

Krzysztof KLAMKOWSKI  
Waldemar TREDER  
Agnieszka MASNY

## WPLYW DOŚWIETLANIA LAMPAMI SODOWYMI I LED NA AKTYWNOŚĆ FOTOSYNTETYCZNA, WZROST ORAZ PLONOWANIE ROŚLIN TRUSKAWKI

**STRESZCZENIE** *Rośliny truskawki (odmiany „Elsanta”, „Grandarosa”) uprawiane w szklarni w okresie zimowo-wiosennym (luty-maj) doświetlano przy pomocy lamp sodowych lub LED (diody emitujące światło czerwone, niebieskie oraz w zakresie bliskiej podczerwieni). Kombinację kontrolną stanowiły rośliny rosnące w warunkach naturalnego światła. Prowadzono pomiary intensywności wymiany gazowej oraz natężenia zielonej barwy liści (względna zawartość chlorofilu). Określono plonowanie roślin, a po zakończeniu doświadczenia wykonano analizę budowy morfologicznej roślin, mierząc masę i powierzchnię liści, masę korzeni oraz średnicę korony. Stwierdzono zróżnicowaną reakcję ocenianych odmian na doświetlanie. Zastosowane światło LED spowodowało zwiększenie natężenia fotosyntezy roślin odmiany „Grandarosa”. Rośliny te charakteryzowały się także intensywniejszym wzrostem i większym plonowaniem w porównaniu do roślin niedoświetlanych. W przypadku odmiany „Elsanta” przebieg procesów fizjologicznych, wzrost i plonowanie roślin nie były uzależnione od zastosowanego doświetlania.*

**Słowa kluczowe:** *Fragaria x ananasa, fotosynteza, chlorofil, fotomorfogeneza*

### 1. WSTĘP

---

Światło jest jednym z najważniejszych czynników środowiskowych wywierających silny wpływ na procesy życiowe roślin [1, 10, 14]. Promieniowanie świetlne jest wykorzystywane przez rośliny jako źródło energii podczas fotosyntezy. Wpływa

---

**dr Krzysztof KLAMKOWSKI**

e-mail: krzysztof.klamkowski@inhort.pl

**prof. dr hab. Waldemar TREDER, dr Agnieszka MASNY**

Instytut Ogrodnictwa

ul. Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 268, 2015

także na szereg innych, niezależnych od fotosyntezy procesów związanych ze wzrostem i rozwojem roślin (fotomorfogeneza). Procesy te zachodzą przez cały cykl życiowy rośliny, od kiełkowania poprzez rozwój wegetatywny, generatywny, aż po starzenie się roślin. W wielu pracach wykazano istnienie silnej zależności pomiędzy ilością i jakością dostępnego światła a produktywnością roślin [16, 23]. Niedostateczna ilość i/lub nieodpowiedni skład spektralny światła może powodować nie tylko ograniczenie wielkości uzyskiwanego plonu, ale również pogorszenie jego jakości [25].

Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego, charakteryzującego się deficytem (z punktu widzenia potrzeb uprawianych roślin) naturalnego światła słonecznego w okresie jesienno-zimowym oraz wczesną wiosną. Dlatego też doświetlanie roślin przy zastosowaniu sztucznych źródeł światła jest od wielu lat powszechnym, choć równocześnie drogim środkiem intensyfikacji szklarniowej produkcji roślinnej. Wydatki na energię cieplną oraz elektryczną stanowią ok. 10-30% całkowitych kosztów produkcji roślinnej pod osłonami [18]. Większość energii zużywanej w uprawach szklarniowych jest nadal otrzymywana ze spalania paliw kopalnych, co wywiera negatywny wpływ na środowisko naturalne. Dlatego też nowe technologie doświetlania, które przy znacząco obniżonej energochłonności umożliwiają utrzymanie lub nawet zwiększenie wartości uzyskiwanego plonu znajdują się w centrum zainteresowania producentów roślin.

