

**APGAISMOJUMA IETEKME UZ SILTUMNĪCĀ AUDZĒTU TOMĀTU
FIZIOLOĢISKAJIEM PARAMETRIEM**

**THE EFFECT OF ILLUMINATION ON THE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF
GREENHOUSE GROWN TOMATOES**

**Daiga Sergejeva, Ance Simtniece, Reinis Reinsons, Niks Badauķis, Edijs Kalniņš, Lāsma
Lapiņa, Ina Alsina, Laila Dubova**
LLU Lauksaimniecības fakultāte, Augsnes un augu zinātņu institūts
Ina.Alsina@llu.lv

Abstract. Light is one of the most important factors affecting plant growth, development, yield and its quality. The intensity of light not only affects the intensity and productivity of photosynthesis, but the spectral composition of the illumination can change plants' biochemical processes. The development of analytical methods gives the opportunity to assess the effect of light on plant growth more precisely. At the same time, various technical solutions for the adaptation of the spectral composition of plant lighting and energy saving requirements have also developed. The trial was arranged at the Polycarbonate Greenhouse of the Institute of Soil and Plant Sciences of the Latvia University of Life Sciences and Technologies in the autumn of 2018. Tomatoes were grown under LED, induction and high pressure sodium lamps with 16 h photoperiod, light intensity at the tomatoes tops were $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Tomato varieties 'Encore' F1, 'Diamantino' F1, 'Bolzano' F1 and 'Chocomate' F1 grafted on the 'Maxifort' rootstock were used in the trial. The intensity of plant transpiration and water retention were determined. Non-destructive methods have been used to evaluate chlorophyll fluorescence parameters (F_v / F_m , F_v / F_0 , PI) with OS5p + fluorometer and indices CRI500 (carotene content), NDVI (chlorophyll content), SIPI (content of various pigments), GI (Chlorophyll Content), PSRI (Plant Aging) were determined by a radio-spectrometer RS-3500 based on the spectra of reflection of tomato leaves. The most intensive transpiration for all analyzed tomato varieties was found under LED lighting. The highest transpiration intensity under the LED illumination was found in 'Bolzano' F1. The lower water retention capability was also below the LED illumination, but the highest below the high pressure sodium lamps. F_v / F_m and F_v / F_0 values show that plants are best suited for LED and induction lamp lighting, but interactions between variety and lighting are essential. The highest plant vitality indicators for the tomato variety 'Bolzano' F1 were under the LED lamp, and the variety 'Encore' F1 - under the induction lamp. The 'Diamantino' F1 breed was the worst under the high pressure sodium lamp, but there was no significant difference between the effect of the LED and the induction lamp.

Key words: transpiration, water retention, leaf reflectance spectrum.

Ievads

Apgaismojuma kvalitāte un intensitāte ir viens no svarīgākajiem kultūraugu ražu ietekmējošiem faktoriem. Gaisma ne tikai ietekmē fotosintēzes intensitāti un produktivitāti, bet arī apgaismojuma spektrālais sastāvs var izmainīt auga bioķīmisko procesu norisi. Nepietiekama apgaismojuma intensitāte, neatbilstošas gaismas spektrālais sastāvs un/vai fotoperiods limitē tomātu augšanu, attīstību un ražas formēšanos. Dažāda garuma gaismas viļņi atšķirīgi ietekmē augu augšanu un attīstību. Izmēģinājumos noskaidrots, ka tomātu augšana uzlabojas, pievienojot 380 nm viļņu gaismas avotus, turpretim oranža (622 nm), dzeltena (595 nm) un zaļa (520 nm) gaisma nav piemērota šo augu augšanai. Dažādi gaismas avoti atstāj atšķirīgu ietekmi uz augu augšanu, attīstību, ražas formēšanos un kvalitāti (Olle, Viršile, 2013).

