

Šviesos intensyvumo poveikis organinių rūgščių, pigmentų metabolizmui bei mineralinių elementų kaupimuisi daržovėse

Lukas Simanavičius^{1,2}, Viktorija Vaštakaitė-Kairienė¹, Giedrė
Samuolienė^{1,3}

¹Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialas Sodinininkystės ir daržininkystės institutas, Kauno g. 30, LT-54333 Babtai, Kauno r.

²Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio g. 58, LT-44248 Kaunas

³Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r.

Šviesa yra vienas svarbiausių aplinkos veiksnių, reguliuojančių augalų fotosintezės sistemą, vystymąsi bei metabolizmą. Šiuo tyrimu siekta įvertinti šviesą emituojančių diodų fotonų srauto tankio poveikį organinių rūgščių, pigmentų metabolizmui ir mineralinių elementų kaupimuisi raudonlapėje sėjamojoje salotoje (*Lactuca sativa* L., 'Red Cos') ir valgomajame ridikėlyje (*Raphanus sativus* L., 'Cherry Belle'). LED poveikis – raudonos (660 nm) ir mėlynos (455 nm) spektro komponentų deriniai. Auginant ridikėlių ir salotų daigus iki 13 ir 14 augimo tarpsnio pagal BBCH skalę, apšvietimui buvo naudoti 150 ir 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) srautai. Pasiekus minėtus augimo tarpsnius, pakeistos augalų apšvietimo charakteristikos ir salotos bei ridikėliai iki 49 ir 43 BBCH skalės tarpsnio buvo auginti atitinkamai po 150; 250; 150→250; 250→150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ spinduliuotės srautais. Nustatyta, kad tiek apšvietimo intensyvumas, tiek augalo rūšis lemia organinių rūgščių, pigmentų metabolizmą bei mineralinių elementų kaupimą. Atlikus tyrimus nustatyti teigiami koreliaciniai ryšiai tarp chlorofilų ir ksantofilų, neigiami koreliaciniai ryšiai – tarp askorbo rūgšties, geležies ir sieros. Apšvietimo pakeitimas augalams esant daigo tarpsnio, nepriklausomai nuo apšvietimo intensyvumo derinių, didino organinių rūgščių, mineralinių elementų ir pigmentų kiekį salotose nuo ~1,5 iki ~3 kartų. Ridikėliuose, sumažinus tik apšvietimo intensyvumą jiems esant daigų tarpsnyje, organinių rūgščių, mineralinių elementų ir pigmentų kiekis padidėjo nuo ~1,2 iki ~1,9 karto, priklausomai nuo tirta metabolito.

Reikšminiai žodžiai: askorbo rūgštis, folio rūgštis, geležis, *Lactuca sativa*, *Raphanus sativus*, siera.

Įvadas. Šviesą emituojantys diodai (angl. *Light-emitting diode*, LED) pasauliniu mastu yra plačiai naudojami kaip apšvietimo šaltinis šiuolaikinėje daržininkystėje. LED apšvietimo technologija leidžia kontroliuoti apšvietimo spektro sudėtį bei intensyvumą, palyginti su kitomis apšvietimo technologijomis (Mitchell et al., 2012). Apšvietimo

intensyvumo kontroliavimas leidžia pagreitinti augalų augimą ir vystymąsi, reguliuoti augalų metabolizmo procesus (Nguyen et al., 2018; Yeh et al., 2009). Esant neoptimaliam (dideliam arba mažam) šviesos intensyvumui, augalas patiria stresą, kuris sumažina fotosintezės efektyvumą ir suintensyvina metabolizmą (Nguyen et al., 2018).

Karotenoidai yra plačiai paplitę gamtoje lipofiliniai izoprenoidai, turintys šimtus žinomų struktūrų (Botella-Pavia et al., 2004). Jie yra chloroplastų anteninio šviesą surenkančio komplekso dalis ir pagrindiniai augalų pigmentai (Bian, Yang, Liu 2014), suteikiantys žiedams ir vaisiams spalvą (Botella-Pavia et al., 2004). Jie augaluose atlieka apsauginę funkciją, saugo nuo laisvųjų radikalų poveikio (Ouzounis et al., 2015). Karotenoidai taip pat naudojami žalai, kurią sukelia fotosintetinantys komponentai, esantys aktyvios tripleto formos chlorofilo molekulėje, sumažinti (Bian et al., 2014). Remiantis chemine struktūra, karotenoidai yra klasifikuojami į dvi pagrindines klases: ksantofilus (liuteinas, zeaksantinas ir violaksantinas) ir karotenus (α -karotenas, β -karotenas). Ksantofilų cikle didelę reikšmę turi zeaksantinas. Jis, esant mažam apšvietimo intensyvumui, epoksiduojamas (regeneruojamas) iki violaksantino (Ouzounis et al., 2015; Li et al., 2000). Šis procesas yra vienas iš šviesa reguliuojamų procesų, kuris apsaugo nuo aktyvių deguonies formų (ROS) susidarymo. Karotenoidų ir ksantofilų metabolizmas priklauso nuo šviesos intensyvumo ir spektro sudėties. K. Ohaschi-Kaneko ir kt. (2007) nustatė, kad karotenoidų metabolizmui ir jų kiekiui špinatuose teigiamą įtaką daro mėlyna šviesa. Karotenoidų metabolizmui įtaką daro ne tik mėlynos ir raudonos šviesos komponentės, bet ir jų santykis šviesos sraute (Lefsrud et al., 2008). Literatūros šaltinių duomenimis, didesnis karotenoidų kiekis nustatytas salotose, augintose po raudonos ir mėlynos šviesos LED komponentių deriniu, palyginti su monochromatine raudona ir mėlyna LED šviesa (Chen et al., 2014).