Obecnie w produkcji ogrodniczej najczęściej stosowana jest wysokoprężna lampa sodowa, która charakteryzuje się wysoką skutecznością świetlną i relatywnie długim okresem użytkowania [3, 20]. Niesprzyjające warunki ekonomiczne (wysokie ceny energii) ograniczają jednak w znacznym stopniu wprowadzenie tych lamp do szerokiej uprawy produkcyjnej. Należy również podkreślić, że widmo światła tych lamp określone jest przez ich konstrukcję i trudno je modyfikować. Ponadto lampy te wydzielają duże ilości ciepła, co przy niewłaściwej eksploatacji może powodować uszkodzenia termiczne uprawianych roślin. Dlatego też obecnie prowadzone są intensywne badania nad alternatywnymi rozwiązaniami w dziedzinie doświetlania roślin w uprawach szklarniowych.

Ostatnio coraz szersze zastosowanie w praktycznych rozwiązaniach oświetleniowych znajdują półprzewodnikowe źródła światła (LED) [20]. Przewagą tego rozwiązania nad innymi sztucznymi źródłami światła jest energooszczędność oraz możliwość łatwej optymalizacji widma promieniowania modułów LED. Wykorzystanie diod elektroluminescencyjnych pozwala na budowanie dowolnych charakterystyk widmowych opraw oświetleniowych (poprzez integrację odpowiednich proporcji promieniowania o różnych barwach), które mogą być dostosowane do potrzeb danego gatunku. Inne zalety ich stosowania to mniejsze rozmiary pojedynczego źródła światła, duża trwałość i niezawodność, coraz lepsza skuteczność świetlna, minimalna emisja ciepła [16, 18, 20]. Wszystkie te cechy pozwalają przypuszczać, że powszechne zastosowanie diod w technologiach szklarniowych jest tylko kwestią czasu.

Truskawka (*Fragaria x ananassa* Duchesne) jest rośliną uprawną o istotnym znaczeniu gospodarczym. Światowa wielkość produkcji owoców przekracza 4,5 mln ton rocznie (w Polsce ok. 150 tysięcy ton). Problemy zdrowotne roślin, spowodowane oddziaływaniem szkodników i patogenów glebowych oraz zmianą klimatu, zwiększające ryzyko utraty plonów sprawiają, że tradycyjna uprawa w polu staje się coraz mniej opłacalna. Z tego powodu obserwuje się wzrost zainteresowania bezglebowymi technologiami produkcji truskawek pod osłonami, umożliwiającymi uzyskanie plonu

poza okresem ich tradycyjnego dojrzewania w gruncie. Uprawa sterowana jest technologią kosztowną, kluczowym elementem jej powodzenia jest zapewnienie roślinom optymalnych warunków wzrostu i plonowania.

Truskawka jest rośliną o wysokich wymaganiach świetlnych. Uprawiana w warunkach niedoboru światła wykazuje słaby wzrost, ograniczone kwitnienie i zawiązywanie owoców. Przy uprawie w okresach, gdy ilość naturalnego światła słonecznego docierającego do roślin jest niewystarczająca, niezbędne staje się więc uzupełnienie światła dziennego światłem sztucznym [6, 8, 22]. Zabieg ten ma na celu zwiększenie intensywności fotosyntezy, a w rezultacie przyspieszenie wzrostu i zwiększenie plonowania roślin.

W dostępnej literaturze znajduje się niewiele danych na temat możliwości wykorzystania półprzewodnikowych źródeł światła do doświetlania truskawki w uprawie pod osłonami. Celem podjętych badań była ocena wpływu doświetlania światłem sodowym oraz LED na wymianę gazową liści, a także wybrane parametry budowy morfologicznej oraz plonowanie truskawki w uprawie szklarniowej.