Kā vienu no augu fizioloģiskā stāvokļa raksturotājiem var izmantot hlorofilu fluorescenci. Novērots, ka mainīgais fluorescences un minimālās fluorescences potenciālās aktivitātes parametrs tumsas stāvoklī būtiski atšķiras atkarībā no fotosintētiskās aktivitātes gan veselīem, gan stresa apstākļos augu augiem (Ozfidan, Turkan, Sekmen *et al.*, 2013). Hlorofila fluorescences aktivitāti ietekmē tā brīža auga fizioloģiskais stāvoklis, kas norāda uz auga stresa līmeni (Gorbe, Calatayud, 2012). Fotosistēmas II (PSII) maksimālās fotoķīmiskās efektivitātes parametrs tumsas stāvoklī (F_v/F_m) izmanto kā augu fotosintēzes darbības jutīguma indikatoru (Kalaji, Govindjee,

Bosa *et al.*, 2011). Parametra F_v/F_m rādītāji samazinās stresa apstākļos, bet palielinās gaismas intensitātes ietekmē (Srivastava, Guisse, Strasser *et al.*, 1997). Intensīvas gaismas ietekmē samazinās PSII aktivitāte, fotosintēzes elektronu transporta kapacitāte un fotoķīmiskā aktivitāte (Quiles, López, 2004). Pētījumi apstiprina, ka optimālās F_v/F_m vērtības mērenās joslas augiem ir robežās no 0.70 līdz 0.83 (Mohammed, Tejada, Miller, 2003). Augu vitalitātes rādītājs (PI) izmantojams kā parametrs, lai raksturotu auga stresa līmeni dažādos audzēšanas apstākļos (Živčák, Brestič, Olšovská *et al.*, 2008; Maļceva, Vikmane, Stramkale *et al.*, 2009; Gorbe, Calatayud, 2012; Liu, Liang, Zhou *et al.*, 2017).

Augu lapu atstarošanās spektrus un no tiem aprēķinātos indeksus var izmantot kā auga fizioloģiskā stāvokļa indikatorus. Par augu augšanas vai attīstības izmaiņām, stresa situāciju, kā arī novecošanos liecina antociānu satura palielināšanās lapās. To daudzuma izmaiņas raksturo gaismas atstarošanās intensitāte pie 550 nm (Gitelson *et al.*, 2007). Plaši tiek lietots WBI (*Water Bind Index*) ūdens satura indekss, kurš raksturo ūdens saistīšanas un uzņemšanas izmaiņas tomātu lapās. Ūdens satura noteikšanai izmantojams gaismas atstarošanas spektrs viļņu garumos no 950–970 nm (Penuelas, Filella, 1998). Jaunākā pētījumā precizēts, ka ūdens satura izmērīšanai nepieciešams izmantot attiecību starp īsviļņu infrasarkanā (970 nm) un tuvā infrasarkanā spektra (900 nm) atstarošanu (Ceccato, Flasse, Grégoire, 2002). Hlorofila daudzumu lapās nosaka pie viļņu garumiem 550 un 799 nm (Gitelson, Merzlyak, Zur *et al.*, 2001), bet 500–520 nm ir karotīnu jutīgs intervāls. Augu augšanu un attīstību pozitīvi ietekmējošais faktors ir fotosintēzes aktivitāte un hlorofila saturs augu lapās (Dorigo, Zurita-Milla, de Wit *et al.*, 2007). Hlorofila satura noteikšanai izstrādāts vienkāršots normalizētais veģetācijas indekss (NDVI), kas balstīts uz kontrastu starp maksimāli hlorofila pigmentu absorbēto sarkano gaismu un maksimālo lapu šūnu struktūras atstaroto tuvo infrasarkanā gaismu, kaut gan izstrādāti vairāki gaismas atstarošanās indeksi hlorofila satura noteikšanai (Rouse, Haas, Schell *et al.*, 1974), izstrādātais NDVI indekss atzīts par vispazīstamāko un visplašāk izmantoto precīzajā lauksaimniecībā (Wu, Niu, Tang *et al.*, 2008). Hlorofila satura novērtēšanai tiek ieteikts arī SIPI (Penuelas, Filella, 1998) un zaļuma indekss GI (Smith, Adams, Stephens *et al.*, 1995). Pēc aktīvas veģetācijas augiem sākas novecošanās. Attiecīgi, augam novecojot, visvairāk no auga virsmas tiek atstarota gaisma 550–740 nm diapazonā, bet hlorofila daudzums atstarošanas spektrā 400–500 nm samazinās. Augu novecošanās indekss (PSRI) atspoguļo sakarības ar hlorofila/karotīnu attiecību novecošanās laikā (Merzlyak, Gitelson, Chivkunova *et al.*, 1999).

