KOREAN J. FOOD COOK. SCI.
Vol. 31, No. 4, pp. 505~509 (2015)

ISSN 2287-1780(Print)
ISSN 2287-1772(Online)
http://dx.doi.org/10.9724/kfcs.2015.31.4.505

≪연구노트≫

혼합파장의 LED를 광원으로 재배한 방울토마토와 적채의 생리활성물질 함량 분석

강선아* · 양혜정[1]* · 고병섭[2] · 김민정[1] · 김봉수[3] · 박선민†

호서대학교 자연과학대학 비만당뇨연구소 식품영양학전공, [1]한국식품연구원, [2]한국한의학연구원, [3]한국파루스 R&D팀

Effect of LED with Mixed Wavelengths on Bio-active Compounds in Cherry Tomato and Red Cabbage

Suna Kang* · Hye Jeong Yang[1]* · Byoung Seob Ko[2] · Min Jung Kim[1] · Bong Soo Kim[3] · Sunmin Park†

Dept. of Food and Nutrition, Obesity/Diabetes Center, Hoseo University, Asan 31499, Korea
[1]Food Functional Research Division, Korean Food Research Institutes, Sungnam 13539, Korea
[2]Korea Institute of Oriental Medicine, Daejeon 34054, Korea
[3]Dept. of R&D, Korea Parus, Cheoan 31244, Korea

Abstract

Light emitting diodes (LED) are able to selectively control the wavelength of light, enabling them to enhance photosynthesis by increasing specific wavelengths. The objectives of this study were to determine the effects of LED light exposure with various wavelengths (630 nm: 550 nm: 450 nm=8:1:1) on plant growth and bio-active compound concentrations in cherry tomato and red cabbage. With cherry tomatoes, LED decreased the number of fruits compared to fluorescent light (FL) but resulted in a significantly higher value in the total weight of the fruits and in sugar content. However, lycopene contents were not significantly different between the groups. With red cabbages, the weight and length were both significantly higher in the LED group than in the FL group. Furthermore, the anthocyanin contents in the red cabbage LED group were two times higher than those of the FL group. These results suggested that exposure to LED light with a high ratio of red wavelength can increase the anthocyanins contents in red cabbages but not the lycopene content in cherry tomatoes. Further studies will be needed to determine which LED wavelength can enhance lycopene content in cherry tomatoes.

Key words: light emitting diode, tomato, red cabbage, lycopene, anthocyanin

Ⅰ. 서 론

지구 온난화와 자연 재해로 인해 농작물 가격의 폭등과 폭락을 반복하고 있으며 그로 인해 농가 소득이 불안정하고 물가가 불안정한 상태이다. 이상 기후 문제 보완과 동시에 친환경 재배에 대한 관심이 많아지면서 농가에 새로운 기술이 도입되고 있다. 식물공장 기술은 계절에 관계없이 과일과 채소를 사시사철 얻을 수 있고, 그중 수경 재배 시설은 친환경적이라는 장점을 가지고 있다.

광원으로 사용되는 형광등은 전기 사용량이 많으며, 빛의 세기가 LED(light-emitting diode: 발광 다이오드)에 비하여 약하고 수명이 짧고, 파장을 조절할 수 없다는 단점을 가지고 있으므로 형광등에서 LED로 광원을 전환하는 것을 권장하고 있다(Yeh N & Chung JP 2009). LED는 에너지 절감 뿐 아니라 수명이 길어 유지 비용이 적고, 안전하며, 파장을 선택적 조절할 수 있어서 특정 파장을 증폭시킴으로 광합성량을 증진시킬 수 있다고 보고되어 있다(Fred S 등 2005). 현재까지는 식물공장에서도 형광등을 주 광원으로 사용하였으나 LED로 교체되는 추세이다.

컬러푸드는 색에 따라서 특정한 생리활성물질을 함유하고 있는데, 이들은 체내에서 항산화기능이나 신진대사, 면역기능을 조절하는 역할을 수행한다(Chiang SS & Pan TM 2013). 붉은색을 나타내는 토마토의 경우 리코펜(lycopene)을, 자색을 나타내는 적채의 경우 안토시아닌(anthocyanin)을 함유하고 있다(Noh HJ 등 2013). 토마토 내 생리활성 물질인 리코펜은 암세포의 생존율을 감소시

*Equal contribution.