## 2. MATERIAŁY I METODYKA

---

Badania przeprowadzono w szklarni doświadczalnej Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach. Materiał roślinny stanowiły rośliny truskawki odmiany „Elsanta” oraz „Grandarosa”. Sadzonki doniczkowe posadzono 30.01.2013 r. do doniczek (1,5 dm<sup>3</sup>) wypełnionych mieszaniną substratu torfowego i perlitu. Po tygodniu od posadzenia rozpoczęto doświetlanie roślin przy wykorzystaniu dwóch systemów:

- lampy sodowe o mocy 400 W (LADYBIRD 400, żarówka Lucalox LU400W/PSL);
- oprawy LED DAPLON-plus (skonstruowane w Instytucie Elektrotechniki) o mocy 110 W, emitujące światło w zakresach widmowych: czerwonym (68,5%), niebieskim (28,4%) i bliskiej podczerwieni (3,1%).

Oba typy lamp zostały zamontowane w sposób zapewniający zrównoważenie poziomów powierzchniowej gęstości fotonów na stołach uprawowych. Natężenie napromieniowania w komorach doświetlanych, mierzone na poziomie górnych liści roślin, wynosiło  $200 \pm 20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pomiar wykonany w pochmurny dzień, gdy natężenie naturalnego światła docierającego do roślin nie przekraczało  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Doświetlanie było włączane w trakcie dnia (godziny 6-18), gdy natężenie promieniowania docierającego do szklarni było niższe od  $100 \text{ W m}^{-2}$ . Rośliny rosnące w warunkach naturalnego światła (bez sztucznego doświetlania) stanowiły kontrolę. Warunki wzrostu monitorowane były przez skomputeryzowany system sterujący temperaturą i wilgotnością powietrza oraz nawadnianiem roślin (Priva, Holandia). Średnia temperatura w komorach szklarniowych w trakcie trwania doświadczenia wynosiła 18°C, wilgotność powietrza 55%, stężenie CO<sub>2</sub> 430 ppm. Doświadczenie przygotowano w dwudziestu powtórzeniach. Powtórzenie stanowiła doniczka z rośliną.

W celu oceny stanu fizjologicznego roślin przeprowadzono pomiary natężenia fotosyntezy oraz intensywności zielonej barwy liści. Pomiary wymiany gazowej (intensywność fotosyntezy) wykonano przy wykorzystaniu analizatora LCpro+ (ADC BioScientific, Wielka Brytania). Parametry w komorze pomiarowej aparatu ustawiono tak, aby były zbliżone do warunków panujących w otoczeniu, w celu uniknięcia

konieczności długotrwałej aklimatyzacji liścia w komorze. Natężenie zielonej barwy liści (względna zawartość chlorofilu) mierzono przy użyciu miernika CCM-200 (Opti-Sciences, USA). Analizę stanu fizjologicznego wykonano w fazie pełni kwitnienia roślin. Pomiary prowadzono na dwudziestu w pełni rozwiniętych liściach z każdej kombinacji.

W trakcie trwania doświadczenia określono wielkość plonowania, a po jego zakończeniu (20.05.2013 r.) wykonano ocenę budowy morfologicznej roślin. Przeprowadzono pomiary świeżej masy organów, średnicy korony oraz powierzchni liści. Do pomiaru powierzchni liści wykorzystano zestaw do analizy obrazu z oprogramowaniem WinDias 2.0 (Delta-T Devices, Wielka Brytania).

Wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji. Do oceny istotności różnic między średnimi użyto wielokrotnego testu rozstępu Duncana, przyjmując poziom istotności 5%.

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

---

Niekorzystne warunki świetlne występujące w okresie jesienno-zimowym oraz wczesną wiosną sprawiają, że przebieg procesów asymilacyjnych jest ograniczony, co wpływa negatywnie na wzrost i akumulację biomasy przez rośliny. Wyniki badań wskazują, że wprowadzając do uprawy dodatkowe źródło światła można uzyskać zwiększenie wydajności fotosyntezy, a przez to uzyskać intensywniejszy wzrost i większą produktywność roślin [5, 7, 13, 29].