Pētījuma mērķis ir skaidrot tomātu lapu transpirācijas, auga ūdens aiztures spējas, lapu fluorescences un lapu atstarošanas indeksu izmaiņas atkarībā no dažāda spektrālā sastāva papildapgaismojuma.

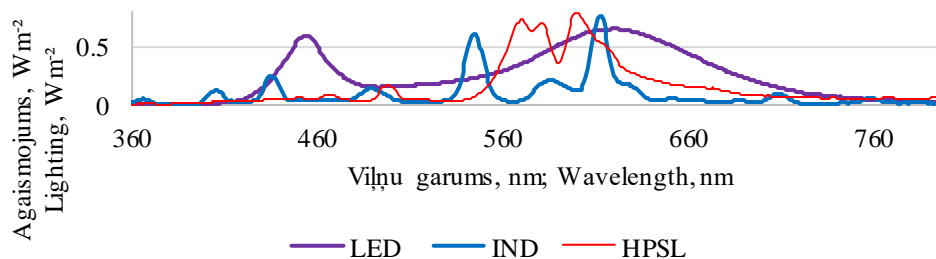
Materiāli un metodes

Tomātu kultivēšana. Tomāti audzēti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Augsnes un augu zinātņu institūta polikarbonāta siltumnīcā 2018. gada rudens periodā. Siltumnīcas vidējā dienas temperatūra ir 20 ± 5 °C, nakts temperatūra >10 °C. Gaisa cirkulācijas un temperatūras samazināšanas nolūkos izmantotas jumta vēdināmās lūkas.

Izmēģinājumā izmantotas tomātu šķirnes 'Encore' F1, 'Diamantino' F1, 'Bolzano' F1, 'Chocomate' F1. Tomāti ir potēti uz potcelma 'Maxifort', katram stādam izveidotas divas galotnes.

Tomāti audzēti 15 L konteineros, kūdras substrātā „Kekkila” (pH H_2O 5.6, N – 80 mg L^{-1} , P – 30 mg L^{-1} , K – 200 mg L^{-1} , kūdras frakcija 0–25 mm). Katru nedēļu vienu reizi augi mēsloti. Vienu nedēļu ar kalcija nitrātu, katru otro nedēļu – NPK komplekso mēslojumu (NPK 12-12-36) ar mikroelementiem (deva – 2 g uz veģetācijas trauku).

Tomātu apgaismojuma raksturojums. Tomātus audzēja, izmantojot trīs pēc spektrālā sastāva atšķirīgas lampas – gaismu emitējošās diodes (LED), indukcijas (IND) un augstspiediena nātrija lampas (HPSL) (1. att.). Lampu emitētās gaismas kvantitatīvais un kvalitatīvais sastāvs noteikts ar pārnēsājamo spektrometru „Gigahertz-Optic MSC15”. Lampu emisijas spektri atspoguļoti 1. attēlā.



1. att. **Apgaismojuma spektrālais sastāvs tomātu galotņu augstumā.**

Fig. 1. Light spectrum at the height of tomatoes tops.

Pētījumā lietotajām lampām (LED, IND un HPSL) sarkanajai spektra daļai (600–700 nm) bija lielāks īpatsvars nekā zilajam spektram (400–500 nm). Ievērojami lielāku FAR, salīdzinot ar indukcijas lampām, uzrādīja HPSL un LED lampu papildapgaismojums.