†Corresponding author: Sunmin Park, Food and Nutrition, Hoseo University, 20, Hoseo-ro 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do 31499, Korea
Tel: +82-41-540-5633
Fax: +82-41-548-0670
E-mail: smpark@hoseo.edu

키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Ellinger S 등 2006). 적채 내 안토시아닌은 항산화 능력이 좋고, 심혈관계 질환을 감소시키고 항암작용을 하는 것으로 알려져 있다(Monica G & Ronald EW 2001). 식물 내 생리활성물질의 함량은 빛의 질이나 다양한 노출에 따라 변하는데(Samuolien G 등 2012) 연구에 따르면 파장을 조절한 LED를 식물에 조사하였을 때, 식물 내에 존재하는 생리활성물질이 달라진다고 보고되었다(Bian ZH 등 2015).

본 연구에서는 특정 파장을 조합한 혼합 LED를 광원을 사용하여 방울토마토와 적채를 비닐하우스에서 재배했을 때 이들의 성장이 증가되고, 방울토마토와 적채의 생리활성물질인 리코펜과 안토시아닌의 합성이 증가되는지를 분석하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 광원

대조 광원으로 형광등(20W, White oslam superstar, Oslam, Ansan, Korea)을 사용하였고, 실험 광원으로는 LED(PGL-PLF 2 line, 3W, Parus, Cheonan, Korea; 적색:녹황색:청색=8:1:1)를 사용하였다. LED등과 형광등의 광량은 Quantum Separate Sensor(MQ-200, Apogee Instruments, Logan, UT, USA)로 측정하였다.

2. 방울토마토와 적채의 재배 방법

실내에서 식물의 재배시설을 갖추고 식물재배 공간을 두 부분으로 구획하여 형광등과 LED를 광원으로 각각 공급하였다. 실험 대상인 토마토와 적채의 종묘는 농업회사법인 아시아종묘(주)(Seoul, Korea)에서 구매하여 재배하였다. 품종은 방울토마토(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) 종자와 로얄 적채(*Brassica deracea* L. var. *capitata* F. *rubra*) 종자를 각각 사용하였다. 재배 조건은 광원을 제외하고는 대조군과 실험군이 같도록 하였다. 방울토마토와 적채는 광원별로 각각 11개와 8개의 작물을 사용하였고 재식 거리는 320±30 mm와 400±30 mm로 정식하였다. 방울토마토는 밤낮 온도 차이에 영향을 받으므로 낮시간인 9~18시에는 약 22°C로, 밤시간인 18시부터 오전 9시까지는 약 18°C로 재배 장소의 온도를 조절해 주었고 적채는 생육기간동안 19±1°C의 온도를 유지하도록 하였다. 습도는 65~80%로 설정하였다. 관수는 방울토마토의 경우 생육 중기와 말기에 한 작물 당 주 2회를 주고 한 번에 200 mL씩 제공하였고, 적채는 생육 초기에는 3~4일에 1~2회 관수를 하였고 생육 중기에는 2~3일에 1~2회, 생육말기에 매일 1~2회 이상의 관수를 하였다. 대조군은 광원으로 오슬람 형광등을 사용하였고, 실험군은 적색:녹황색:청색(630 nm:550 nm:450 nm)=8:1:1로 혼합한 LED를 사용하여 각각 3개월간 조사하였다. 방울토마토에 조사한 LED 광량은 광포화점이 70,000 lux로 150~200 μmol·m^{-2}·s^{-1}을 조사하여 광량을 충족시켜 주었고 밤낮을 정하여 새벽 6시부터 오후 6시까지 12시간 동안만 빛을 조사해 주었다. 적채는 광포화점이 40,000 lux로 130~150 μmol· m^{-2}·s^{-1}의 수준으로 광량을 충족시켜 주었다. 식물과 광원의 거리를 일정하게 유지하기 위해서 이동이 가능한 램프설치대를 이용하여 매주 1회의 광량 측정하고 램프 설치대의 높이를 조절하여 광량을 정해진 만큼 일정하여 주었다.