Augaluose yra randama įvairių organinių rūgščių, tokių kaip askorbo, folio, oksalo, malo, ir kitų (Nazeri et al., 2018). Organinės rūgštys atlieka svarbų vaidmenį daugelyje medžiagų apykaitos procesų, jos dalyvauja: pernešant elektronus ir protonus, glutationo ir askorbato biosintezėje (Igamberdiev, Bykova, 2018). Organinės rūgštys, tokios kaip askorbo ir folio, yra svarbiausios žmogaus organizmui. Askorbo rūgštis (vitaminas C) yra pagrindinis žmogui reikalingas antioksidantas, jis dalyvauja įvairiuose medžiagų apykaitos procesuose (Fu et al., 2017). Atlikti tyrimai parodė, kad daržovėse yra daugiau kaip 90 % žmogui reikalingos vitamino C paros normos. Žmogus turi nuolat su maistu suvartoti pakankamą kiekį vitamino C, nes jis labai greitai skyla ir yra pašalinamas iš organizmo. Folio rūgštis, kaip ir askorbo, yra svarbi

žmogaus organizmui. Ji dalyvauja ląstelių dalijimosi reguliavimo ir diferenciacijos procesuose, reguliuoja centrinę nervų sistemą ir apsaugo nuo širdies ligų (Lester, 2006). Folatai yra labai svarbūs besilaukiančioms moterims, nes dalyvauja vaisiaus augimo procesuose, formuojant smegenų neuronines jungtis. (Scott et al., 2000). Organinių rūgščių kiekį daržovėse reguliuoja daugybė veiksnių, tačiau vienas svarbiausių yra šviesa. Tyrimų duomenimis, askorbo ir folio rūgšties kiekį daržovėse didina didelis fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) fotonų srautas (Wojciechowska et al., 2015). Askorbo rūgšties kiekiui salotose įtakos turi ir šviesos spektro sudėtis. Pavyzdžiui, mėlynos šviesos spektras skatina askorbo rūgšties kiekio didėjimą salotose (Samuolienė et al., 2012).

Vienas svarbiausių mineralinių elementų yra geležis (Fe). Ji reikalinga svarbioms ląstelių funkcijoms palaikyti, deguoniui pernešti, fermentinėms reakcijoms ir fotosintezei vykti, azotui fiksuoti. Fe yra viena svarbiausių augalų ir kitų fotosintetinančių organizmų maistinė medžiaga. Geležies homeostazės ir prieinamumo reguliavimas yra svarbus augalų optimaliam augimui ir produktyvumui užtikrinti (Montgomery et al., 2015). Geležis skirstoma į laisvąją, kurios randama augalų audiniuose, ir kompleksuose esančią, kurios randama tik gyvūninės kilmės produktuose. Laisvosios Fe kaupimą lemia Fe promotoriai (askorbo rūgštis, aminorūgštys, ksantofilai) (Przybysz et al., 2016; Clemens, 2014). Tyrimais nustatyta, kad Fe ir sieros (S) (Fe–S) kompleksas yra vienas pagrindinių kofaktorių komponentų fotosintezės baltymų kompleksuose (Shcolnick, Keren, 2006). Fe ir šviesos perteklius gali sukelti organizmo senėjimą, nes susidaro ROS (aktyvios deguonies formos). Superoksidas, vandenilio peroksidas ir kitos ROS molekulės susidaro augalui augant streso sąlygomis, esant intensyviai apšvietimui (Li et al., 2009). Streso sąlygomis susidaro reaktyvūs ir žalingi hidroksilo radikalai. Sąveika tarp šviesos absorbcijos, slėgio, oksidacinių pažeidimų ir Fe homeostazės yra itin svarbi fotosintetinantiesiems organizmams, kad jie galėtų greitai prisitaikyti prie kintančių aplinkos sąlygų (Montgomery et al., 2015). ROS lygis gali padidėti, kai šviesos sužadinimas viršija fotosintetinį ląstelių pajėgumą. Tokį disbalansą gali sukelti ribotas Fe kiekis ląstelėje (Li et al., 2009).

Darbo tikslas – įvertinti šviesą emituojančių diodų fotonų srauto tankio poveikį organinių rūgščių, pigmentų metabolizmui bei mineralinių elementų kaupimuisi raudonlapėje sėjamojoje salotoje (*Lactuca sativa* L., ‘Red Cos’) ir valgomajame ridikėlyje (*Raphanus sativus* L., ‘Cherry Belle’).

Tyrimo objektas, metodai ir sąlygos. Tyrimai atlikti Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Sodininkystės ir daržininkystės instituto uždaroje kontroliuojamo klimato kameroje. Tyrimų objektas – raudonlapė sėjamoji salota (*Lactuca sativa* L., ‘Red Cos’) (lapai) ir valgomasis ridikėlis (*Raphanus sativus* L., ‘Cherry Belle’) (lapai ir šakniavaisiai). Salotos ir ridikėliai buvo auginti kontroliuojamo klimato sąlygomis, apšvietimui naudoti kompiuteriu reguliuojamų šviesos spektro ir srauto parametrų šviesą emituojančių diodų (LED) šviestuvai. Salotos augintos esant $21/17 \pm 2$ °C dienos/nakties temperatūrai, ridikėliai – $18/14 \pm 2$ °C temperatūrai. Kameroje buvo palaikomas ~55 % santykinis drėgnis ir 16 val. fotoperiodas. Salotos ir ridikėliai auginti plastikinėse daigyklėse (90 ml tūrio nareliais), po vieną augalą narelyje, imituojant mažo tūrio auginimo sistemos sąlygas. Auginta durpių substrate „Profi 1“ („Durpeta“, Lietuva), kurio pH 5,5–6,5. Vidutinis mitybinių medžiagų kiekis (mg L^{-1}) substrate: N – 100–120; P_2O_5 – 30–80; K_2O – 120–200; Ca – 242; Mg – 29,5; S – 212. Į substratą įmaišyta mikroelementų (mg L^{-1}): Fe – 1,7; Mn – 0,5; Cu – 31; B – 2 ir Zn – 1,6. Substrato elektrinis laidis – $0,5\text{--}0,9 \text{ m}^{\text{S}} \text{ cm}^{-1}$. Praėjus dviem savaitėms nuo sudygimo, daržovės pradėtos tolygiai laistyti 80 % maitinamuoju trąšų tirpalu „PLAGRON tera grow“ (H_2O , KNO_3 , K_2HPO_4 , NH_4NO_3 , H_3PO_4). NPK trąšų santykis – 3:1:3. Bendrame azoto kiekyje 2 % sudaro NO_3 , 0,6 % – NH_4 . P_2O_3 sudaro 1,6 %, K_2O – 3,1 %. Optimalus drėgmės kiekis palaikytas substratą laistant vandeniu.