Tomātu ūdens režīma noteikšana. Transpirācijas intensitāte noteikta ar transpirometriem, kuri pirms mērījuma karsēti 60 °C temperatūrā 30 minūtes, nosvērti un piestiprināti augu lapām. Pēc 30 minūtēm transpirometri noņemti no lapām, noteikta to masa un pēc 1. formulas aprēķināta transpirācijas intensitāte:

$$T = \frac{c}{t \cdot s}, \quad (1)$$

kur c – transpirētais ūdens – transpirometra masas pieaugums, g;
 t – izmēģinājuma ilgums, min.;
 s – transpirometra laukums, m².

Augu ūdens aiztures spēja noteikta, izmantojot Ārlanda metodi. No katra analizētā auga nogrieztas 6 lapas. Nekavējoties lapas griezuma vieta iemērkta parafīnā, lai novērstu ūdens zudumu caur griezuma vietu. Lapas nosvērtas, un svēršana atkārtota ik pēc 30 minūtēm. Pēc mērījumu veikšanas zaudētais ūdens apjoms izteikts procentos no auga masas (Dubova, Alsiņa, Sergejeva, u.c., 2015) publikācijā.

Tomātu lapu atstarošanās spektru un indeksu noteikšana. Eksperimenta laikā veikta randomizēta tomātu lapu analīze deviņos variantos un septiņos atkārtojumos ar ASV uzņēmumā „Spectral Evolution” ražoto radiospektrometru „RS–3500”. Iegūtie rezultāti analizēti ar Bonnas Universitātes Augu zinātņu un resursu saglabāšanas institūta (INRES) katalogā iekļautajiem indeksiem. Augu augšanas un fizioloģiskā stāvokļa raksturošanai izvēlēti 7 indeksi:

- ARI – antociānu saturs;
- CRI500 – karofīnu saturs;
- NDVI – hlorofila saturs;
- SIPI – dažādu pigmentu saturs;
- GI – hlorofila saturs;
- PSRI – auga novecošanās;
- WBI – ūdens saturs.

Augu lapu fluorescences mērījumi. Hlorofila fluorescences parametri noteikti ar „Opti-Sciences Inc.” (ASV) ražoto fluorometru „OS5p+”. Novērtēti šādi hlorofila fluorescences parametri:

- F_v/F_m – PSII maksimālais fotoķīmiskais efektivitātes parametrs tumsas stāvoklī;
- F_v/F_0 – mainīgais fluorescences un minimālās fluorescences potenciālās aktivitātes parametrs tumsas stāvoklī;
- PI – auga vitalitātes rādītājs.

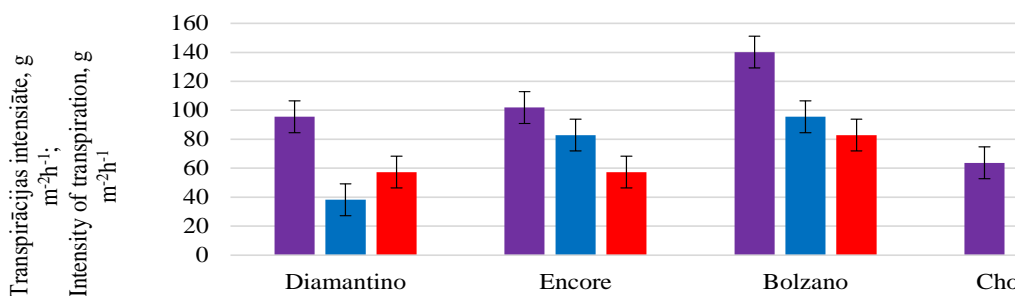
Datu matemātiskā apstrāde

Savstarpējo faktoru ietekmei tika aprēķināta divfaktoru dispersijas analīze, izmantojot „MS Excel” programmu. Hlorofila fluorescences parametri tika vērtēti, lai noteiktu atšķirības starp katra tomātu šķirnes auga fizioloģisko stāvokli, ko ietekmē izmantotie gaismas avoti.

