

Grzegorz FIUTAK\*<sup>1)</sup>, Magda FILIPCZAK-FIUTAK<sup>2)</sup>, Krzysztof SURÓWKA<sup>1)</sup><sup>1)</sup> Katedra Chłodziwa i Koncentratów Spożywczych, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie<sup>2)</sup> Katedra Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

\*autor korespondujący

## Wpływ światła LED o różnej charakterystyce spektralnej na cechy jakościowe liofilizowanego jarmużu

### Streszczenie

Praca ma na celu określenie wpływu światła emitowanego przez diody LED (barwa światła biała) o różnej charakterystyce spektralnej, na cechy jakościowe liofilizowanego jarmużu. Nowy rodzaj światła (diody LED) odznacza się zupełnie innym widmem spektralnym niż dotychczasowe znane źródła. Przewaga światła niebieskiego w spektrum świetlnym wpływa negatywnie na zachowanie barwników fotosyntetycznych, co zostało potwierdzone w niniejszej pracy. Chociaż każdy z zastosowanych w doświadczeniu rodzajów światła negatywnie oddziałuje na zawartość barwników w liofilizowanym jarmużu, jednak najmniejsze straty odnotowano stosując światło LED o barwie białej ciepłej.

**Słowa kluczowe:** barwniki fotosyntetyczne, diody LED, chlorofil, karoteny

## The influence of LED lights with different spectral characteristics on the quality of freeze-dried kale

### Summary

The aim of the work was to determine the effect of light emitted by LED diodes (light color white) with different spectral characteristics on the quality of freeze-dried kale. The new type of light (LED) is characterized by a completely different spectral spectrum than the known light sources. The abundance of blue light in the light spectrum negatively affects on photosynthetic dyes content, which was confirmed in this work. The influence of each type of light has a negative effect on the content of the dyes in freeze-dried kale, however the smallest losses were recorded using white LED warm light.

**Key words:** photosynthetic dyes, LED diodes, chlorophyll, carotenes

$\Delta E$  – różnica barw, [-]  
 $L^*$  – składowa barwy – jasność, [-]  
 $I_x$  – natężenie światła, [luksy]

$a^*$  – składowa barwy w zakresie od zielonego do czerwonego, [-]  
 $b^*$  – składowa barwy w zakresie od niebieskiego do żółtego, [-]

### Wprowadzenie

Światło, zarówno naturalne jak i sztuczne, należy do kluczowych czynników istotnie wpływających na postrzeganie produktów spożywczych. Niedobór oświetlenia lub ekspozycja w nieprawidłowo dobranym oświetleniu może wpłynąć na obniżenie atrakcyjności produktu w oczach konsumenta, jak również ma istotny wpływ na cechy jakościowe przechowywanych suchych surowców roślinnych (Klamkowski, 2015). Od kilku lat coraz większym zainteresowaniem cieszą się lampy LED-owe, wykorzystywane do oświetlania (Grzesiak i in., 2011). Lampy LED (ang. Light Emitting Diodes) składają się z diod elektroluminescencyjnych, które zostały wynalezione już w latach 20. XX wieku. Pierwsze diody LED-owe, które emitowały niebieskie światło zostały wyprodukowane w 1993 roku (Sendek, 2008). Zasada działania tych lamp opiera się na przetwarzaniu energii elektrycznej bezpośrednio na światło monochromatyczne, bez wydzielania dużych dawek ciepła. Kluczową zaletą lamp LED-owych jest możliwość emitowania fal świetlnych o różnej długości jak i inten-

sywności. Umożliwia to dostosowanie odpowiedniego widma światła, najbardziej korzystnego w danym procesie. Dobór odpowiedniej barwy świetlnej ma istotny wpływ zarówno na cechy morfologiczne roślin, ale także na wartość odżywczą podczas przechowywania produktów spożywczych. Duży udział światła o długości fali 436-495 nm, a więc o barwie niebieskiej może działać negatywnie na te cechy (Hołownicki, 2010; Kurpaska, 2015). Lampy LED cieszą się również dużą popularnością dzięki temu, iż należą do produktów proekologicznych. Nie zawierają związków trujących i niebezpiecznych dla środowiska takich jak rtęć i ołów. W porównaniu do powszechnie stosowanych lamp wyróżniają się one dużą oszczędnością energii i prawie 10 razy dłuższym czasem użytkowania. Żywotność lamp LED-owych wynosi nawet od 50 tys. do 80 tys. godzin. Charakteryzują się one małymi rozmiarami, dlatego ich wykorzystywanie w instalacjach jest bardzo proste. Są bardzo wydajne i nie potrzebują dodatkowego czasu na rozgrzanie się, tak jak to odbywa się w przypadku lamp sodowych. Mogą być również umieszczane bardzo blisko produktów z racji tego, iż nie

generują dodatkowej dawki ciepła. Dzięki temu zmniejszają się również koszty związane z koniecznością wentylacji obiektu (Sendek, 2008; Sprzączka, 2012; Maciejuk, 2013).