Tiriant LED šviesos fotonų srauto tankio įtaką pigmentų, organinių rūgščių ir mineralinių elementų kaupimuisi raudonlapėse salotose ir ridikėliuose, naudoti raudonų (660 nm) ir mėlynų (455 nm) LED deriniai. Auginant daigus, naudoti $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ir $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės (FAS) srautai. Salotų ir ridikėlių daigai auginti atitinkamai iki 13 ir 14 augimo tarpsnio pagal BBCH skalę. Pasiekus minėtus augimo tarpsnius, daliai augalų buvo pakeistos apšvietimo sąlygos, likusios salotos ir ridikėliai visą laiką augo taikant tokį patį apšvietimo intensyvumą atitinkamai iki 49 ir 43 BBCH skalės tarpsnio (techninės brandos) (1 lentelė).

Fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės fotonų srauto tankis matuotas fotometriniu radiometru RF 100 („Sonopan“, Lenkija).

1 lentelė. Bandomo schema
Table 1. Research scheme

Bendras srautas / Total flow	Srautas / Flow, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			
	daigai / sprouts		iki techninės brandos / up to technical maturity	
	M 447	R 660	M 447	R 660
150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			30	120
150→250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	30	120	50	200
250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			50	200
250→150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	50	200	30	120

Pastabos / Notes:

M – mėlynos spalvos LED diodai / blue LED diodes;

R – raudonos spalvos LED diodai / red LED diodes.

Fotosintezės pigmentų kiekio nustatymas. 0,5 g žalios masės (ŽM) buvo homogenizuota su skystu azotu, užpilant lediniu 80 % acetonu santykiu 1:10. Mėginys centrifuguojamas 5 min. esant 2 500 aps./min. Karotenoidų kiekis nustatytas M. Edelenbos ir kt. (2001) metodu. Ekstraktai analizuoti naudojant „Shimadzu HPLC 10A“ modelio chromatografą (Japonija) su diodų matricos detektoriumi SPD-M 10A VP, kolonėlės termostatu CTO-10AS VP, degazeriu DGU-14A ir dviem siurbliais LC-10AT VP, diodų matricos detektoriumi SIL-20AC. Karotenoidai skirstyti ir nustatyti „Chromegabond C30“ kolonėle (150 × 2,1 mm, 3 μ) („ES Industries“, JAV), palaikant 20 °C temperatūrą. Judrioji fazė: A (80 % metanolio – 20 % vandens), B (100 % etilacetato). Gradientas: 0 min. 20 % B, 2,5–7,5 min. 30 % B, 15 min. 80 % B, 25 min. 100 % B, 30–35 min. 20 % B. Tėkmės greitis – 0,2 mL min⁻¹. Detekcijos bangos ilgis – $\lambda = 440 \text{ nm}$. Karotenoidų koncentracijos buvo apskaičiuotos pagal standartų kalibravimo kreivę. Rezultatai pateikiami kaip matavimų vidurkiai $\mu\text{g g}^{-1}$ sausoje masėje (SM) su standartiniais nuokrypiais.

Organinių rūgščių kiekio nustatymas. 0,5 g ŽM homogenizuota su skystu azotu, praskiesta dejonizuotu vandeniu ir 30 minučių laikoma ultragarso vonelėje. Organinių rūgščių kiekis mėginiuose buvo nustatytas modifikuotu Y. Wang ir kt. (2014) metodu. Ekstraktai analizuoti naudojant „Shimadzu HPLC 10A“ modelio chromatografą (Japonija) su diodų matricos detektoriumi SPD-M 10A VP, kolonėlės termostatu CTO-10AS VP, degazeriu DGU-14A ir siurbliu LC-10AT VP, diodų matricos detektoriumi SIL-20AC. Organinės rūgštys skirstytos ir nustatytos

Lichrosorb RP –18, 5 μ , 4,6 mm \times 250 mm, 5 μ m kolonėle („Phenomenex“, JAV), palaikant 40 °C temperatūrą. Judrioji fazė – 0,01 mol L⁻¹ sieros rūgštis, praskiesta dejonizuotu vandeniu. Tėkmės greitis – 0,5 mL min⁻¹. Detekcijos bangos ilgis – λ = 210 nm. Organinių rūgščių koncentracijos buvo apskaičiuotos pagal standartų kalibravimo kreivę. Rezultatai pateikiami kaip matavimų vidurkiai mg g⁻¹ SM su standartiniais nuokrypiais.

Geležies ir sieros koncentracija salotose ir ridikėliuose buvo nustatyta mineralizavimo metodu, derinant su indukcinio būdu sujungta plazmos optinės emisijos spektrometrija (Marin et al., 2011). Mėginys paruoštas iš 0,5 g sausos augalinės žaliavos ir 8 mL 65 % HNO₃. Mėginiui paruošti naudota mikrobanginio mineralizavimo sistema „Multiwave GO“ („Anton Paar GmbH“, Austrija). Mėginiai analizuoti induktyviai susietos plazmos optinės emisijos spektrometru (angl. *Inductively coupled plasma optical emission spectrometer*, ICP-OES) („Spectro Genesis“, „SPECTRO Analytical Instruments“, Vokietija). Fe ir S kiekiai buvo apskaičiuoti pagal standartų kalibravimo kreivę. Rezultatai pateikiami kaip matavimų vidurkiai mg g⁻¹ SM su standartiniais nuokrypiais.

Duomenys apdoroti „MS Excel“ ir XLSTAT statistine ir duomenų analizės programa (Boston, USA). Reikšmingumo lygis buvo nustatytas pagal Fišerio LSD kriterijų.

Rezultatai ir aptarimas. Įvertinus fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srauto ir šviesos spektro poveikį chlorofilo *a*, chlorofilo *b* ir ksantofilų (zeaksantino + liuteino) koncentracijų kitimui raudonlapėse sėjamosiose salotose ir valgomuosiuose ridikėliuose nustatyta, kad augalo rūšis ir šviesos parametrai turi reikšmingos įtakos tirtų junginių metabolizmui (2 lentelė). Šviesos srauto poveikis skirtingai veikė chlorofilų ir ksantofilų metabolizmą ridikėliuose ir salotose. Ridikėlių daigai, auginti apšviečiant optimaliu 250 μ mol m⁻² s⁻¹ FAS srautu ir vėliau perkelti į 150 μ mol m⁻² s⁻¹ FAS srautą, paskatino chlorofilo *a*, chlorofilo *b* ir ksantofilų metabolizmą ~2 – ~3 kartus, palyginti su kitais apšvietimo deriniais (2 lentelė) Tačiau apšvietimo parametų keitimas neturėjo įtakos chlorofilų ir ksantofilų metabolizmui raudonlapėse salotose (2 lentelė). Panašias tendencijas pastebėjo ir kiti autoriai. Pasak D. Žnidarčič ir kt. (2011), ksantofilų metabolizmo intensyvumas priklauso nuo augalo rūšies ir kiekvienos rūšies jis yra kitoks.

