žydėjimo iniciacijos tarpsniais optimali šviesos spektrinė sudėtis skiriasi, kadangi šviesa per fitochromų ir kriptochromų sistemą dalyvauja atitinkamų morfogenų raiškoje. Skirtingi žiedų morfogenetiniai efektai (žiedai suformuojami be kuokelių, su papildomais vainiklapiais ar purkos elementais) priklauso nuo apikalinių meristemų išsivystymo lygio tiriamo šviesos poveikio metu. Šviesos spektrinė sudėtis daro įtaką apikaliniam dominavimui, sąlygojančiam ląstelių vystymosi pobūdį bei žiedų diferenciaciją. Fotomorfogenetiniams procesams svarbios kaip mėlynoji, raudonoji, taip ir tolimoji raudonoji spektro dalys bei jų santykis skirtingais raidos tarpsniais. Fotomorfogenetiniai pokyčiai siejami su fitohormonų sistemos balansu bei angliavandenių sintezės kitimais.

In vitro morfogenezės tyrimai atliekami kartu su Vilniaus universiteto Botanikos sodo mokslininkais. Daugelis pramoniniu būdu auginamų augalų yra dauginami *in vitro* dirbtinio apšvietimo sąlygomis. Šviesos poveikis augalų regeneracijai, embriogenezei,

morfogenezei, kaliosogenezei ir regenerantų fiziologiniams procesams audinių kultūroje dar yra mažai ištirtas. Nors esama bendrų žinių apie šviesos įtaką augalų fotofizioliniams procesams, individualūs įvairių augalų, auginamų *in vitro*, šviesos spektrinės sudėties poreikiai nėra žinomi. Pasaulyje yra atlikta labai mažai mokslinių tyrimų, skirtų kietakūnio apšvietimo poveikiui *in vitro* sistemoje.

Pagal Hortiled ir Phytoled projektus buvo atlikta daugybė *in vitro* tyrimų su chrizantema (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Ellen'), vynmedžiu (*Vitis vinifera* L. 'Gailiūnė') ir valgomąja bulve (*Solanum tuberosum* L. 'Nida') (Kurilčik ir kt., 2007; Kurilčik ir kt., 2008). Pademonstruota, kad kietakūnis apšvietimas gali būti efektyviai naudojamas įvairių augalų auginimui *in vitro* sistemoje. Įvertintas skirtingų šviesos komponentų poveikis rizogenezės ir gemagenezės procesams. Nustatytas ryšis tarp šių procesų ir regenerantų fitohormonų sudėties. Išaiškinta, kad lemiamą įtaką organogenezės procesams turi kriptochromų ir fitochromų sistemas veikianti šviesa mėlynojoje (455 nm) ir tolimojoje raudonojoje (735 nm) spektro dalyse. Tyrimai parodė, kad augalų regeneracija *in vitro* kietakūnio apšvietimo sąlygomis akivaizdžiai priklauso nuo augalo rūšies ir kinta augalui vystantis.

Aptarimas. Fotofiziologiniai tyrimai atliekami ne tik siekiant pagrįsti šviesos poveikį augalams, bet ir, remiantis įgytomis žiniomis, sukurti augalams skirtus kietakūnius ar kombinuotus LED ir įprastinių apšvietimo šaltinių šviestuvus bei auginimo technologijas šiltnamiams, fitotronams ir *in vitro* kultivavimo sistemoms. Pirmieji VU fizikų sukonstruoti šviestuvai buvo skirti fitotronams (Bliznikas ir kt., 2004; Tamulaitis ir kt., 2004; Tamulaitis ir kt., 2005). Galimybė juose keisti ne tik šviesos srautą, bet spektrinę sudėtį, leido pasiekti svarių rezultatų vertinant šviesos poveikį augalų fotomorfogenezei, fotosintezei ir metabolizmui. Remiantis šiomis žiniomis, bendradarbiaujant su UAB „Gijona“, buvo kuriami nauji kombinuotieji šviestuvai – eksperimentiniai prototipai, skirti naudoti šiltnamiuose. Buvo parengti nacionalinis ir tarptautinis tokios įrangos ir technologijos autorystės patentai. Sėkmingi darbai pritraukė investuotojų dėmesį, buvo sukurta atžalinė įmonė „Hortiled“.

Eksperimentiniai darbai toliau tęsiami ir plėtojami: gilinamasi į šviesai jautrios metabolizmo sistemos aspektus, tiriama flavonoidų, karotinoidų formų sudėtis, nulemianti antioksidacinę augalinės žaliavos aktyvumą ir teigiamą poveikį žmogaus organizmui; nagrinėjama nitrato jonų apykaita: matuojama nitrato, nitrito, amonio jonų dinamika, nitratus redukuojančių fermentų aktyvumas, kad būtų galima moksliskai pagrįsti šviesos intensyvumui ir spektrui jautrias reakcijas. Po kietakūniu apšvietimu auginamos skirtingų veislių daržovės, siekiant detaliau paaiškinti genetinių ir šviesos veiksnių nulemtus fiziologinius efektus. Išnaudojant automatizuoto šviestuvų valdymo galimybes, augalams kuriamos įgytomis žiniomis pagrįstos naujos apšvietimo technologijos, jungiančios agronominius tikslus ir natūralius augalo fiziologinius poreikius.