Oświetlanie produktów diodami LED jest coraz bardziej popularne ze względu na ich CRI, tzn. współczynnik oddawania barwy, który może przyjmować wysokie wartości. Wskaźnik oddawania barwy jest to parametr opisujący zdolność źródła światła do oświetlenia miejsca, obiektu w jak najlepszy sposób odzwierciedlający jego barwy (Wyszecki i Stiles, 1982). Im wyższy jest ten współczynnik, tym lepiej i w bardziej rzeczywisty sposób oddawane są barwy i naturalny wygląd przedmiotu czy obiektu. Jeżeli współczynnik CRI wynosiłby maksimum, czyli 100 (przedział od 0-100) to wtedy, rzeczy przedstawiane w tym świetle, wyglądałyby jakby były oświetlone światłem słonecznym.

### Cel badań

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu światła emitowanego przez diody LED (barwa światła biała) o różnej charakterystyce spektralnej, na cechy jakościowe (zawartość barwników fotosyntetycznych i barwę) liofilizowanego jarmużu

### Materiał i metoda

#### Przygotowanie materiału badawczego

Materiał badawczy wykorzystany w doświadczeniu stanowił świeży jarmuż (*Brassica oleracea L. var. sabellica L.*), który po selekcji (zielone, nieuszkodzone liście, pozbawione łodyżek) poddano liofilizacji. Zliofilizowane liście kolejno zhomogenizowano w urządzeniu wielofunkcyjnym Thermomix TM3 (Francja). Tak otrzymany zielony proszek rozdzielono w równych ilościach do 5 szklanych naczyń, które szczelnie zamknięto. Próbkę te stanowiły matrycę do dalszych doświadczeń. Trzy spośród nich były przechowywane w specjalnie przygotowanych pojemnikach o wymiarach 32,5 cm długości, 22 cm szerokości i 35 cm wysokości z diodami LED zamontowanymi w górnej ich części, gdzie ostatecznie materiał badawczy oddalony był od źródła światła na odległość 33 cm. Zastosowano warianty LED: biały zimny (10032 K), biały ciepły (3279 K) oraz diody RGB (Red Green Blue) z których każdy chip (RGB) świecił takim samym natężeniem dając łącznie światło białe. Natężenie diod we wszystkich wariantach wynosiło 1200 lx. Charakterystykę parametrów światła przeprowadzono przy użyciu spektrofotometru Konica Minolta CL-500A (Japonia). W badaniach wykorzystano 180 diod SMD 5730 białych ciepłych i białych zimnych oraz 180 diod SMD RGB 5050. Czwarte szklane naczynie z materiałem zostało umieszczone w ciemnym miejscu bez dostępu światła. Materiał badawczy we wszystkich opisanych warunkach przechowywany był przez okres 6 tygodni, w tej samej temperaturze  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  przy dostępie światła 24h na dobę. Analizy wykonywano co 7 dni. Oznaczono zawartości chlorofilu i karotenoidów metodą HPLC oraz wykonano pomiary barwy przy użyciu kolorymetru Konica Minolta CM-5 (Japonia).

#### Oznaczenie chlorofilu i karotenoidów metodą HPLC

Pigmenty ekstrahowano z liofilizowanego szpinaku w temperaturze pokojowej w słabym świetle laboratoryjnym. Re-

prezentatywne próbki (około 50 mg) homogenizowano przez 60 s, stosując 4,5 ml metanolu i 200 mg tlenku magnezu, przy zastosowaniu homogenizatora Diax 900 (Heidolph, Niemcy). Następnie próbki odwirowano przy ok. 2500 x g przez 10 minut (MPW-56, Warszawa, Polska). Supernatant przesączono przez filtr strzykawkowy z membraną 0,45 µm PTFE (VWR International, USA) i wstrzyknięto w objętości 20 µl na kolumnę HPLC.