Apšvietimo pakeitimas augalams esant daigų tarpsnio darė įtaką chlorofilų bei ksantofilų metabolizmui ridikėliuose, tačiau metabolizmui salotose įtakos neturėjo. Lyginant ridikėlius, visą tyrimo laikotarpį augintus po 150 μ mol m⁻² s⁻¹ FAS srautu, su ridikėliais, augintais po 150 μ mol m⁻² s⁻¹ ir vėliau perneštais po 250 μ mol m⁻² s⁻¹ FAS srautu,

nustatyta, kad šie ridikėliai sukaupe iš esmės mažesnius chlorofilų ir zeaksantino + liuteino kiekius. Tačiau lyginant ridikėlius, visą tyrimo laikotarpį augintus po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, su ridikėliais, augintais po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau perneštais po 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, nustatyta, kad šie ridikėliai sukaupe iš esmės didesnius chlorofilų (~2 – ~3 kartus) ir zeaksantino + liuteino (~2 kartus) kiekius (2 lentelė). Panašias tendencijas pastebėjo M. T. Terfa su bendraautoriais (2013): didesnius chlorofilų kiekius daržovės sukaupia esant didesniam LED šviesos intensyvumui. Nors zeaksantino + liuteino metabolizmą skatino šviesos intensyvumo sumažinimas, tačiau buvo sukaupti palyginti nedideli šių junginių kiekiai. A. F. Perry ir kt. (2009) taip pat nustatė labai mažą ksantofilų (zeaksantino + liuteino) kiekį daržovėse. Pasak A. Wisniewskos ir W. K. Subczynski (2006), zeaksantinas ir liuteinas mažina tikimybę susirgti akių ligomis, taip pat lėtina senėjimo procesus.

2 lentelė. Fotonų srauto tankio įtaka pigmentų kiekiui daržovėse
Table 2. Influence of photon flux density on pigments content in vegetables

Fotonų srauto tankis / Photon flux density, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Chl-a kiekis / Chl-a content, $\mu\text{g g}^{-1}$ (SM / DW)	Chl-b kiekis / Chl-b content, $\mu\text{g g}^{-1}$ (SM / DW)	Zeaksantino + liuteino kiekis / Zeaxanthin + liutein + content, $\mu\text{g g}^{-1}$ (SM / DW)
Raudonlapė sėjamoji salota (lapai) / Lettuce (red leaf), (leaf)			
150	455,21	118,64	1,97
150→250	416,91	111,94	1,94
250	393,28	114,80	2,08
250→150	428,77	130,30	2,18
$R_{05} / \text{LSD}_{05} =$	41,09	11,33	0,508
Valgomasis ridikėlis (lapai) / Radish (leaf)			
150	319,78	94,21 ^a	2,20
150→250	321,88	84,72	2,03
250	119,55 ^b	54,16 ^b	1,36
250→150	657,41 ^a	176,52 ^a	5,12
$R_{05} / \text{LSD}_{05} =$	61,17	17,47	0,25

Pastabos / Notes:

SM – sausoje masėje / DW – dry weight;

a – reikšmės statistiškai patikimai didesnės už vidurkį, kai $P \leq 0,05$ / values are significantly higher than mean at $P \leq 0,05$;

b – reikšmės statistiškai patikimai mažesnės už vidurkį, kai $P \leq 0,05$ / values are significantly higher than mean at $P \leq 0,05$

Gautais tyrimo duomenimis, ridikėliai, auginti po 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau pernešti po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, sukaupe iš esmės

mažesnius chlorofilų (~2 kartus) ir liuteino + zeaksantino (~2 kartus) kiekius, palyginti su ridikėliais, augintais po $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau perneštais po $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu (2 lentelė). Tyrimo rezultatus patvirtina ir kitų autorių atlikti ankstesni tyrimai: nustatyta, kad esant dideliame apšvietimo intensyvumui chlorofilų kiekis ridikėlių, salotų ir špinatų (Fu et al., 2017; Yorio et al., 2001), kopūstų (Leifstrud et al., 2008) lapuose mažėja, bet didėja jų efektyvumas (Fu et al., 2017).

Įvertinus fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srauto ir šviesos spektro poveikį askorbo rūgšties, folio rūgšties, Fe ir S koncentracijų kitimui raudonlapėse sėjamosiose salotose ir valgomuosiuose ridikėliuose, nustatyta, kad augalo rūšis ir šviesos parametrai turi reikšmingos įtakos tirtų junginių metabolizmui (3 lentelė). Gauti rezultatai rodo, kad ridikėliai ir salotos, auginti apšviečiant optimaliu $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu ir vėliau perkelti po $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, sukaupe atitinkamai ~2 kartus ir ~3 kartus daugiau askorbo rūgšties, palyginti su kitais apšvietimo variantais. Panašios tendencijos pastebėtos tiriant špinatus. Pasak A. C. Chang ir kt. (2013), šviesos intensyvumui didėjant, askorbo rūgšties koncentracija špinatuose mažėja. Kiti autoriai (Colonna et al., 2016), atlikę tyrimus su dešimčia žalumyninių daržovių, išaugintų mažo ir didelio FAS srauto sąlygomis, nustatė, kad šviesos srautas turi reikšmingos įtakos kitiems antioksidantams daržovių audiniuose, tačiau nedaro esminės įtakos askorbo rūgšties kiekiui.

Tyrimais nustatyta, kad apšvietimo pakeitimas augalams esant daigų tarpsnio darė įtaką askorbo rūgšties metabolizmui ridikėliuose ir salotose. Ridikėliai ir salotos, auginti po $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau pernešti po $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, sukaupe atitinkamai ~2 kartus ir ~3 kartus didesnius askorbo rūgšties kiekius, palyginti su ridikėliais ir salotomis, visą tyrimo laikotarpį augintais po $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu. Lygiai taip pat ridikėliai ir salotos, auginti po $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau pernešti po $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, sukaupe atitinkamai ~2 kartus ir ~1,2 karto didesnius askorbo rūgšties kiekius, palyginti su ridikėliais ir salotomis, visą tyrimo laikotarpį augintais po $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu (3 lentelė). Mūsų gauti rezultatai patvirtina kitų tyrimų išvadas, kad askorbo rūgšties biosintezę reguliuoja šviesos fotonų srauto tankis (Fu et al., 2017).

Fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srautas darė skirtingą poveikį folio rūgšties metabolizmui salotose ir ridikėliuose. Tyrimais nustatyta, kad didžiausią teigiamą įtaką salotose sukauptam folio rūgšties kiekiui darė $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau sumažintas iki $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautas. Folio rūgšties kiekiui ridikėliuose skirtingi apšvietimo srautai esminės įtakos neturėjo. Iš gautų rezultatų galima spręsti, kad

srauto pakeitimas augalams esant daigų tarpsnio darė skirtingą, bet reikšmingą įtaką folio rūgšties metabolizmui ridikėliuose ir salotose (3 lentelė). Salotos, augintos po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau perneštos po 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, sukaupe ~ 2 kartus didesnius folio rūgšties kiekius, palyginti su salotomis, visą tyrimo laikotarpį augintomis po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu. Folio rūgšties metabolizmui ridikėliuose, priešingai negu salotose, apšvietimo srauto pakeitimas po daigų tarpsnio esminės įtakos neturėjo.

3 lentelė. Fotonų srauto tankio įtaka organinių rūgščių ir mineralinių elementų kiekiui

Table 3. Influence of photon flux density on organic acids and mineral elements content

Fotonų srauto tankis / Photon flux density, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Askorbo rūgšties kiekis / Ascorbic acid content, mg g^{-1} (SM / DW)	Folio rūgšties kiekis / Folic acid content, mg g^{-1} (SM / DW)	Geležies kiekis / Iron content, mg g^{-1} (SM / DW)	Sieros kiekis / Sulfur content, mg g^{-1} (SM / DW)
Raudonlapė sėjamoji salota (lapai) / Lettuce (red-leaf), (leaf)				
150	4,83 ^b	0,343	0,798	3,764 ^a
150→250	17,34	0,305	0,857 ^a	3,581 ^b
250	15,69	0,248	0,738 ^b	3,574 ^b
250→150	20,35 ^a	0,429 ^a	0,771 ^b	3,949 ^a
$R_{05} / \text{LSD}_{05} =$	2,19	0,052	0,003	0,012
Valgomasis ridikėlis (šakniavaisiai) / Radish (roots)				
150	1,62	0,079	0,115 ^a	19,490 ^a
150→250	2,53	0,052	0,119 ^a	16,767 ^b
250	1,55	0,058	0,113 ^b	18,337 ^a
250→150	3,67 ^a	0,061	0,108 ^b	17,146 ^b
$R_{05} / \text{LSD}_{05} =$	0,402	0,013	0,00	0,104

Pastabos / Notes:

SM – sausoje masėje / DW – dry weight;

a – reikšmės statistiškai patikimai didesnės už vidurkį, kai $P \leq 0,05$ / values are significantly higher than mean at $P \leq 0,05$;

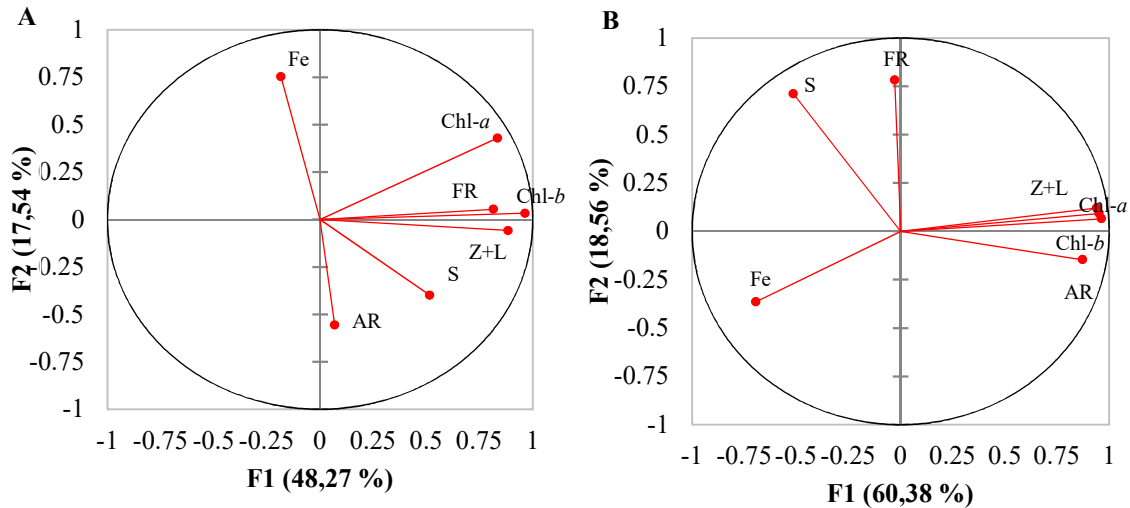
b – reikšmės statistiškai patikimai mažesnės už vidurkį, kai $P \leq 0,05$ / values are significantly higher than mean at $P \leq 0,05$.

Atlikus mineralinių elementų spektrometrinę analizę, nustatyta, kad didžiausi Fe ir S kiekiai salotose buvo sukaupti tuo atveju, kai jos buvo augintos po 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir vėliau perneštos po iki 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ padidintu FAS srautu (3 lentelė). Lyginant su kitais apšvietimo srautais,

nustatyta, kad po minėtu FAS srautu sukaupia ~1,2 karto daugiau geležies ir ~1,1 karto daugiau sieros. Ridikėliuose pastebėta panaši tendencija: esant mažam – $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ – FAS srautui, buvo sukaupiti didžiausi Fe ir S kiekiai. Gauti rezultatai rodo, kad, padidinus apšvietimo intensyvumą, tiek raudonlapėse salotose, tiek ridikėliuose susikaupė daugiau geležies ir mažiau sieros. Tyrimo rezultatus patvirtina ir kitų autorių gauti rezultatai. Anot B. L. Montgomery ir kt. (2015), šviesa ir Fe yra susiję, nes gebėjimas fotosintezės metu konvertuoti fotonus chloroplastuose į cheminę energiją reikalauja Fe turinčių junginių. Atlikus tyrimus taip pat nustatyta, kad Fe ir S kaupimasis priklauso ne tik nuo apšvietimo intensyvumo, bet ir nuo augalo rūšies: pavyzdžiui, ridikėliai, lyginant su salotomis, sukaupė ~6 kartus mažiau Fe ir ~5,5 karto mažiau S. Panašias tendencijas pastebėjo ir kiti autoriai. Pasak Y. Wei ir kt. (2013), geležies kaupimasis priklauso nuo augalo rūšies ir veislės.