작물을 수확한 후 방울토마토는 한 나무에서 달린 토마토의 열매 개수, 개별 질량, 당도를 측정하였고, 적채는 개별 적채의 총 무게, 지상부 무게, 엽장, 엽폭을 측정하였다. 각 작물의 색도와 생리활성물질 함량은 10회 반복 측정하였다.

3. 식물 성장 측정

방울토마토와 적채는 3개월 간 재배 후 수확하였고 열매의 개수와 무게는 전수를 측정하였다. 모든 방울토마토를 수확한 후 그들 중 무작위로 5개의 토마토씩 3군을 만들어 이들을 각각 갈아서 여과지로 걸러서 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO Co., LTD, Tokyo, Japan)를 이용하여 당도를 측정하였다. 수확한 후 모든 적채의 총무게, 지상부 무게, 엽장, 엽폭을 측정하였다. 엽장과 엽폭은 버니어 캘리퍼스(vernier calipers, Kyoto Tool Co., LTD, Kyoto, Japan)로 측정하였다. 엽장은 크기가 매우 큰 잎을 제외하고 평균이상의 크기를 가진 잎 가운데 잎의 길이를 측정하였고, 엽폭은 크기가 매우 큰 잎을 제외하고 평균이상의 크기를 가진 잎 중에서 잎의 폭을 측정하였다.

4. 생리활성 물질 함량 분석

동결 건조한 토마토 시료에 methanol을 넣고 혼합하였고, 혼합액은 5,000 rpm으로 원심 분리(4°C, 10분) 후 침전물을 취하였다. 토마토의 침전물에 0.5% butylated hydroxytoluene(BTH)을 포함한 acetone:ethanol:hexane (1:1:2)-용액을 넣고 진탕(30 rpm, 15분)을 한 후, 증류수를 넣고 5분간 혼합한 뒤 핵산층만을 취하였다. 핵산층을 감압농축하고 0.1% BHT를 첨가한 t-butyl methyl ether (TBME)와 methanol을 1:1로 혼합한 용액에 녹여서 HPLC 분석 시료로 이용하였다. HPLC(Waters 2690 HPLC, Waters, Milford, MA, USA) 분석 조건은 column은 YMC C30 analytical column(5.0 μm, 250×4.6 mm; YMC, Kyoto, Japan)이고, column 온도는 35°C이었고, flow rate 1.0 mL/min, UV detector 450 nm, injection volume은 10 μL로 하였다. 리코펜 분석을 위한 HPLC 용매 조건은 용매 A로는 methanol:증류수:trietylamine=90:10:0.1, 용매 B는 TBME:methanol:증류수:trietylamine=90:6:4:0.1의 비율로 정하였다. 용매 A: 용매 B의 구성은 시간이 흐름에 따

라 0분에 93.5:6.5, 34분에 0:100(v/v)로 용매의 시스템 조건을 맞춰주었다. 표준용액으로 리코펜(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 사용하였다.

동결 건조 한 적채에 1% 염산과 20% 메탄올 혼합액을 첨가한 후 상온 조건에서 12시간 추출하였으며, 2번 여과한 후 HPLC 분석에 사용하였다. HPLC 분석 조건은 column은 YMC-pak ODS-AM 303(5.0 μm, 250×4.6 mm, YMC)이고, column 온도는 30°C이었고, flow rate 0.7 mL/min, UV detector 520 nm, injection volume 은 10 μL로 하였다. HPLC 용매 조건은 용매 A로는 5% formic acid를 첨가한 증류수, 용매 B는 5% formic acid를 첨가한 아세토니트릴을 사용하였다. 용매 A: 용매 B의 구성은 시간이 흐름에 따라 0분에 90:10, 35분에 60:40(v/v)으로 용매의 시스템 조건을 맞춰주었다. 표준용액으로 delphinidin 3-O-β-D-glucoside chloride(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

5. 통계처리

실험 결과는 통계 처리하여 평균±표준편차로 작성하였다. SAS software program(ver. 7.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 형광등을 조사한 군과 LED를 조사한 군에 대한 통제적 유의성은 two-sampled t-test로 측정하였다. 통계적 유의성은 $p<0.05$로 검증하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 파장 측정