Išvados. Atlikti fotofiziologiniai darbai ne tik suteikė naujų biologinių žinių, bet ir sudarė pagrindą naujoms aukštosios technologijoms kurti, o tai atvėrė kelią tolesniems pažangiems moksliniams tyrimams, idėjų ir technologijų konkurencingumui, praktiniam jų pritaikymui, tapimui komercijos objektu.

Padėka. Dėkojame Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui už paramą atliekant tyrimus.

Gauta 2008-07-14

Parengta spausdinti 2008-08-14

Literatūra

1. Ali A., Sivakami S., Raghuram N. 2007. Regulation of activity and transcript levels of NR in rice (*Oryza sativa*): Roles of protein kinase and G-proteins. *Plant Science*. 172: 406–413.
2. Baranauskis K., Duchovskis P. 2006. Light-emitting diode-guided photosynthesis and morphogenesis of radish plants. Gamtos mokslų srities „Kur gamta siejasi su mokslu“ konferencija. Programa ir pranešimų tezės, 21–23.
3. Bliznikas Z., Breivė K., Tamulaitis G., Kurilčik G., Novičkovas A., Žukauskas A., Duchovskis P., Ulinskaitė R., Brazaitytė A., Šikšnianienė J. B. 2004. Pusiaidininė lempa augalų fotofiziologiniams procesams tirti ir valdyti. *Elektronika ir elektrotechnika*, 56 (7): 74–79.
4. Brazaitytė A., Duchovskis P., Ulinskaitė R., Šikšnianienė J. B., Jankauskienė J., Samuolienė G., Baranauskis K., Bliznikas Z., Breivė K., Novičkovas A., Tamulaitis G., Žukauskas A. 2004. Impact of spectral composition of illumination on photosynthetic pigment amount and photosynthesis intensity in onion leaves. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 23 (3): 54–64.
5. Brazaitytė A., Ulinskaitė R., Duchovskis P., Samuolienė G., Šikšnianienė J. B., Jankauskienė J., Šabajevienė G., Baranauskis K., Stanienė G. 2006. Optimization of Lighting spectrum for photosynthetic system and productivity of lettuce by using light-emitting diodes. *Acta Horticulturae*, 711: 183–188.
6. Chory J., Chatterjee M., Cook R. K., Elich T., Fankhauser C., Li J., Nagpal P., Neff M., Pepper A., Poole D., Reed J., Vitart V. 1996. From seed germination to flowering, light controls plant development via the pigment phytochrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, USA*. 93: 12 066–12 071.
7. Datta R., Sharma R. 1999. Temporal and spatial regulation of nitrate reductase and nitrite reductase in greening maize leaves, *Plant Science*. 144: 77–83.
8. Devlin P. F., Christie J. M., Terry M. J. 2007. Many hands make light work. *Journal of Experimental Botany*, 58: 3 071–3 077.
9. Dougher T. A., Bugbee B. G. 1998. Is blue light good or bad for plants? *Life Support Biosphere Sciences*, 5: 129–136.
10. Furuya M. 1993. Phytochromes: their molecular species, gene families and functions. *Annual. Review of Plant Physiology*, 44: 617–645.
11. Geniatakis E., Fousaki M., Chaniotakis N. A. 2003. Direct potentiometric measurement of nitrate in seeds and produce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 571–579.