Norint išsiaiškinti tirtų junginių priklausomybes salotose ir ridikėliuose, buvo atlikta koreliacinė analizė. Ji parodė stiprų teigiamą koreliacinį ryšį tarp chlorofilo *a* ir chlorofilo *b*, chlorofilų ir zeaksantino + liuteino raudonlapėje salotoje ir valgomajame ridikėlyje (1 pav). Teigiamas koreliacinis ryšys tarp chlorofilų ir karotenoidų kiekių buvo nustatytas ir šveicariško lapinio burokėlio lapuose (Ihl et al., 2006), kopūstuose ir kitų veislių salotose (Kopsell et al., 2004). Taip pat ridikėliuose nustatytas vidutiniškai stiprus neigiamas koreliacinis ryšys tarp chlorofilų ir Fe. Mūsų gauti rezultatai patvirtina kitų tyrimų rezultatus: chlorofilų metabolizmas yra susijęs su Fe kaupimusi daržovėse (Montgomery et al., 2015). C. R. Caldwell ir S. J. Britz (2006) tirtose daržovėse taip pat nustatė vidutiniškai stiprų neigiamą koreliacinį ryšį tarp Fe ir chlorofilo *b*. Atlikus analizę ridikėliuose (1 pav. B), nustatyti stiprūs teigiami koreliaciniai ryšiai tarp askorbo rūgšties ir chlorofilų ir tarp askorbo rūgšties ir zeaksantino + liuteino. Atlikus koreliacinę analizę salotose (1 pav. A), nustatytas vidutinio stiprumo koreliacinis ryšys tarp folio rūgšties ir chlorofilų, tačiau ridikėliuose statistiškai patikimo koreliacinio ryšio tarp šių junginių nenustatyta.

Neigiamas koreliacinis ryšys salotose ir ridikėliuose nustatytas tarp askorbo rūgšties, Fe ir S. Šie rezultatai atitinka ankstesnių tyrimų rezultatus, kurie parodo, kad Fe kaupimasis daržovėse priklauso nuo askorbo rūgšties kiekio, nes askorbo rūgštis ir kitos organinės rūgštys veikia kaip inhibitoriai, mažinantys Fe kaupimąsi (Hurrell, Egli, 2010).

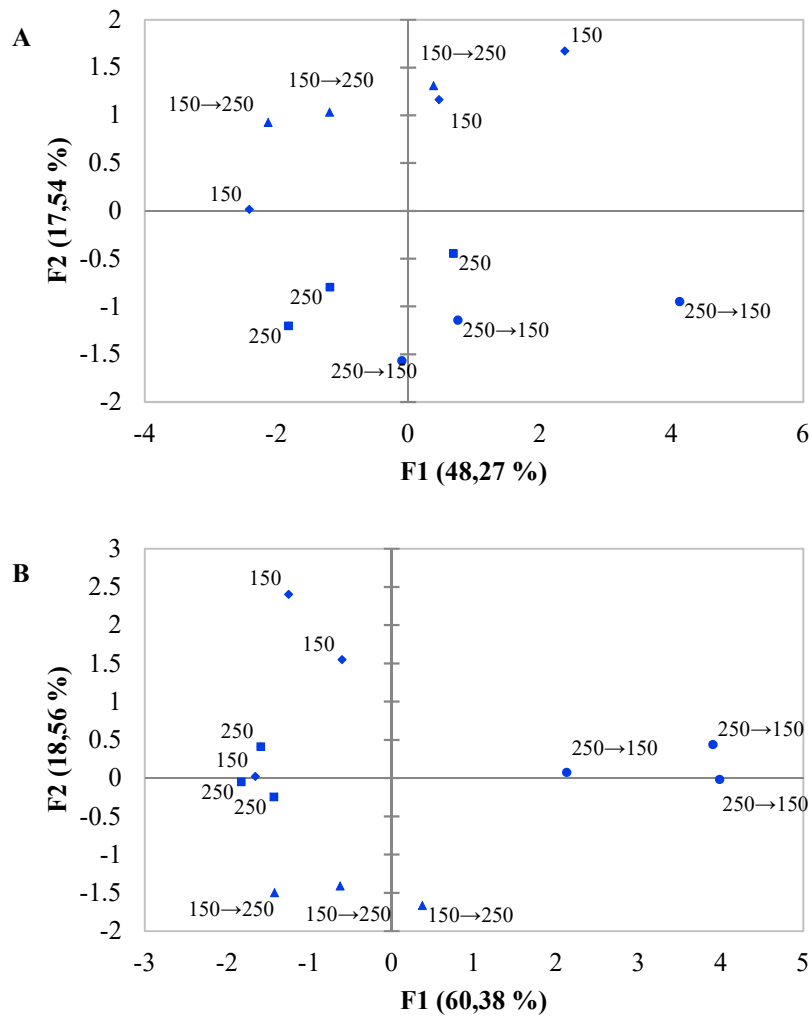


1 pav. Tirtų rodiklių atsakas į srauto poveikį raudonlapėje salotoje (A) ir valgomajame ridikėlyje (B): Fe – geležis; FR – folio rūgštis; AR – askorbo rūgštis; Chl-a – chlorofilas *a*; Chl-b – chlorofilas *b*; Z + L – zeaksantinas + liuteinas; S – siera

Fig. 1 The response of investigated indices on flux density in red leaf lettuce (A) and radishes (B). Fe – iron; FR – folic acid; AR – ascorbic acid; Chl-a – chlorophyll-a; Chl-b – chlorophyll-b; Z + L – zeaxantin + liutein; S – sulfur

Principinių komponentių analizė (PCA) parodo metabolitų pokyčius tirtose daržovėse esant skirtingam šviesos intensyvumui (2 pav.). Rezultatų sklaida parodė, kad metabolizmas ir jo intensyvumas priklausė nuo šviesos intensyvumo esant skirtingam augalo išsivystymo lygiui.