Stężenie chlorofilu i karotenoidów oznaczano metodą HPLC z wykorzystaniem zestawu LaChrom (Merck-Hitachi, Darmstadt, Niemcy) składającego się z detektora z matrycą diodową (L-7450), programowalnej pompy gradientowej (L-7100), automatycznego podajnika próbek (L-7250) i interfejsu (D7000). Rozdział przeprowadzono na kolumnie LiChrospher 100 RP-18 (5 µm, 250 x 4 mm, Merck, Darmstadt, Niemcy). Temperaturę kolumny utrzymywano na poziomie 30°C. Faza ruchoma składała się z metanolu/acetonytrylu (9:1 v/v) (eluent A), acetonu (eluent B) i octanu amonu 1M (eluent C). Rozdzielanie przeprowadzono przy szybkości przepływu 1 ml/min, stosując następujące gradienty rozpuszczalnika: stałą proporcję eluentu A (80%) i zmienną acetonu (B) i octanu amonu (1 mol / L) (C): 0 min 10% (B): 10% (C); 10 min. 16% (B): 4% (C); 25-50 minut 20% (B): 0% (C). Następnie w ciągu 5 minut, powrócono do stanu początkowego. Wykrywanie pigmentów prowadzono przy 350 - 750 nm. Stężenie szczegółowe barwników obliczono na podstawie krzywych wzorcowych.

#### Oznaczenie barwy

Analizę barwy wykonywano w systemie CIE L\*a\*b\* w szklanych naczyniach pomiarowych przy użyciu spektrofotometru Konica-Minolta CM-5 ustawionego na światło dzienne D65 i 2° obserwatora kalibrowanego na wzorcu bieli i czerni. Obliczono zmianę barwy  $\Delta E$ . W opracowaniu wyników posłużono się kryterium, według którego bezwzględne różnice barw ( $\Delta E^*$ ), pomiędzy 0 i 1 są nierozpoznawalne (odchylenie niewidoczne), od 1 do 2 niewielkie odchylenie, które jest rozpoznawalne jedynie dla doświadczonego obserwatora, 2-3,5 średnie odchylenie rozpoznawane nawet przez osobę niedoświadczoną, 3,5-5 wyraźna różnica barw,  $\Delta E^*$  powyżej 5 oznacza duże odchylenie barwy (Róji i Przybyłowski, 2012).

Wszystkie oznaczenia (zawartość chlorofilu i karotenoidów oraz barwy) wykonano w trzech niezależnych powtórzeniach.

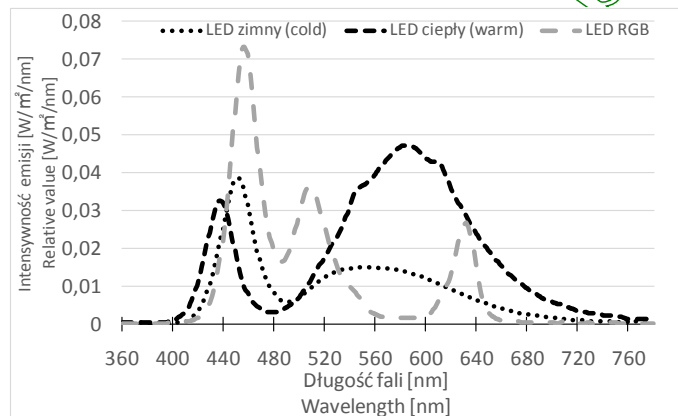
### Wyniki i dyskusja

Obecnie znanych jest wiele źródeł światła sztucznego. Różnią się one zarówno barwą, temperaturą barwową, ale co najważniejsze ich spektrum światła widzialnego (Woźny, 2012). Zupełnie nowym, wysoce energooszczędnym, a także bardzo wytrzymałym źródłem światła są półprzewodnikowe diody LED (Puternicki 2010). W zależności od użytego przy ich produkcji luminoforu mogą one świecić światłem bardziej zimnym lub ciepłym (rys. 1). Inaczej zbudowane są diody RGB w których kolor biały powstaje po nałożeniu się trzech składowych barw w maksimach ok. 460, 490, 630 nm. Diody LED ze względu na wysoki współczynnik oddawania barwy CRI są polecane do oświetlenia np. półek sklepowych ponieważ produkty takie wyglądają

naturalnie. W przypadku używanych diod białych ciepłych CRI wynosi 64, a białych zimnych 75.