12. Heo J., Lee C., Chakrabarty D., Paek K. 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38: 225–230.
13. Janghel E. K., Gupta V. K., Rai M. K., Rai J. K. 2007. Micro determination of ascorbic acid using methyl viologen. *Talanta*, 72: 1013–1016.
14. Kasparavičienė G., Briedis V., Ivanauskas L. 2004. Šaltalankių aliejaus technologijos įtaka jo antioksidaciniam aktyvumui. *Medicina*, 40: 753–757.
15. Kopcewicz J., Lewak S. 1998. *Podstawy fizjologii roślin*. PWN, Warszawa.
16. Kurilčik A., Miklušytė-Čanova R., Dapkūnienė S., Žilinskaitė S., Kurilčik G., Tamulaitis G., Duchovskis P., Žukauskas A. 2008. *In vitro* culture of Chrysanthemum plantlets using light-emitting diodes. *Central European Journal of Biology*, 3(2): 161–167.
17. Kurilčik A., Miklušytė-Čanova R., Žilinskaitė S., Dapkūnienė S., Duchovskis P., Kurilčik G., Tamulaitis G., Žukauskas A. 2007. *In vitro* cultivation of grape culture under solid-state lighting. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 26(3): 235–245.
18. Murkovic M., Hillebrand A., Draxl S., Pfanhauser W. 1999. Distribution of fatty acids and vitamin E content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.) in breeding lines. *Acta Horticulturae*, 492: 47–55.
19. Ragaei S., El-Sayed M., Abdel-Aal, Maher Noaman. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry*, 95: 32–38.
20. Samuolienė G., Šabajevienė G., Urbonavičiūtė A., Duchovskis P. 2007. Carrot flowering initiation: light effect, photosynthetic pigments, carbohydrates. *Acta Biologica Szegediensis*, 51(1): 39–42.
21. Samuolienė G., Šikšnianienė J. B., Duchovskis P., Brazaitytė A., Ulinskaitė R., Baranauskis K. 2004. Šviesos kokybės įtaka valgomųjų morkų fiziologiniams procesams evokacijos bei žiedų iniciacijos tarpsniais. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 23 (1): 78–87.
22. Samuolienė G., Duchovskis P., Šikšnianienė J., Brazaitytė A., Ulinskaitė R., Tamulaitis G., Bliznikas Z., Kurilčik G., Žukauskas A. 2006. Flowering initiation in carrots by tailoring the illumination spectrum. *Acta Horticulturae*, 711: 279–284.
23. Samuolienė G., Urbonavičiūtė A., Šabajevienė G., Duchovskis P. 2008. Flowering initiation in carrot and caraway. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 27: 17–25.
24. Tamulaitis G., Duchovskis P., Bliznikas Z., Breivė K., Ulinskaitė R., Brazaitytė A., Novičkovas A., Žukauskas A., Shur M. S. 2004. High-power LEDs for plant cultivation. *Proceedings of SPIE*, 5 530: 165–173.
25. Tamulaitis G., Duchovskis P., Bliznikas Z., Breivė K., Ulinskaitė R., Brazaitytė A., Novičkovas A., Žukauskas A. 2005. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38(17): 3 128–3 187.
26. Ulinskaitė R., Duchovskis P., Brazaitytė A., Jankauskienė J., Viškėlis P., Šikšnianienė J. B., Samuolienė G., Šabajevienė G., Bliznikas Z., Breivė K., Novičkovas A., Tamulaitis G., Žukauskas A. 2004. Influence of illumination

- spectrum on growth and quality of onion leaves. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 23(3): 44–53.
27. Urbonavičiūtė A., Pinho P., Samuolienė G., Duchovskis P., Vitta P., Stonkus A., Tamulaitis G., Žukauskas A., Halonen L. 2007 a. Effect of Short-Wavelength Light on Lettuce growth and nutritional quality. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 26(1): 157–165.
 28. Urbonavičiūtė A., Pinho P., Samuolienė G., Duchovskis P., Vitta P., Stonkus A., Tamulaitis G., Žukauskas A., Halonen L. 2007 b. Influence of bicomponent complementary illumination on development of radish. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 26(4): 309–316.
 29. Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Brazaitytė A., Ulinskaitė R., Jankauskienė J., Duchovskis P., Žukauskas A. 2008. The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 27: 83–92.
 30. Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Sakalauskaitė J., Duchovskis P., Brazaitytė A., Šikšnianienė J. B., Ulinskaitė R., Šabajevienė G., Baranauskis K. 2006. The effect of elevated CO₂ concentration on leaf carbohydrate content and photosynthesis in radish. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(6): 921–925.
 31. Wang Y., Mopper S., Hasenstein K. H. 2003. Effects of salinity on endogenous ABA, IAA, JA and SA in *Iris hexagona*. *Journal of Chemical Ecology*, 27: 327–342.
 32. Гавриленко В. Ф., Жыгалова Т. В. 2003. Большой практикум по фотосинтезу. Москва.

SODININKYSTĖ IR DARŽININKYSTĖ. SCIENTIFIC ARTICLES. 2008. 27(3).

Plant physiological investigations for the high technologies

A. Urbonavičiūtė, G. Samuolienė, A. Brazaitytė, J. Jankauskienė, A. Kurilčik, P. Duchovskis, A. Žukauskas

Summary

The review of photophysiological investigations performed at the Lithuanian Institute of Horticulture, Laboratory of plant physiology, are presented. The main directions of researches – the effect of light parameters on the flowering initiation of annual and biennial plants, *in vitro* plant morphogenesis, photosynthesis system, the dynamics of productivity and metabolism, which is directly associated with the vegetable yield and quality. Valuable results were obtained analyzing the effect of solid-state lighting on plants: tailoring the spectral composition it is possible to fate the morphogenetic processes, the trend of metabolism, to accelerate plant development. Collaborating with the physicists from the Institute of Materials Science and Applied Research at Vilnius University, national and international patents were subjected; the experimental lighting modules in the manufacturing greenhouses were installed.

Key words: solid-state lighting, photomorphogenesis, photosynthesis, metabolism, productivity.