본 연구에 사용한 형광등과 LED의 파장을 분석한 결과를 Fig. 1과 같다. 형광등은 청색, 녹색, 적색 파장에 빛이 높은 강도로 나타났으며(Fig. 1의 A), LED는 적색:녹황색:청색=8:1:1의 파장이 넓고(broad) 높은 강도로 나타내었다(Fig. 1의 B). Olle M & Viršile A (2013)은 LED 기술이 하우스 농장에 긍정적인 영향을 미치지만 다양한 작물에 따른 LED 효과를 연구하는 것이 요구된다고 보고하였다. 연구에 사용된 LED는 형광등에 비하여 파장을 세밀하게 조절되었다.

2. 토마토의 성장 및 과일 측정

LED의 파장에 따라서 식물의 성장이나 생리활성 성분의 함량에는 영향을 미치지만 일반 성분인 수분, 단백질, 지방, 탄수화물 등에 미치는 영향은 적다고 알려져 있으므로(Olle M & Viršile A 2013) 본 연구에서는 LED 파장에 따른 성장과 주요 생리활성 성분의 함량 변화에 대한 영향을 중심으로 하여 분석하였다.

LED 혼합 파장과 형광등을 조사한 방울토마토의 식물 성장 결과는 Fig. 2와 같다. 수확한 날에 측정한 형광등을

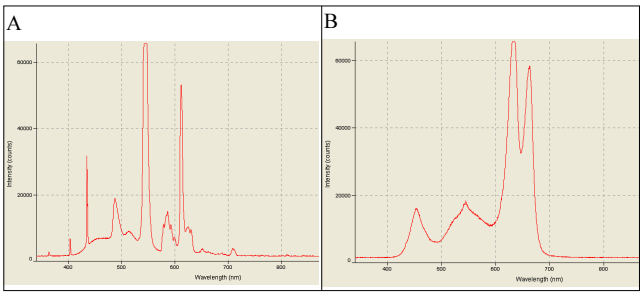

Fig. 1. Spectral distribution of fluorescent light and LED with mixed wavelength.
A: Fluorescent light, B: LED with mixed wavelength (red:blue: white=8:1:1).

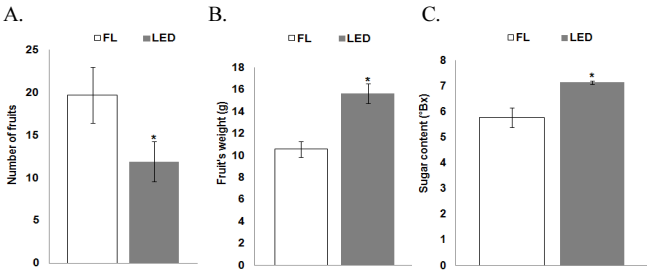

Fig. 2. Growth characteristics of tomatoes after cultivating them with fluorescent light (FL) and LED irradiation for 3 months.
A: Average of number of fruits in one tree, B: Average of each weight of tomato, C: Sugar contents, results were presented as means±SD (n=9), * significantly different from the FL group at $p<0.05$.

조사한 방울토마토의 과실수가 LED를 조사한 방울토마토의 과실수보다 유의적으로 많았다(Fig. 2의 A). 형광등보다 LED를 조사한 방울토마토의 무게가 더 많이 나갔다(FL; 11 g, LED; 15 g, $p<0.05$) (Fig. 2의 B). 반면에 과실수에 반비례하여 방울토마토의 무게가 변하는 경향을 보였으며 당도에서도 과실수에 반비례하는 경향을 보였다. 당도에서는 형광등을 조사한 방울토마토가 평균 5.8° Bx이었고, LED를 조사한 방울토마토가 평균 7.1° Bx이었다(Fig. 2의 C). LED와 형광등을 조사하여 재배한 방울토마토를 비교하였을 때 방울토마토의 무게와 당도가 과실수에 반비례하는 경향을 보였다. Liu XY 등(2011)의 연구에 따르면 dysprosium lamp를 대조광으로 사용하고 LED 파장을 조합하여 320 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$로 30일간 방울토마토에 조사하였을 때, 청색 파장(peak- 450 nm)과 적색과 청색 혼합 파장(640 nm:450 nm=1:1)을 조사한 토마토의 과실수가 대조군에 비하여 유의적으로 높은 값을 보였다고 보고하였다(대조군; 1799, 청색; 2678, 적색과 청색; 2658 number/mm^2, $p<0.05$). Liu XY 등(2010)의 논문에서는 청색과 적색 파장을 조절한 혼합파장 LED를 방울토마토에 조사하였을 때, 청색 파장을 25%로 조사한 것에 비해 60%로 조사하였을 때 과실의 무게와 수가 유의적으로