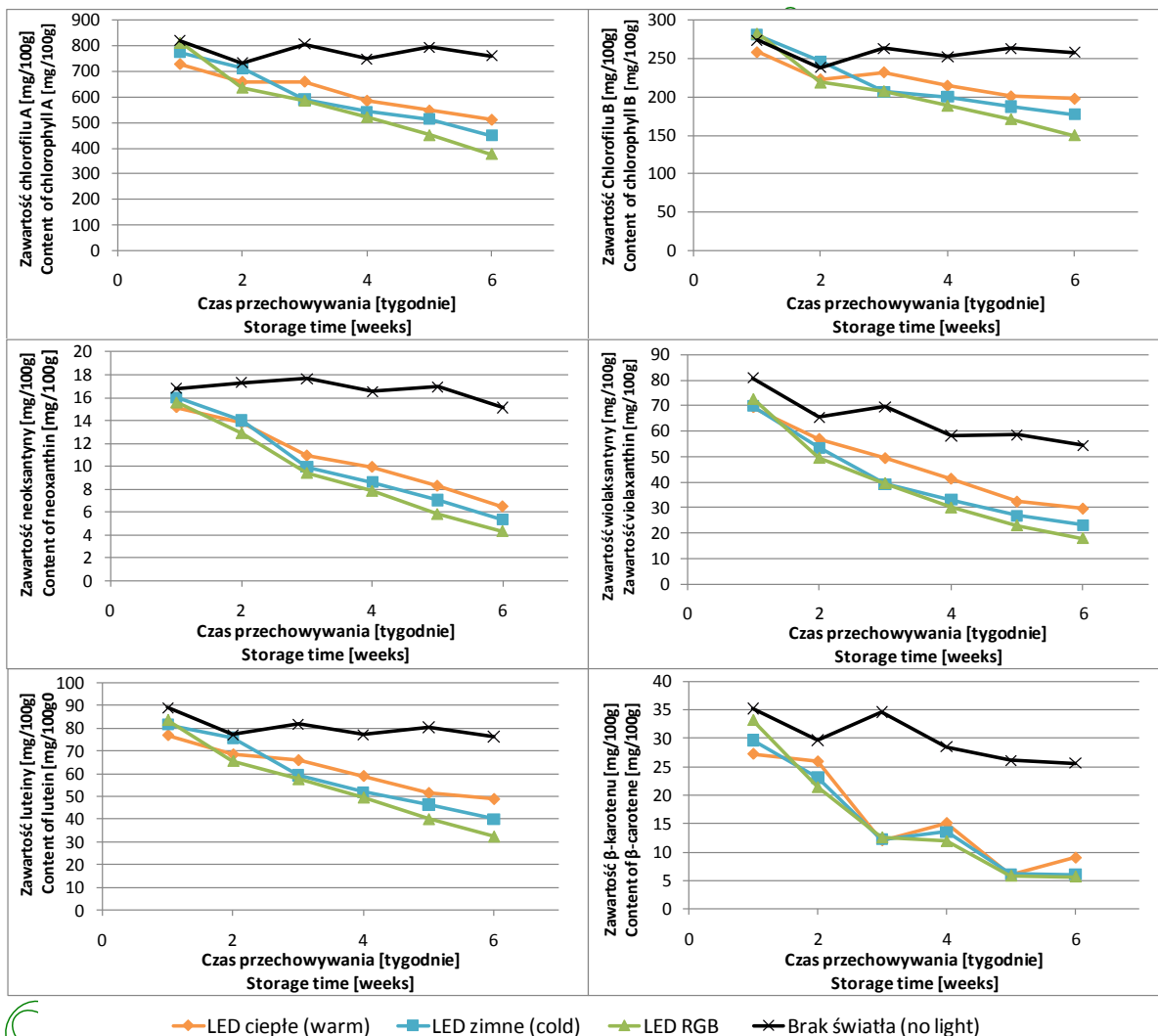
Porównując zmianę barwników fotosyntetycznych, już w trzecim tygodniu analiz, odnotowano różnicę, pomiędzy próbkami oświetlanymi, a wariantem przechowywanym w ciemności. 6-tygodniowe przechowywanie bez dostępu światła nie spowodowało obniżenia stężenia barwników chlorofilowych. W przypadku karotenoidów dla próbek składowanych w ciemności, obniżenie wartości początkowych odnotowano dla wiołaksantyny i  $\beta$ -karotenu i wynosiły one odpowiednio 31%, 28%. Zmiana barwy liofilizatu bez dostępu światła w pierwszych 4 tygodniach jest niezauważalna (tab. 1.), w 5 tygodniu jest rozpoznawalna przez doświadczonego obserwatora, a wyraźną różnicę barwową odnotowano dopiero w ostatnim tygodniu przechowywania. Dla próbek przetrzymywanych w świetle sztucznym w 2 tygodniu tylko światło RGB spowodowało różnicę rozpoznawalną dla przeciętnego obserwatora, pozostałe były widoczne tylko dla doświadczonego obserwatora. W 3 tygodniu zmiana barwy jedynie w świetle ciepłym była niedostrzegalna dla przeciętnego obserwatora. Natomiast w kolejnym tygodniu dla światła RGB i zimnego różnica ta wynosi ponad 5, co jak podaje