W doświadczeniu stwierdzono różnicowaną reakcję roślin ocenianych odmian na zastosowane doświetlanie (tab. 1). Nie wykazano wpływu doświetlania na natężenie fotosyntezy roślin odmiany 'Elsanta'. W przypadku odmiany 'Grandarosa', rośliny doświetlane światłem LED fotosyntetyzowały z natężeniem wyższym o około 35% w porównaniu z niedoświetlaną kontrolą. Wielkość fotosyntezy roślin doświetlanych światłem sodowym była na poziomie zbliżonym do roślin kontrolnych. Nie stwierdzono istotnych różnic w natężeniu fotosyntezy pomiędzy roślinami doświetlanymi lampami sodowymi i LED. Obserwowana reakcja aparatu fotosyntetycznego truskawki była słabsza w porównaniu z roślinami pomidora (uprawianymi w okresie jesienno-zimowym), u których przy zastosowaniu takiego samego systemu doświetlania wykazano silne zwiększenie intensywności fotosyntezy [13].

Światło jest istotnym czynnikiem wpływającym na różnicowanie się chloroplastów i podjęcie przez nie aktywności fotosyntetycznej [11]. Sprawne działanie aparatu fotosyntetycznego, zdolnego do szybkiej adaptacji do zmieniających się warunków środowiska, zależy między innymi od obecności barwników asymilacyjnych, przede wszystkim chlorofili. Zmiany zawartości chlorofilu w liściach mogą być rezultatem niedoboru substancji odżywczych lub oddziaływania warunków środowiskowych, na przykład niedostatku światła słonecznego podczas wzrostu roślin [19].

Według wielu autorów [19, 21, 28], pomiary natężenia (indeksu) zielonej barwy przy użyciu miernika optycznego, mogą być alternatywą dla kosztownych analiz chemicznych na zawartość chlorofilu w liściach. Tego typu mierniki umożliwiają wykonanie szybkiej i niedestrukcyjnej oceny zawartości chlorofilu w liściach oraz stanu odżywienia roślin azotem.

W doświadczeniu nie wykazano znaczących różnic wielkości indeksu zielonej barwy pomiędzy roślinami doświetlanymi w różny sposób, co może wskazywać na zbliżoną zawartość chlorofilu w ich liściach (tab. 1). W kilku pracach wykazano, że zależność pomiędzy zawartością chlorofilu a natężeniem fotosyntezy jest zmienna i może zależeć od gatunku, odmiany (np. charakterystyki anatomicznej liścia), fazy rozwojowej czy wpływu warunków zewnętrznych [9, 15]. W niniejszej pracy intensywność wymiany gazowej roślin doświetlanych światłem sodowym i LED nie różniła się, co wskazuje na zbliżoną wydajność aparatu fotosyntetycznego roślin z tych kombinacji.

**TABELA 1**

Natężenie (indeks) zielonej barwy liści oraz natężenie fotosyntezy roślin truskawki w zależności od zastosowanego doświetlania

Kombinacja	Natężenie fotosyntezy [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]		Indeks zielonej barwy [j. względne]	
	„Grandarosa”	„Elsanta”	„Grandarosa”	„Elsanta”
Światło sodowe	10,37 ab	11,02 ab	18,71 a	20,84 a
LED	11,64 b	11,07 ab	21,63 a	18,80 a
Kontrola	8,60 a	9,04 ab	16,51 a	18,49 a

Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $P < 0,05$  według testu t-Duncana

Rośliny są w stanie reagować nawet na niewielkie zmiany w jakości światła, dzięki obecności systemu fotoreceptorów, reagujących na określone sygnały świetlne, co w następstwie inicjuje określone zmiany rozwojowe [26]. Uprawa truskawki w okresie zimowym i wczesnowiosennym wiąże się z niewystarczającym dostępem światła, co może skutkować zahamowaniem wzrostu roślin oraz zaburzeniami w ich dalszym rozwoju. W badaniach wykazano ograniczenie wzrostu części nadziemnej u niedoświetlanych roślin odmiany „Grandarosa” (tab. 2, 3). Niska wydajność fotosyntezy spowodowała, że rośliny te miały mniejszą masę i powierzchnię liści oraz średnicę korony w porównaniu z roślinami doświetlanymi światłem LED. W przypadku odmiany ‘Elsanta’ nie wykazano wpływu doświetlania na wzrost roślin. Dla żadnej z kombinacji nie stwierdzono różnic w rozwoju systemu korzeniowego roślin (tab. 3).