Rezultāti un diskusijas

Augu ūdens režīms

Transpirācijas intensitāte būtiski atšķiras atkarībā no apgaismojuma veida. Visām tomātu šķirnēm, izņemot ‘Chokomate’ F1, krietni lielāka transpirācijas intensitāte tika novērota zem LED papildapgaismojuma. Šķirnei ‘Chokomate’ F1 augstāka transpirācijas intensitāte konstatēta zem IND lampām ($101.9 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$). Šādi rezultāti ir pretrunā ar Polijā veikto pētījumu, kurā lielāka transpirācijas intensitāte iegūta augiem, kas auguši zem HPSL lampas, salīdzinot ar LED lampu (Wolska, 2013). Intensīvāka transpirācija tika novērota zem LED lampas apgaismojuma šķirnei ‘Bolzano’ F1 ($140.1 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$) (skat. 2. att.).

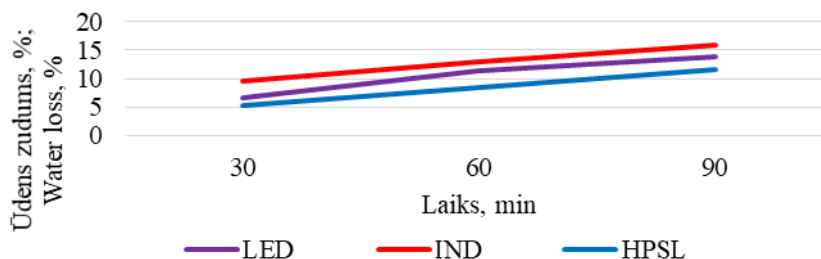


2. att. Dažāda apgaismojuma ietekme uz transpirācijas intensitāti tomātos.

Fig. 2. Different light impact on transpiration intensity.

Savukārt zemākā transpirācija tika atklāta zem IND lampas augošajiem tomātiem ‘Diamantino’ F1 ($38.2 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$).

Augu ūdens aiztures spējas. Novērojamas būtiskas atšķirības starp apgaismojuma veida ietekmi uz augu ūdens aiztures spēju. Augstākā ūdens aiztures spēja tomātiem konstatēta zem HPSL lampas papildapgaismojuma, bet zemākā – zem IND papildapgaismojuma (skat. 3. att.).



3. att. Ūdens zudums no dažādos apgaismojumos augušu tomātu lapām.

Fig. 3. Waterlosses from the tomatoes leaves grown under different lighting sources.

Mazākā ūdens aiztures spēja tomātu augiem, kas auguši LED lampas papildapgaismojumā, tika novērota šķirnei ‘Bolzano’ F1. Ūdens zudums pēc 30 minūtēm sasniedza 15% un pēc 90 minūtēm – 23%. Lielākā augu ūdens aiztures spēja LED lampas apgaismojumā ir šķirnei ‘Encore’ – pēc 90 min. ūdens zudumi veidoja tikai 13%. IND lampas apgaismojumā augošajiem tomātiem lielākais ūdens zudums konstatēts šķirnei ‘Bolzano’ F1 (20%), bet vismazākais – šķirnēm ‘Diamantino’ F1 (13%) un ‘Chokomate’ F1 (13%).