높은 값을 나타내었다. Xu HI 등(2012)은 단파장 LED(청색; 450 nm, 적색; 660 nm)를 토마토에 45 μmol·m^{-2}·s^{-1}로 조사하여 과실의 당도를 측정하였는데, 청색 파장이 다른 파장에 비하여 유의적으로 당도 값을 높였다(청색; 16.6, 백색; 16.2, 적색; 14.9 g 포도당·kg^{-1} 생과 무게).

선행연구 결과를 종합해 보면 LED 조사가 형광등에 비하여 토마토의 과실의 수를 증가시켰고 LED 파장 조절시 청색 파장의 비율이 증가할 때 토마토의 과실의 수와 당도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 적색 파장의 비율이 높고 청색 파장의 비율이 낮은 LED를 조사해서 토마토의 과실 수가 증가하지 않고 당도와 무게의 증가만 있었으므로, 청색 파장의 비율을 증가시킨 LED를 제조하여 방울토마토에 조사하면 과실의 수가 더 증가하고 당도와 무게가 더 높은 방울토마토를 수확할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 적채의 성장

LED 혼합 파장과 형광등을 조사한 적채의 성장 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 형광등을 조사한 것보다 LED를 조사하였을 때 적채의 성장률이 더 좋았다. LED를 조사한 적채의 총 무게와 지상부 무게가 형광등을 조사한 적채보다 유의적으로 높은 값을 나타내었다(총무게-FL; 400 g, LED; 708 g, p<0.05). 적채의 잎을 평균을 내었을 때 적채 잎의 길이와 넓이가 모두 LED 등에서 재배한 것이 형광등에서 재배한 것보다 컸다(Fig. 3의 B). 결과적으로 630 nm:550 nm:450 nm=8:1:1로 혼합한 LED는 형광등에 비하여 적채 생육을 증진시키는 역할을 하였다. Li HM (2012)은 LED 혼합 파장(460 nm:660 nm=1:8)을 80 μmol·m^{-2}·s^{-1}로 적채에 조사하였을 때 적채의 무게가 형광등을 조사한 것 보다 유의적으로 높다고 보고하였다(p<0.05). 적색 파장의 비율이 높을 경우 적채의 생육이 더 좋아지는 경향을 보였으며 본 연구 결과와 유사한 결과를 보였다.

본 연구에서는 적색 파장이 높은 혼합 LED를 조사한 적채의 생육이 형광등을 조사한 것보다 향상되었고 다른 연구들의 결과를 종합해 보면 적색 파장의 비율이 높은 LED를 조사하였을 때 형광등에 비해 적채의 무게가 유의적으로 높았다고 보고하였다. 그러므로 적색 파장의 비율이 높은 LED가 적채의 생육에 적합한 것으로 사료된다.

4. 생리활성 물질 측정

형광등과 LED(적색:청색:백색=8:1:1)를 조사하여 방울토마토와 적채를 재배한 후 수확하여 HPLC로 방울토마토의 리코펜 함량과 적채의 안토시아닌 함량을 10회 반복 측정하여 평균값으로 Fig. 4의 A와 Fig. 4의 B에 나타내었다. 총 리코펜 함량은 LED 등에서 재배한 것이 형광

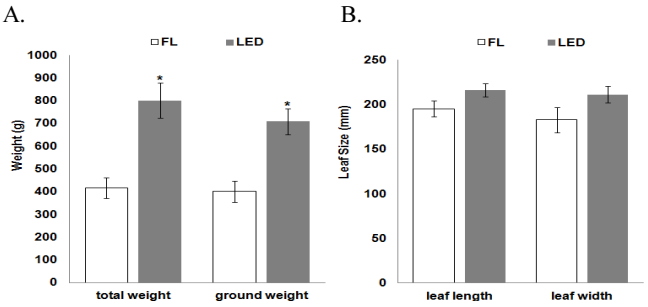

Fig. 3. Growth characteristics of red cabbages after cultivating them with fluorescent light (FL) and LED irradiation for 3 months.