W doświadczeniu wykazano także istotne różnice w budowie morfologicznej roślin truskawki odmiany „Grandarosa” doświetlanych sztucznym światłem o różnym pochodzeniu (tab. 2). Rośliny wystawione na działanie światła LED charakteryzowały się większą świeżą masą i powierzchnią liści. Obserwowane różnice we wzroście mogły wynikać z charakterystyki spektralnej światła wytwarzanego przez zastosowane źródła (oprawa LED zawierała diody emitujące promieniowanie z zakresu dalekiej czerwieni) [4, 24]. Lampy sodowe, powszechnie stosowane w szklarniach, emitują światło o wystarczającym natężeniu i spektrum dla prawidłowego przebiegu procesu fotosyntezy. Widmo ich charakteryzuje się jednak niedoborem w zakresie barwy niebieskiej i dalekiej czerwieni (w porównaniu ze światłem słonecznym) [17, 20]. Według Menarda i współautorów [17] długotrwałe doświetlanie roślin takim światłem może prowadzić do zaburzeń w przebiegu procesów fizjologicznych, a w efekcie do nieprawidłowego rozwoju roślin.

**TABELA 2**

Wybrane parametry budowy morfologicznej roślin truskawki w zależności od zastosowanego doświetlania

Kombinacja	Świeża masa liści [g]		Powierzchnia liści [cm <sup>2</sup> roślina <sup>-1</sup> ]	
	„Grandarosa”	„Elsanta”	„Grandarosa”	„Elsanta”
Światło sodowe	63,94 b	55,75 ab	1618,84 b	1320,37 ab
LED	71,85 c	46,18 a	1886,86 c	1233,75 a
Kontrola	53,37 ab	57,86 ab	1394,28 ab	1367,37 ab

Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $P < 0,05$  według testu t-Duncana

**TABELA 3**

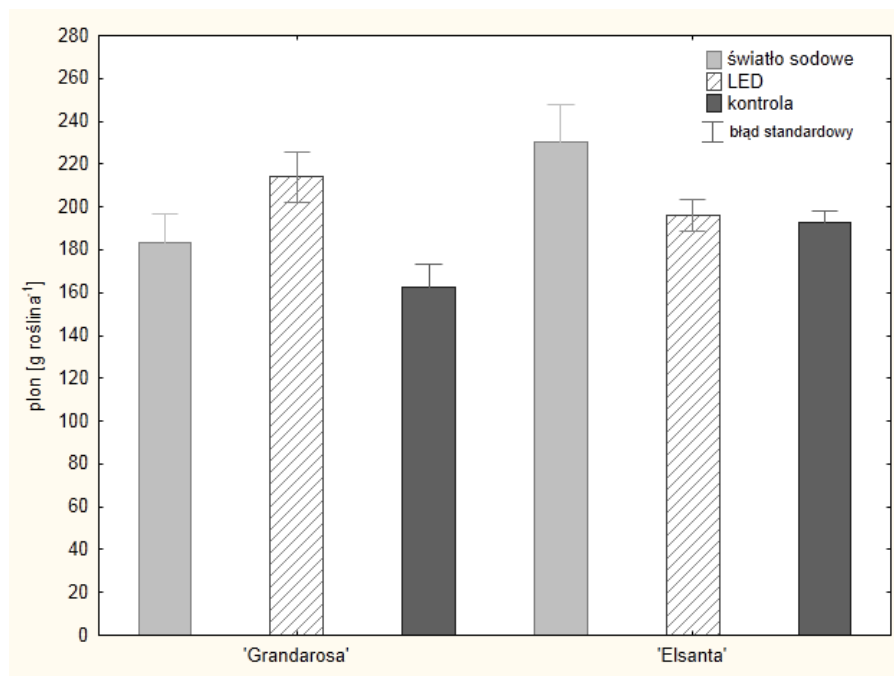
Wybrane parametry budowy morfologicznej roślin truskawki w zależności od zastosowanego doświetlania