Raudonlapėje salotoje PCA parodė skirtingų metabolitų kaupimosi priklausomybes. Pagal jas augalai suskirstyti į dvi grupes: 1) augalai, visą vegetacijos laikotarpį auginti esant 150 ar 150→250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 2) augalai, auginti esant 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir 150→250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apšvietimo intensyvumo deriniams (2 pav. A). Iš gautų rezultatų galima spręsti, kad, visą augimo laikotarpį salotas auginant po 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, metabolitų atsakas yra skirtingas. Tačiau salotų, kurių apšvietimo intensyvumas, joms esant daigų tarpsnio, buvo pakeistas, metabolitų atsakas į apšvietimo intensyvumo sumažinimą ar padidinimą buvo toks pat. Todėl galima teigti, kad apšvietimo pokytis, nepriklausomai nuo intensyvumo derinių, turi panašų poveikį tirtų metabolitų kitimui.



2 pav. Raudonlapių salotų (A) ir valgomųjų ridikėlių (B) principinių komponentių analizė

Fig. 2 Red leaf lettuce (A) and radishes (B) principal components analysis

PCA ridikėliuose parodė skirtingų metabolitų kaupimosi priklausomybes. Pagal jas augalai skirstomi į augintus esant 150 ar 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ visą vegetacijos laikotarpį ir augintus esant 150→250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ir 150→250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apšvietimo deriniams (2 pav. B). Iš gautų rezultatų galima spręsti, kad tiek ridikėlių, visą augimo laikotarpį augintų esant 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautui, tiek ridikėlių, augintų po 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FAS srautu, metabolitų atsakas buvo vienodas,

tačiau apšvietimo intensyvumo pakeitimas nuo daigo iki techninės brandos tarpsnio lėmė skirtingą metabolitų atsaką.

Išvados. 1. Nustatyta, kad tiek apšvietimo intensyvumas, tiek augalo rūšis lemia organinių rūgščių, pigmentų metabolizmą bei mineralinių elementų kaupimą tirtose daržovėse.

2. Nustatyti teigiami koreliaciniai ryšiai tarp chlorofilų ir ksantofilų, neigiami koreliaciniai ryšiai – tarp askorbo rūgšties, Fe ir S.

3. Apšvietimo pakeitimas augalams esant daigo tarpsnio, nepriklausomai nuo apšvietimo intensyvumo derinių, nuo ~1,5 iki ~3 kartų didino organinių rūgščių, mineralinių elementų ir pigmentų kiekį raudonlapėje sėjamojoje salotoje.

4. Šviesos intensyvumo sumažinimas valgomajam ridikėliui neturėjo tokios didelės įtakos kaip raudonlapėi sėjamajai salotai ir skatino organinių rūgščių ir pigmentų metabolizmą, mineralinių elementų kaupimąsi tik nuo ~1,2 iki ~1,9 karto.

5. Pastebėta, kad salotų apšvietimo intensyvumo sumažinimas arba padidėjimas nuo daigo iki techninės brandos tarpsnio neturėjo esminės įtakos metabolitų kitimui. Ridikėliuose nustatyta, kad apšvietimo intensyvumo pakeitimas nuo daigo iki techninės brandos tarpsnio lėmė skirtingą metabolitų atsaką į sumažintą ar padidintą apšvietimo intensyvumą.

Padėka. Šis tyrimas finansuotas Lietuvos mokslų tarybos pagal dotaciją (Nr. 09.3.3.-LMT-K-712-10-0188).

*Gauta 2019-04-11
Parengta 2019-05-27*

Literatūra

1. Bian Z. H., Yang Q. C., Liu W. K. 2014. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 95: 869–877.
2. Botella-Pavía P., Besumbes O., Phillips M. A., Carretero-Paulet L., Boronat A., Rodriguez-Concepcion M. 2004. Regulation of carotenoid biosynthesis in plants: evidence for a key role of hydroxymethylbutenyl diphosphate reductase in controlling the supply of plastidial isoprenoid precursors. *The Plant Journal*, 40: 188–199.

3. Caldwell C. R., Britz S. J. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 637–644.
4. Chang A. C., Yang T. Y., Riskowski G. L. 2013. Ascorbic acid, nitrate, and nitrite concentration relationship to the 24 h light / dark cycle for spinach grown in different conditions. *Food Chemistry*, 138: 382–388.
5. Chen X., Guo W., Xue X., Wang L., Qiao X. 2014. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*, 172: 168–175.
6. Clemens S. 2014. Zn and Fe biofortification: the right chemical environment for human bioavailability. *Plant Sci*, 225: 52–57.
7. Colonna E., Roupheal Y., Barbieri G., De Pascale S. de. 2016. Nutritional quality of ten leafy vegetables harvested at two light intensities. *Food Chemistry*, 199: 702–710.
8. Edelenbos M., Christensen L. P., Grevsen K. 2001. HPLC determination of chlorophyll and carotenoid pigments in processed green pea cultivars (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4768–4774.
9. Fu Y., Li H. Y., Yu J., Liu H., Cao Z. Y., Manukovsky N. S., Liu H., 2017. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Varvar. youmaicai). *Scientia Horticulturae*, 214: 51–57.
10. Hurrell R., Egli I. 2010. Iron bioavailability and dietary reference values. *Am. J. Clin. Nutr.*, 91: 1461S–1467S.
11. Yeh N., Chung J. P. 2009. High-brightness LEDs – energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renew Sustain Energy Rev.*, 13: 2175–2180.
12. Igamberdiev A. U, Bykova N. V. 2018. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism and mediation of redox signalling in photosynthetic tissues of higher plants. *Free Radical Biology and Medicine*, 122: 74–85.
13. Ihl M., Shene C., Scheuermann E., Bifani V. 2006. Correlation of pigment content through colour determination using tristimulus values in a green leafy vegetable, Swiss chard. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66: 527–531.