Chudy i in., (2016) oraz Wrolstad i Smith (2010), obserwator odnosi wrażenie dwóch różnych barw, czego nie stwierdzono w całym okresie przechowywania dla światła ciepłego oraz dla próbek przechowywanych bez dostępu światła.



Rys. 1. Charakterystyka spektralna światła zimnego LED, ciepłego LED, LED RGB

Fig. 1. The spectral characteristics of cold LED light, warm LED light, LED RGB light



Rys. 2. Zmiany barwników fotosyntetycznych w liofilizowanym jarmużu w zależności od warunków oświetlenia stosowanych podczas 6-tygodniowego przechowywania

Fig. 2. Changes in photosynthetic pigments in freeze-dried kale depending on the lighting conditions used during the 6-week storage

Tab. 1. Różnica barw ( $\Delta E$ ) liofilizowanego jarmużu w zależności od warunków oświetlenia stosowanych podczas 6-tygodniowego przechowywania

Tab 1. Color difference ( $\Delta E$ ) of freeze-dried kale depending on the lighting conditions used during the 6-week storage

Warunki oświetlenia Conditions lighting	Tygodnie; Weeks					
	1	2	3	4	5	6
LED RGB	0,9	2,1	4,2	6,6	7,7	7,5
LED ciepły; LED warm	0,4	1,6	3,2	4,4	4,8	5,0
LED zimny; LED cold	0,9	1,8	3,6	5,4	6,6	6,5
Brak światła; No light	0,1	0,6	0,9	1,0	2,0	3,9

Barwniki chlorofilowe obecne w liściach jarmużu, należą do nietrwałych. Po 6-tygodniowym przechowywaniu zawartość tych pigmentów obniżyła się o 53% w przypadku diod RGB, o 44% dla wariantu zimnego i o 35% dla ciepłego. Ostatecznie różnica między światłem RGB i ciepłym wynosiła ok. 140 mg/100 g dla chlorofilu a i 50 mg/100 g dla chlorofilu B.

Barwników karotenoidowych jest znacznie mniej w zielonych liściach jarmużu niż chlorofilowych, natomiast ich różnorodność przeważa. W badaniach własnych spośród barwników karotenowych zidentyfikowano głównie  $\beta$ -karoten. Na ubytek tego barwnika podczas przechowywania w dużym stopniu wpływa temperatura oraz warunki atmosferyczne (Lefsrud i in., 2005). Światło LED-owe działa na ten barwnik bardzo negatywnie, w porównaniu do warunków ograniczających światło. Wszystkie warianty świetlne wykazują wysokie działanie destrukcyjne na ten składnik. Spadek zawartości  $\beta$ -karotenu pod wpływem działania światła jest stosunkowo proporcjonalny do upływu czasu (rys. 2). Po 6-tygodniowym przechowywaniu liofilizowanego jarmużu w obecności światła LED zawartość tego barwnika pozostała znikoma. W pierwszym tygodniu jego zawartość wynosiła 35 mg/100 g, natomiast w ostatnim już zaledwie ok. 5 mg/100 g, co świadczy, iż zawartość  $\beta$ -karotenu zmniejszyła się prawie 7-krotnie. W przypadku tego barwnika zasadnym jest ograniczenie dostępności światła. Natomiast dla pozostałych karotenoidów (ksantofili), najlepiej jest światło ograniczyć, albo używać światła ciepłego gdyż wtedy ich ubytek jest znacznie mniejszy. Wysoka zawartość karotenoidów w liofilizowanym jarmużu jest zalecana gdyż charakteryzuje je szereg pozytywnych właściwości i pomagają w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu człowieka (Schwartz i in., 1997; Cunningham i Gantt, 1998; Havaux, 1998; Ledford i Niyogi, 2005).