Kombinacja	Średnica korony [mm]		Świeża masa korzeni [g]	
	„Grandarosa”	„Elsanta”	„Grandarosa”	„Elsanta”
Światło sodowe	19,58 abc	22,67 bc	35,48 a	31,60 a
LED	24,55 c	15,39 a	38,70 a	28,75 a
Kontrola	18,46 ab	23,06 bc	34,33 a	36,08 a

Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $P < 0,05$  według testu t-Duncana

Uzyskane wyniki potwierdzają obserwacje innych autorów o istotnym znaczeniu składu spektralnego światła używanego dla doświetlania roślin. Przykładowo, uzupełnienie emitowanego widma o światło niebieskie spowodowało zwiększenie akumulacji biomasy ogórka [17] i papryki [4]. Istotne znaczenie jakości widma emitowanego przez oprawy oświetleniowe wykazano także w przypadku truskawki [22, 27, 29].

W doświadczeniu stwierdzono różnice w wielkości plonowania roślin (rys. 1). Najwyższy plon uzyskano z doświetlanych światłem sodowym roślin odmiany „Elsanta”. Jest to odmiana o dużym potencjale plonotwórczym, chętnie uprawiana pod osłonami. Jednak w przypadku tej odmiany nie stwierdzono istotnego zróżnicowania pomiędzy kombinacjami doświetlanymi z wykorzystaniem różnych sztucznych źródeł światła i kontrolą. Odmienną sytuację zaobserwowano w przypadku odmiany ‘Grandarosa’. Doświetlanie roślin światłem emitowanym przez diody spowodowało istotne zwiększenie plonowania w porównaniu z kontrolą. Niski plon wydały natomiast rośliny tej odmiany doświetlane światłem sodowym. Jest to kolejna przesłanka wskazująca na istnienie zróżnicowanej reakcji odmian danego gatunku na oddziaływanie czynników zewnętrznych, w tym przypadku światła o określonej charakterystyce. Istotne oddziaływanie składu spektralnego światła na rozwój generatywny truskawki został wykazany przez Yoshida i współautorów [29].



Rys. 1. Wielkość plonowania roślin truskawki w zależności od zastosowanego doświetlania

Reakcja roślin na zastosowane doświetlenie zależy od gatunku. Przykładowo, Brazaityte i współautorzy [2, 3] stwierdzili pozytywny wpływ doświetlania diodami emitującymi światło zielone (jako dodatku do standardowej oprawy LED o diodach czerwonych, niebieskich i dalekiej czerwieni) na wzrost rozsady ogórka oraz przeciwny efekt (hamowanie wzrostu) w sytuacji, gdy widmo światła zostało uzupełnione promieniowaniem UV [2]. Odmienną reakcję zaobserwowano na roślinach pomidora. Dodatek promieniowania UV przyspieszał wzrost roślin, natomiast uzupełnienie widma o światło zielone nie było korzystne dla rozsady pomidora [3]. Nasze badania wskazują, że reakcja roślin na doświetlenie może być zmienna, nie tylko dla różnych gatunków, ale także odmian, co zostało wykazane również w przypadku oddziaływania innych czynników zewnętrznych, np. dostępności wody [12]. Podane przykłady wskazują, że zależności te są zróżnicowane i ich wyjaśnienie wymaga dalszych badań z wykorzystaniem metod analitycznych z dziedziny fizjologii roślin, biochemii i biologii molekularnej.