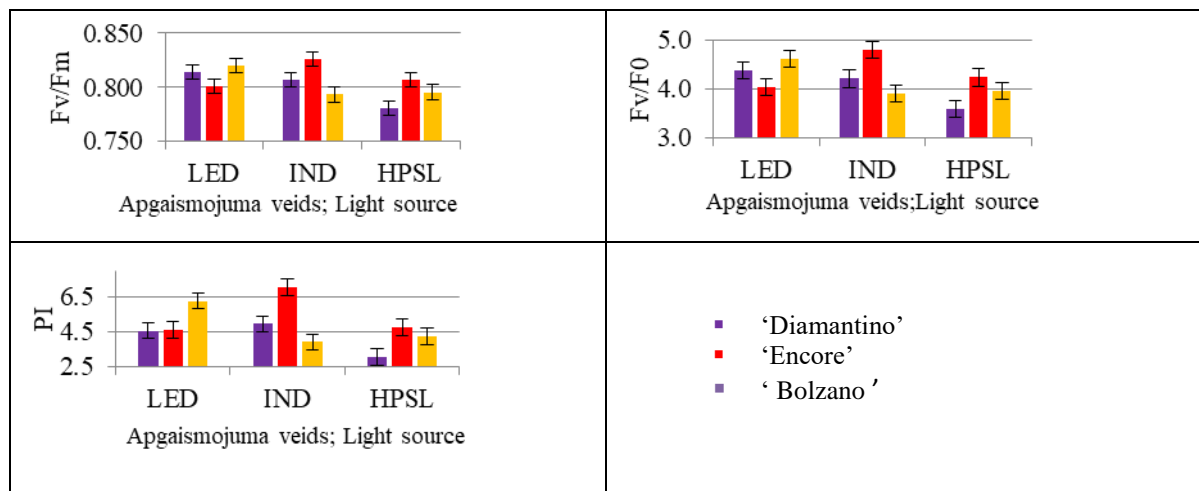
1. tabula *Table 1*

Appaismojuma ietekme uz augu fizioloģisko stāvokli raksturojošiem atstarošanas indeksiem
The effect of illumination on the reflection indices of tomato leaves

Lampa Illumination source	Šķirne / Cultivar	CRI	ARI	Hlorofilu raksturojošie indeksi / Indices of chlorophyll characterisation				PSRI	WBI
				NDVI	SIPI	G	Δ		
LED	Encore	0	+1	+1	0	0	0	+1	-1
	Diamantino	0	0	0	+1	+1	+1	0	0
	Bolzano	0	0	+1	0	-1	0	0	-1
IND	Encore	-1	+1	0	-1	-1	-1	-1	+1
	Diamantino	-1	+1	0	-1	-1	-1	-1	+1
	Bolzano	+1	0	-1	+1	0	0	+1	+1
Na	Encore	0	-1	0	0	+1	0	0	0
	Diamantino	0	-1	-1	0	0	0	0	+1
	Bolzano	+1	-1	0	+1	0	0	+1	0
0	Rezultāts būtiski neatšķiras no vidējā								
+1	Rezultāts būtiski pārsniedz vidējo								
-1	Rezultāts ir būtiski mazāks par vidējo								

HPSL lampas apgaismojumā dažādām tomātu šķirnēm netiek novērotas būtiskas atšķirības ūdens aizturē. Salīdzinot pētāmās lampas apgaismojuma ietekmi uz augu ūdens aiztures spēju, visaugstākie rezultāti ir LED lampas apgaismojumam, tad seko IND, savukārt viszemākie rādītāji konstatēti, audzējot tomātus zem HPSL lampas.

LED lampas apgaismojumam bija būtiska pozitīva ietekme uz hlorofila saturu tomātu ‘Diamantino’ F1 lapās (raksturots pēc plašāk lietotajiem indeksiem NDVI, SIPI, G) (1. tab.).



4. att. **Hlorofila fluorescences parametri atkarībā no apgaismojuma veida.**
Fig. 4. Chlorophyll fluorescence parameter changes depending on the type of lighting.

Savukārt IND lampas apgaismojums šķirnēm ‘Encore’ F1 un ‘Diamantino’ F1 ievērojami palielināja antociānu saturu (ARI) un samazināja hlorofila saturu lapās (SIPI un G), tomēr

palēnināja lapu novecošanos (PSRI) un palielināja ūdens saturu (WBI) tajās. Tas varētu būt skaidrojams ar pazeminātu fotosintēzes aktivitāti un traucējumiem vielu aprītē (Wu, Niu, Tang *et al.*, 2008).