A: Total weight and ground weight of red cabbages, B: Leaf size of red cabbages, results were presented as means±SD (n=8), * significantly different from the FL group at p<0.05.

등에 비하여 유의적으로 낮았다. Joon KK 등(2011)은 단파장 적색, 적색과 청색 혼합파장(8:2) LED, 고압나트륨등, 무처리등을 토마토에 50~60 μmol·m^{-2}·s^{-1}로 조사하였을 때, LED등이 토마토의 리코펜 함량을 가장 증가시켰다고 보고하였다. 결과적으로 아직까지 방울토마토의 생리활성 물질인 리코펜의 함량을 증가시키는 LED 파장이 확실하지 않으므로 이에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다. 또한 토마토에 함유된 리코펜의 함량에 있어서 청색 파장의 비율을 높인 LED 혼합 파장으로 연구를 하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 총 안토시아닌 함량은 LED에서 재배한 것이 형광등에서 재배한 것에 비해 통계적으로 유의하게 높았다. 형광등과 LED에서 재배한 적채의 크래마토그램의 결과에서 안토시아닌에 속하는 delphinidin-3-glucoside 함량은 LED에서 재배한 것이 형광등에서 재배한 것보다 높았다. Mizuno T 등(2011)은 660 nm의 LED 적색 파장을 50 μmol·m^{-2}·s^{-1}로 30일간 적채에 조사하였을 때 적채 안에 함유된 안토시아닌의 함량을 증가시켰다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 본 연구보다 조사강도가 낮았으므로 낮은 조사강도에서도 적색파장의 비율이 높은 LED는 안토시아닌의 합성을 증가시킬 가능성이 높다는 것을 알 수 있었다. Stutte GW 등(2009)은 LED를 파장을 다르게 조합하여 적채에 300 μmol·m^{-2}·s^{-1}로 조사하여 비교하였는데, 적채에 640 nm, 530 nm와 440 nm의 파장을 혼합한 LED와 640 nm와 440 nm의 파장을 혼합한 LED를 조사하였을 때, 적채의 안토시아닌함량이 triphosphor 형광등을 조사하였을 때에 비하여 50% 이상 높은 값을 보였다고 보고하였다(p<0.05). 결론적으로 본 연구에서 사용한 LED(630 nm:550 nm:450 nm=8:1:1)등은 적채의 생리활성 물질인 안토시아닌의 함량을 높였으며 생육도 증가시켰다. 그러므로 청색을 띄는 적채에 보색인 적색 파장의 비

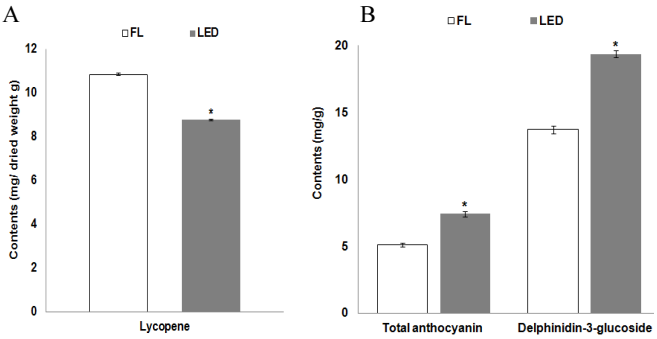

Fig. 4. Lycopene contents of tomatoes and total anthocyanins and delphinidin-3-glycoside contents of red cabbages measured by HPLC after cultivating them with fluorescent light (FL) and LED irradiation for 3 months.