#### 4. PODSUMOWANIE

W badaniach wykazano, że reakcja roślin truskawki na doświetlenie była uzależniona od uprawianej odmiany. Rośliny odmiany „Grandarosa” rosnące w warunkach doświetlania LED charakteryzowały się sprawnym przebiegiem procesu fotosyntezy, intensywnym wzrostem i większym plonowaniem. W przypadku odmiany „Elsanta” nie

stwierdzono korzystnej reakcji roślin na zastosowanie światła sodowego lub LED. Wskazuje to na fakt, iż z uwagi na różnorodność reakcji fotomorfenetycznych, zakres spektralny emitowanego światła powinien być dopasowany nie tylko do konkretnego gatunku, ale także odmiany roślin uprawnych. Z tego powodu konieczne są dalsze prace nad doбором optymalnej jakości światła emitowanego przez oprawy LED dla danej uprawy (dobór diod o odpowiedniej charakterystyce spektralnej i udziale poszczególnych barw w widmie ogólnym oprawy oświetleniowej).

### **Podziękowania**

*Badania finansowane w ramach projektu 7PR (Nr 265942) pt. "The sustainable improvement of European berry production, quality and nutritional value in a changing environment: Strawberries, Currants, Blackberries, Blueberries and Raspberries" (akronim EUBerry).*

### **LITERATURA**

1. Blom T.J., Ingratta F.J.: The effect of high pressure sodium lighting on the production of tomatoes, cucumbers and roses, *Acta Hort.*, 148, s. 905-914, 1984.
2. Brazaitytė A., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Jankauskienė J., Kasiulevičiūtė-Bonakėrė A., Bliznikas Z., Novičkovas A., Breivė K., Žukauskas A.: The effect of light-emitting diodes lighting on cucumber transplants and after-effect on yield, *Zemdirbyste-Agriculture*, 96, s. 102-118, 2009.
3. Brazaitytė A., Duchovskis P., Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Jankauskienė J., Sakalauskaitė J., Šabajevienė G., Sirtautas R., Novičkovas A.: The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants, *Zemdirbyste-Agriculture*, 97, s. 89-98, 2010.
4. Brown C.S., Schuerger A.C., Sager J.C.: Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 120, s. 808-13, 1995.
5. Dorais M., Gosselin A., Trudel M.J.: Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light, *Sci. Hort.*, 45, s. 225-234, 1991.
6. Gajc-Wolska J., Kowalczyk K., Hemka L., Bujalski D., Karwowska R.: Wpływ doświetlania lampami sodowymi i metalohalogenkowymi na wybrane parametry fizjologiczne roślin pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 245, s. 223-231, 2010.
7. Gajc-Wolska J., Kowalczyk K., Metera A., Mazur K., Bujalski D., Hemka L.: Effect of supplementary lighting on selected physiological parameters and yielding of tomato plants, *Folia Hort.*, 25, s. 153-159, 2013.
8. Głowacka B.: Wpływ barwy światła na wzrost rozsady pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Acta Scien. Pol., seria Hortorum Cultus*, 1, s. 93-100, 2002.
9. Gratani L., Pesoli P., Crescente M.F.: Relationship between photosynthetic activity and chlorophyll content in an isolated *Quercus Ilex* L. tree during the year, *Photosynthetica*, 35, s. 445-451, 1998.
10. Hendriks J.: Supplementary lighting for greenhouse, *Acta Hort.*, 312, s. 65-76, 1992.