Tomātu lapu fluorescences raksturojums. Pēc datu matemātiskās apstrādes un apkopošanas parametram F_v/F_m konstatētas būtiskas atšķirības gan starp apgaismojuma veidiem, gan apgaismojuma un šķirņu mijiedarbību. Parametra F_v/F_m vērtības svārstības visām šķirnēm zem visiem apgaismojuma veidiem bija salīdzinoši nelielas, tāpēc labākai novērtēšanai fotosistēmas II aktivitāte tika vērtēta pēc parametra F_v/F_0 (skat. 4. att.).

Hlorofila fluorescences parametru rādītāji (F_v/F_m , F_v/F_0) raksturo gaismas kvantu izmantošanas lietderību un efektivitāti atšķirīga spektrālā sastāva apgaismojumā. Rezultāti norāda, ka LED lampas apgaismojumā fotosintēzes fotosistēmu darbībai piemērotākie apstākļi bija tomātu šķirnei ‘Bolzano’ F1 ($F_v/F_m=0.821$). Zem IND ($F_v/F_m=0.827$) un HPSL lampas ($F_v/F_m=0.807$) vislabvēlīgākie apstākļi hlorofila darbībai bija tomātu šķirnei ‘Encore’ F1. Mazākā parametra F_v/F_m vērtības ir šķirnei ‘Diamantino’ F1 zem HPSL ($F_v/F_m=0.781$). Starp PI vērtību un F_v/F_m , F_v/F_0 vērtībām ir saskatāmas kopsakarības. Auga vitalitātes rādītāji atspoguļo faktu, ka būtiski pozitīva ietekme ir šķirnes ‘Bolzano’ F1 mijiedarbībai ar LED papildapgaismojumu (PI=6.266), savukārt ar IND apgaismojumu augstākā vitalitāte konstatēta šķirnei ‘Encore’ P1 (PI=7.059). Ievērojama mijiedarbības ietekme zem HPSL lampas apgaismojuma novērtēta šķirnēm ‘Encore’ F1 un ‘Bolzano’ F1 (skat. 4. att.).

Secinājumi

Vislielākā trasnpirācijas intensitāte ir tomātu lapām, kas augušas LED lampas apgaismojumā. Būtiska atšķirība konstatēta starp apgaismojuma veidiem, bet starp šķirnēm nav nozīmīgu atšķirību.

Viszemākā augu ūdens aiztures spēja novērota augiem, kas auguši IND lampas apgaismojumā, bet vismazākā – nātrija lampas apgaismojumā. Būtiskas atšķirības konstatētas gan starp apgaismojuma veidiem, gan starp šķirnēm.

F_v/F_m un F_v/F_0 vērtības uzrāda, ka vispiemērotākie apstākļi auga fotosistēmu efektīvai darbībai ir zem LED un indukcijas lampas apgaismojuma, taču būtiska ir šķirnes un apgaismojuma veida mijiedarbība. Auga vitalitātes rādītāji atspoguļo faktu, ka vislabāk tomātu šķirne ‘Bolzano’ F1 jūtas zem LED lampas apgaismojuma, bet šķirne ‘Encore’ F1 – zem indukcijas lampas apgaismojuma. Šķirnei ‘Diamantino’ F1 visnepiemēroākais ir HPSL lampas papildapgaismojums.

Pateicība

Darbs izstrādāts maģistratūras studiju kursa „Augu ekofizioloģija” ietvaros un uz ERAF projekta „Jaunu vadības metožu izstrāde siltumnīcu augu apgaismojuma sistēmām to enerģētisko un ekoloģisko parametru uzlabošanai (μMol)” eksperimentālās bāzes.