A: Lycopene contents of tomatoes, B: Total anthocyanins and delphinidin-3-glycoside contents, results were presented as means± SD (n=10), * significantly different from the FL group at $p<0.05$.

율이 높일 때 적채의 생육에 효과적인 것으로 사료된다.

Ⅳ. 요 약

본 연구는 식물 공장에서 특정 파장을 조합한 혼합 LED를 광원으로 사용하여 방울토마토와 적채를 재배할 때 식물의 성장과 각각에 존재하는 생리활성물질인 리코펜과 안토시아닌의 함량 변화를 탐색하였다. 대조광으로 형광등을 사용하였고 LED 혼합 파장은 적색, 녹황색, 청색 파장(630 nm:550 nm:450 nm=8:1:1)을 혼합하여 방울토마토와 적채에 조사하였다. 방울토마토에서는 LED을 조사하였을 때, 수확되는 방울토마토의 개수는 적었으나 수확된 방울토마토의 무게와 당도에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 그러나 방울토마토의 생리활성 물질인 리코펜의 함량은 LED 조사 시 오히려 낮았다. 적채는 LED를 조사하였을 때, 형광등에 비해 적체의 무게에서 유의적으로 높은 값을 나타내었고, 안토시아닌 함량 또한 유의적으로 증가시켰다. 결론적으로 작물의 색에 따라 성장에 요구하는 LED의 파장 및 혼합 비율이 다르다는 것을 알았고, 과실의 색에 따라 LED 파장의 혼합 비율을 달리하는 것이 필요하다는 것을 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 '창의산업융합 특성화 인재양성사업'의 지원을 받아 연구되었음

References

Bian ZH, Yang QC, Liu WK. 2015. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. J Sci Food Agric 95(5): 869-877

Chiang SS, Pan TM. 2013. Beneficial effects of phytoestrogens and their metabolites produced by intestinal microflora on bone health. Appl Microbiol Biotechnol 97(4):1489-1500

Ellinger S, Ellinger J, Stehle P. 2006. Tomatoes, tomato products and lycopene in the prevention and treatment of prostate cancer: do we have the evidence from intervention studies? Curr Opin Clin Nutr Metab Care 9(6):722-727

Fred S, Thomas G, Kim JK. 2005. Light emitting diode. Kirk-Othmer Encyclopedia Chem Tech 2(1):1-33

Joon KK, Kyoung SP, Yun IK, Hyo GC. 2011. Effect of LED light source and intensity on growth and quality of greenhouse grown tomato. Korean J Hort Sci Technol 29(1):73-74

Li HM, Tang CM, Xu ZG, Liu XY, Han XL. 2012. Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). J Agric Sci 4(4):262-273

Liu XY, Chang TT, Guo SR, Xu ZG, Chen WH. 2010. Effect of irradiation with blue and red LED on fruit quality of cherry tomato during growth period. China Veget 22(1):1-6

Liu XY, Guo SR, Xu ZG, Jiao XL, Takafumi T. 2011. Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. Hort Sci 46(2):217-221

Mizuno T, Amaki W, Watanabe H. 2011. Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings. Acta Hortic 907(1): 179-184

Monica G, Ronald EW. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. Food Anal Chem 12(1):1-13

Noh HJ, Jang SY, Park JJ, Yun HS, Park S. 2013. Browning prevention of black carrot extract and the quality characteristics of jelly supplemented with black carrot extract. J Korean Soc Food Culture 28(3):293-302

Olle M, Viršile A. 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. Agric Food Sci 22(2):223-234

Samuolien G, Sirtautas R, Brazaityt A, Duchovskis P. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. Food Chem 134(3):1494-1499

Stutte GW, Edney S, Skerritt T. 2009. Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. Hort Sci 44(1):79-82

Xu HI, Xu QC, Li FL, Feng TZ, Qin FF, Fang W. 2012. Applications of xerophytophysiology in plant production-LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. Sci Hortic 148(1):190-196

Yeh N, Chung JP. 2009. High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renewable Sustainable Energy Rev 13(8):2175-2180

Received on Jun.10, 2015/ Revised on Jul.13, 2015/ Accepted on Jul.28, 2015