11. Kasemir H.: Control of chloroplast formation by light, *Cell Biol Int Rep.*, 3, s. 197-214, 1979.
12. Klamkowski K., Treder W.: Wpływ deficytu wody na wymianę gazową liści, wzrost i plonowanie dwóch odmian truskawki uprawianych pod osłonami, *Infr. Ekol. Ter. Wiej.* 5, s. 105-113, 2011.
13. Klamkowski K., Treder W., Treder J., Puternicki A., Lisak E.: Wpływ doświetlania lampami sodowymi i LED na aktywność fotosyntetyczną oraz wzrost roślin pomidora, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 256, s. 75-86, 2012.
14. Liu X.Y., Chang T.T., Guo S.R., Xu Z.G., Li J.: Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling, *Acta Hort.*, 907, s. 325-330, 2011.
15. Marini R.P.: Do net gas exchange rates of green and red peach leaves differ? *HortSci.*, 21, s. 118-120, 1986.
16. Massa G.D., Kim H-H., Wheeler R.M., Mitchell C.A.: Plant productivity in response to LED lighting, *HortSci.*, 43, s. 1951-1956, 2008.
17. Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A.: Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light, *Acta Hort.*, 711, s. 291-296, 2006.
18. Mitchell C.A., Both A.J., Bourget M.C, Burr J.F., Kubota C, Lopez R.G., Morrow R.C., Runkle E.S.: LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chron, Hort.*, 52, s. 6-12, 2012.
19. Netto A.T., Campostrini E., Goncalves de Oliveria J., Bressan-Smith R.E.: Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves, *Sci. Hort.*, 104, s. 199-209, 2005.
20. Puternicki A.: Zastosowanie półprzewodnikowych źródeł światła do wspomaganie wzrostu roślin. *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 245, s. 69-86, 2010.
21. Rodriguez I.R., Miller G.L.: Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration, nitrogen concentration, and visual quality of St. Augustine grass, *HortSci.*, 35, s. 751-754, 2000.
22. Samuolienė G., Brazaitytė A., Urbonavičiūtė A., Šabajevienė G., Duchovskis P.: The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries, *Zemdirbyste-Agriculture*, 97, s. 99-104, 2010.
23. Selga M., Vitola A., Kristkalne S., Gubar, G.D.: Accumulation of photosynthates in chloroplasts under various irradiance and mineral nutrition of cucumber plants, *Photosynthetica*, 17, s. 171-175, 1983.
24. Smith H.: Physiological and ecological function within the phytochrome family, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 46, s. 289-315, 1995.
25. Starck Z., Chołuj D., Niemyska B.: Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 1995.
26. Ward J.M., Cufu C.A., Denzel M.A., Neff M.M.: The Dof transcription factor OBP3 modulates phytochrome and cryptochrome signaling in *Arabidopsis*, *Plant Cell*, 17, s. 475-485, 2005.
27. Wu C.C., Hsu S.T., Chang M.Y., Fang W.: Effect of light environment on runner plant propagation of strawberry, *Acta Hort.*, 907, s. 297-302, 2011.

28. Yadava U.L.: A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves, HortSci., 21, s. 1449-1450, 1986.
29. Yoshida H., Hikosaka S., Goto E., Takasuna H., Kudou T.: Effects of light quality and light period on flowering of everbearing strawberry in a closed plant production system, Acta Hort., 956, s. 107-112, 2012.

*Rękopis dostarczono dnia 16.04.2014 r.*

INFLUENCE OF SUPPLEMENTARY LIGHTING  
WITH HIGH PRESSURE SODIUM AND LED LAMPS  
ON GROWTH, YIELD AND PHOTOSYNTHETIC  
ACTIVITY OF STRAWBERRY PLANTS

Krzysztof KLAMKOWSKI,  
Waldemar TREDER, Agnieszka MASNY

**ABSTRACT** *The objective of the study was to evaluate the physiological response and growth of strawberry plants grown under different light treatment. During cultivation period (February-May), the plants (two cultivars: 'Elsanta', 'Grandarosa') received supplemental artificial lighting provided by standard high-pressure sodium lamps or high-power solid-state lighting modules with red, blue and far red LEDs. Quantum irradiance in the both combinations was maintained at the same level. The third group of plants (control combination) was grown under the natural light (without supplemental lighting). The following measurements were taken: photosynthetic rate, leaf greenness index (relative chlorophyll content), fruit yield and the most important morphological parameters (fresh weight of plant organs, leaf surface area, crown diameter). The results showed that supplemental illumination using LED light source affected photosynthesis (higher rates), growth (higher foliage weight and area) and productivity of 'Grandarosa' strawberry plants. On the opposite, no significant effect of supplemental artificial lighting on performance of 'Elsanta' plants was recorded. The obtained results showed that LED lamps could be used in greenhouse lighting systems. However, much work still has to be done to optimize lighting spectrum of LED modules for the cultivation of the specific crop species and cultivars.*

**Keywords:** *Fragaria x ananassa, photosynthesis, chlorophyll, photomorphogenesis*