Izmantotā literatūra

1. Ceccato P., Flasse S., Grégoire J. M. (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 82 (2–3), p. 188–197.
2. Dorigo W. A., Zurita-Milla R., de Wit A. J. W., Brazile J., Singh R., Schaepman M. E. (2007). A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 9 (2), p. 165–193.
3. Dubova L., Alsiņa I., Sergejeva D., Briede R., Šenberga A. (2014). *Rhizobium leguminosarum* un *Glomus* sp. ietekme uz cūku pupu augšanu. **No:** *Līdzsvarota lauksaimniecība 2015 LLU LF, LAB un LLMZA Zinātniski praktiskās konferences raksti*, 2015. gada 19.–20. februāris, Jelgava, LLU, 121.–126. lpp.
4. Gitelson A. A., Merzlyak M. N., Chivkunova O. B. (2007). Optical Properties and Nondestructive Estimation of Anthocyanin Content in Plant Leaves. *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 74 (1), p. 38–45.

5. Gitelson A. A., Merzlyak M. N., Zur Y., Stark R., Gritz U. (2001). Non-Destructive and Remote Sensing Techniques for estimation of vegetation status. *In: Papers in Natural Resources*, 273, p. 205–210.
6. Gorbe E., Calatayud A. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. *Scientia Horticulturae*, Vol. 128, No. 4, p. 24–35.
7. Kalaji H.M., Govindjee, Bosa K., Kościelniak J., Żuk-Gołaszewska K. (2011). Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO₂ assimilation of two Syrian barley landraces. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 73, No. 9, p. 64–72.
8. Liu Y., Liang X., Zhou F., Zhan Z. (2017). Accessing the agronomic and photosynthesis-related traits of high-yielding winter wheat mutants induced by ultra-high pressure. *Field Crop Research*, Vol. 213, No. 16, p. 165–173.
9. Maļceva M., Vikmane M., Stramkale V., Stramkalis A. (2009). Slāpekļa mēslojuma izmantošanas efektivitāte galviņkāpostiem. *In: Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources*. Vol. 1, p. 125–132.
10. Merzlyak M. N., Gitelson A. A., Chivkunova O. B., Rakitin V. Y. (1999). Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, Vol. 106, No. 1, p. 135–141.
11. Mohammed G.H., Tejada P.Z., Miller J.R. (2003). Applications of chlorophyll fluorescence in forestry and ecophysiology. *In: Practical Application of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology*. Ed. De Ell I.R., Toivonen P.M.A. Kluwer academic publishers, Boston, Dordrecht, London. p. 80–124.
12. Olle M., Viršile A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, Vol. 22(2), p. 223–234.
13. Ozfidan C., Turkan I., Sekmen A.H., Seckin B. (2013). Time course analysis of ABA and non-ionic osmotic stress-induced changes in water status, chlorophyll fluorescence and osmotic adjustment in *Arabidopsis thaliana* wild-type (Columbia) and ABA-deficient mutant (aba2). *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 86, No. 7, p. 44–51.
14. Peñuelas J., Filella L. (1998). Technical focus: Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*. Vol. 3 (4), p. 151–156.
15. Quiles M.J., López N.I. (2004). Photoinhibition of photosystems I and II induced by exposure to high light intensity during oat plant growth. Effects on the chloroplast NADH dehydrogenase complex. *Plant Science*, Vol. 166, No. 3, p. 815–823.
16. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. and Harlan J.C. (1974). Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation. Performances from the Accumulation of Large Swath Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 70, p. 293–306.
17. Smith R.C.G., Adams J., Stephens D.J., Hick P.T. (1995). Forecasting wheat yield in a Mediterranean-type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research*, Vol 46 (1), p. 113–125.
18. Srivastava A, Guisse B, Greppin H, Strasser RJ. (1997). Regulation of antenna structure and electron transport in Photosystem II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP. *Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics*, Vol. 1320, No. 1, p. 95–106.
19. Wolska G. J., Kowalczyk K., Metera A., Mazur K., Bujalski D., Hemka L. (2013). Effect of supplementary lighting on selected physiological parameters and yielding of tomato plants. *Folia Horticulturae*, Vol. 25(2), p. 153–159.
20. Wu C., Niu Z., Tang Q., Huang W. (2008). Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 148 (8–9), p. 1230–1241.
21. Živčák M., Brestič M, Olšovská K., Slamka P. (2008). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *Plant Soil Environment*, Vol. 54, No. 4, p. 133–139.