14. Yorio N. C., Goins G. D., Kagie H. R., Wheeler R. M., Sager J. C., 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36: 380–383.
15. Kopsell D. A., Kopsell D. E., Lefsrud M. G. 2004. Variation in lutein, b-carotene, and chlorophyll concentrations among *Brassica oleraceae* cultings and seasons. *HortScience*, 39: 361–364.
16. Lefsrud M. G., Kopsell D. A., Sams C. E., 2008. Irradiance from distinct wavelength light emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43(7): 2243–2244.
17. Lester G. 2006. Environmental Regulation of Human Health Nutrients (Ascorbic Acid, β -Carotene, and Folic Acid) in Fruits and Vegetables. *HortScience*, 41: 59–64.
18. Li Z., Wakao S., Fischer B. B., Niyogi K. K. 2009. Sensing and responding to excess light. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 60: 239–260.
19. Li X. P., Bjorkman O., Shih C., Grossman A. R., Rosenquist M., Jansson S., Niyogi K. K. A 2000 Pigment-binding protein essential for regulation of photosynthetic light harvesting. *Nature*, 403: 391–395.
20. Marin S., Lăcrimioara S., Cecilia R. 2011. Evaluation of performance parameters for trace elements analysis in rennial plants using ICP-OES techique. *Journal of Plant Development*, 18, pp.: 87–93.
21. Mitchell C. A., Both A., Bourget C. M., Kuboto C., Lopez R. G., Morrow R. C., Runkle S. 2012. LEDs: the future of greenhouse lighting. *Chron. Hortic.*, 55: 6–12.
22. Montgomery B. L., Oh S., Karakkat B. 2015. Molecular basis and fitness implications of the interplay between light and the regulation of iron homeostasis in photosynthetic organisms. *Environmental and Experimental Botany*, 114: 48–56.
23. Nazeri G., Liaw S. B., Yu Y., Wu H. 2018. Formation of organic acids during cellobiose decomposition in hot compressed water. *Fuel*, 218: 174–178.
24. Nguyen H. C., Lin K. H., Hsiung T. C., Huang M. Y., Yang C. M., Weng J. H., Hsu M. H., Chen P. Y., Chang K. C. 2018. Biochemical and Physiological Characteristics of Photosynthesis in Plants of Two *Calathea* Species *Int. J. Mol. Sci.*, 19: 704.
25. Ohashi-Kaneko K., Takase M., Kon N., Fujiwara K., Kurata K. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environmental Control in Biology*, 45: 189–198.

26. Ouzounis T., Rosenqvist E., Ottosen C. O. 2015. Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review. *HortsScience*, 50(8): 1128–1135.
27. Perry A. F., Rasmussen H. M., Johnson E. 2009. Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn & egg products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 9–15.
28. Przybysz M., Wrochna M., Małecka-Przybysz H., Gawronska S., Gawronski W. 2016. Vegetable sprouts enriched with iron: Effects on yield, ROS generation and antioxidative system. *Scientia Horticulturae*, 203: 110–117.
29. Samuolienė G., Sirtautas R., Brazaitytė A., Duchovskis P. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food Chem.*, 134: 1494–1499.
30. Scott J., Rebeille F., Fletcher J. 2000. Folic acid and folates: The feasibility for nutritional enhancement in plant foods. *J. Sci. Food Agr.*, 80: 795–824.
31. Shcolnick S., Keren N. 2006. Metal homeostasis in cyanobacteria and chloroplasts. Balancing benefits and risks to the photosynthetic apparatus. *Plant Physiol.*, 141: 805–810.
32. Terfa M. T., Solhaug K. A., Gislerød H. R., Olsen J. E., Torre S., 2013. A high proportion of blue light increases photosynthesis capacity and leaf formation rate of *Rosa*×*hybrida* but does not affect time to flower opening. *Physiol. Plant*, 148: 146–159.
33. Wang Y., Wang J., Chang W., Zhao Z., Cao J. 2014. HPLC method for the simultaneous quantification of the major organic acids in Angeleno plum fruit. *IOP Conf. erence Series: Materials and Science and eEngineering*, 62.
34. Wei Y., Shohag M. J. I., Ying F., Yang X., Wu Ch., Wang Y., 2013. Effect of ferrous sulfate fortification in germinated brown rice on seed iron concentration and bioavailability. *Food Chem.*, 138: 1952–1958.
35. Wisniewska A., Subczynski W. K. 2006. Accumulation of macular xanthophylls in unsaturated membrane domains. *Free Radical Biology & Medicine*, 40: 1820–1826.
36. Wojciechowska R., Długosz-Grochowska O., Kołton A., Zupnik. M. 2015. Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. *Scientia Horticulturae*, 187: 80–86.
37. Žnidarčič D., Ban D., Šircelj H. 2011. Carotenoid and chlorophyll composition of commonly consumed leafy vegetables in Mediterranean countries. *Food Chemistry*, 129: 1164–1168.

Influence of light intensity on organic acids, pigments metabolism and mineral elements accumulation in vegetables

L. Simanavičius, V. Vaštakaitė-Kairienė, G. Samuolienė

Summary

Light is one of the most important environmental factors, which regulates the photosynthesis, development and metabolism in plants. Controlling the light intensity allows to accelerate plant growth, development and regulate plant metabolism processes. The aim of this study was to evaluate the effects of different photon flux densities (PPFD) on organic acids, pigments metabolism and mineral elements accumulation in red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L., 'Red Cos') and radish (*Raphanus sativus* L., 'Cherry Belle'). LED effects: combination of red (660 nm) and blue (455 nm) components. For radish and lettuce grow $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ photon flux density until the 13th and 14th growth stages according to the BBCH-scale were used. After reaching the above-mentioned growth stages, the light intensity was changed, lettuce and radishes were grown up to 49 and 43 BBCH scale respectively: 150; 250; 150 to 250; 250 to 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The metabolism of organic acids, pigments and accumulation of investigated mineral elements depended on both light intensity and plant species. Results have shown positive correlation between chlorophylls and xanthophylls and negative correlation between ascorbic acid, iron and sulfur. Replacement of the PPFD at the seedling stage, irrespectively on the combination of intensity, increased the organic acids, pigments, and mineral elements content from ~ 1.5 to ~ 3 times in lettuce. In radishes, only the reduction of the irradiation intensity at the seedling stage increased the metabolism of organic acids, pigments, and mineral elements content from ~ 1.2 to ~ 1.9 times depending on the metabolite studied.

Key words: ascorbic acid, folic acid, *Raphanus sativus*, *Lactuca sativa*, iron, sulfur.