### Podsumowanie i wnioski

Światło podczas przechowywania negatywnie wpływa na barwniki fotosyntetyczne w liofilizowanym jarmużu. Zdecydowanie najlepiej susz taki przechowywać bez dostępu światła, jednak w takiej postaci jest on znacznie mniej atrakcyjny dla wielu konsumentów, stąd konieczność przechowywania i dystrybucji w przezroczystym opakowaniu, co naraża produkt na negatywne oddziaływanie światła. W przypadku stosowania sztucznego oświetlenia LED-

owego, zasadnym jest używanie oświetlenia, o barwie temperaturowej poniżej 3500 K tzw. światło ciepłe. Światło zimne (temperatura barwowa powyżej 9000 K), w swojej charakterystyce spektralnej odznacza się zwiększonym udziałem fal odpowiadających kolorowi niebieskiemu, przez co nie jest zalecane do oświetlania suszonych liści jarmużu, ani produktów które taki susz zawierają. Ponadto stwierdzono, że światło białe z diod RGB, powstałe poprzez połączenie trzech barw, wpływa bardziej destrukcyjnie na barwniki fotosyntetyczne, niż pozostałe rodzaje światła.

### Podziękowania

Badania zostały sfinansowane z dotacji celowej na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

### Bibliografia

- Chudy, S., Gierałowska, U., Krzywdzińska-Bartkowiak, M., Piątek, M. (2016). Pomiar barwy produktów mlecznych w: *Współczesne trendy w kształtowaniu jakości żywności* pod red. Piaseckiej-Kwiatkowskiej, D. i Cegielskiej-Radziejewskiej, R. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 85-95, ISBN: 978-83-7160-834-6.
- Cunningham, F.X., Gantt, E. (1998). Genes and enzymes of carotenoid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 557-583.
- Grzebiak W., Bieńkowski A., Żupnik M., Wojciechowska R., Kottun A., Kurpaska S. (2011). Nowoczesne systemy doświetlania roślin oparte o najnowsze osiągnięcia technologii SSL LED. *Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania*, 52(6), 137-139.
- Havaux, M. (1998). Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. *Trends Plant Science*, 3, 147-151.
- Hołownicki R. (2010). Do doświetlania roślin można użyć LED-ów. *Hasło ogrodnicze*, 4, 94.
- Klamkowski K. (2015). Doświetlanie rozsady. *Hasło ogrodnicze*, 10, 65-67.
- Kurpaska S. (2004). Technika doświetlania roślin. *Hasło ogrodnicze*, 7, 12-14.
- Ledford, H.K., Niyogi, K.K. (2005). Singlet oxygen and photooxidative stress management in plants and algae. *Plant, Cell & Environment*, 28, 1037-1045.
- Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., Kopsell, D.E., Curaan-Celentano J. (2005). Air temperature affect biomass and pigment accumulation in kale and spinach grown in a controlled environment. *Horticultural Science*, 40, 2026-2030.
- Maciejuk, A. (2013). LED w ogrodnictwie. *Hasło ogrodnicze*, 1, 82-85.
- Puternicki, A. (2010). Zastosowanie półprzewodnikowych źródeł światła do wspomaganie wzrostu roślin. *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 245, 69 - 86.
- Rój, A., Przybyłowski, P. (2012). Ocena barwy jogurtów naturalnych. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna. XLV(3)*, 813-816.
- Schwartz, S.H., Tan, B.C., Gage, D.A., Zeevaart, J.A., McCarty, D.R. (1997). Specific oxidative cleavage of carotenoids by VP14 of maize. *Science*, 276, 1872-1874.
- Sendek, E. (2008). Możliwości tkwiące w diodach LED. *Hasło ogrodnicze*, 8, 40. 10.

Sprzączka, I. (2012). LED- oświetlenie przyszłości? *Hasło ogrodnicze*, 10, 123.  
Woźny, A. (2012). Zastosowanie światła w kontroli wzrostu i rozwoju roślin ozdobnych. *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 255, 225-234.

Wrolstad, R.E., Smith D.E., (2010). *Color analysis*. In: *Food Analysis* (Eds. Nielsen). Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 574–586.  
Wyszecki, G., Stiles, W. S., (1982). *Color science*. John Wiley & Sons, New York.

**Grzegorz Fiutak**

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Koftąją w Krakowie  
Katedra Chłodnictwa i Koncentratów Spożywczych  
Wydział Technologii Żywności  
ul. Balicka 122, 30-149 Kraków  
e-mail: [grzegorz.fiutak@urk.edu.pl](mailto:grzegorz.fiutak@urk.edu.pl)

pobrano z [www.ips.wm.tu.koszalin.pl](http://www.ips.wm.tu.koszalin.pl)