

## Effect of UV-LED Irradiation on Respiration and Ethylene Production of Cherry Tomatoes

Nam Yong Kim<sup>1</sup>, Dong Sun Lee<sup>1</sup>, Hyuk Jae Lee<sup>2</sup> and Duck Soon An<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, 449 Woryeong-dong, Masanhappo-gu, Changwon 631-701, South Korea

<sup>2</sup>Department of Information and Communication Engineering, Kyungnam University, 449 Woryeong-dong, Masanhappo-gu, Changwon 631-701, South Korea

### 방울토마토의 호흡 및 에틸렌 발생에 미치는 자외선 LED의 효과

김남용<sup>1</sup> · 이동선<sup>1</sup> · 이혁재<sup>2</sup> · 안덕순<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경남대학교 식품생명학과, <sup>2</sup>경남대학교 정보통신학과

#### Abstract

UV light irradiation is known to give beneficial effects on fresh produce preservation. A container system equipped with UV-LED was fabricated for storing cherry tomatoes under computer-controlled conditions of intermittent on-off cycles (1 hour on/1 hour off). Wavelength (365 and 405 nm) and physical location of the LED (2 and 5 cm above fruit) were studied as variables affecting the respiration, ethylene production and quality preservation of the fruits at 10 and 20°C. 365 nm wavelength gave much higher radiation intensity than 405 nm, and intensity on surface decreased in inverse proportion to square of distance from LED. When compared to non-irradiated control, UV-LED irradiation decreased the respiration by 5-10% at 10°C while there was no obvious effect at 20°C. Ethylene production was reduced when the fruits were placed at 5 cm distance, while there was no significant difference from control at 2 cm location. The reduction of ethylene production at 5 cm was more pronounced at 20°C. UV-LED irradiation was shown to have delayed increase or lower concentration in carotenoids compared to control treatment. Any negative effect of UV-LED irradiation on ascorbic acid content and firmness was not observed.

Key words : cherry tomato, UV-LED, respiration, ethylene, quality

#### 서 론

최근 소비자들은 소비수준이 향상됨에 따라 건강함 삶과 질적 향상을 추구하며, 이를 실현하기 위한 하나의 방법으로 건강기능성식품에 대한 관심이 높아지고 있다. 정제된 형태의 건강기능성식품을 소비하기도 하지만, 건강기능성 증진효과를 다량 함유한 과일과 채소에 대한 소비도 증대되고 있다. 증가되는 과일과 채소의 소비에 있어 소비자들은 신선한 고품질의 식품을 요구하고 있으며, 이는 구매 및 유통 판매에서뿐만 아니라 가정에서의 보관에서도 신선도 유지를 중요시하고 있다. 따라서 수확 후의 저장, 수송, 판매

의 모든 단계에서 신선 과일과 채소의 신선도 유지를 위한 연구와 기술개발이 활발하게 진행되고 있다. 널리 적용되고 있는 온도 및 습도 조절에서부터 환경기체조절포장(MAP, modified atmosphere packaging), 선도유지제 포장, 감압포장 등 여러가지 포장기법이 적용되고 있다(1,2).

또한, 더 우수한 저장성 향상을 위해 수확 전 처리와 수확 후 처리에 대한 기술개발 및 적용이 증가되고 있다. 이러한 수확 후 처리 기술의 적용은 신선도 유지에 긍정적인 연구 결과를 보여주고 있다(3,4). 이러한 수확 후 처리 방법 중에서 빛 에너지를 사용하여 신선농산물의 저장성과 선도를 향상시키는 시도가 이루어지고 있다(5-8). 신선 원예산물의 저장에서 적절한 에너지 조사는 광합성을 유지시키고, 성숙 및 노화를 지연시켜서 chlorophyll과 ascorbic acid의 파괴를 억제하고, 환원당 및 단백질을 보존 혹은 축적시키고,

\*Corresponding author. E-mail : ads2004@kyungnam.ac.kr  
Phone : 82-55-249-2687, Fax : 82-505-999-2171

유리 아미노산의 생성을 억제하는 것으로 알려져 있다(5,7,9-11). 이러한 빛의 저장성 향상 효과는 백색광을 포함하는 가시광선 영역에서도 이루어질 수 있지만(12-15), 자외선(UV) 영역 파장의 조사가 부패의 억제와 성숙 지연의 뚜렷한 효과를 갖는 것으로 보고되고 있으며 최근에 활발한 연구가 진행되고 있다(16). 현재까지 많은 연구에 사용되는 자외선으로는 주로 형광등이 사용되어 왔으며, 미생물부패의 억제와 선도 유지의 긍정적인 효과가 많이 보고되고 있다. 그러나, 형광등의 경우는 사용가능 기간의 제한과 환경오염의 문제를 일으키므로 수명과 안정성 측면에서 발광다이오드(LED, lighting emitting diode)를 고려해 볼 필요가 있다.

최근에는 조명을 비롯한 여러 분야에서 광원으로서는 LED가 광범위하게 사용되고 있으며, LED가 전력소모도 낮고, 수명이 길며, 소형으로의 이용이 쉽고, 내구성이 높아 기능상 여러가지 장점이 있다. 본 연구에서는 신선 과일과 채소의 저장성을 향상시킬 수 있는 방법으로서 자외선을 방출하는 LED를 이용하여 신선 원예산물의 호흡특성과 에틸렌 생성량을 파악하고, 품질에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

실험에 사용한 방울토마토는 경남 창원시 소재 마트에서 구입한 신선한 시료를 사용하였다.

### 자외선 LED 시스템 제작

자외선 LED는 서울옵토디바이스(경기도 안산, 한국)에서 생산한 365 nm와 405 nm 파장영역의 700 mA 제품을 구입하여 사용하였다. 자외선 LED는 실험 조건에 따라 전구 개수를 조절하여 쉽게 장착시킬 수 있고, 저장고내에 넣어서 측정할 수 있는 방식으로 제작하였다. 노트북과 컴퓨터 프로그램을 이용하여 조사량과 조사 가능시간을 조절할 수 있고, 점멸시간을 자동으로 제어할 수 있도록 설계하였다(Fig. 1). 실험에 사용되는 방울토마토가 자외선 LED의 아랫부분에 장치시킬 수 있는 구조로 설계하여 조사 위치에 따라 강도를 조절할 수 있도록 하였다. 자외선 LED가 장착된 밀폐유리용기는 일정한 온도가 유지되는 저온저장고내에 저장할 수 있고, 저장 중 단속적인 자외선 LED 조사는 외부에서 제어가 가능하도록 하였다. 제작된 자외선 LED의 강도는 radiometer(HD2102.2, Delta OHM Co, Padova, Italia)를 이용하여 측정하였다.

### 자외선 LED의 강도

자외선 LED 전구의 렌즈는 dome 형태이며, 구동전류는

700 mA이고, 반사각의 경우 365 nm는 110°, 405 nm는 130°이었다. 조사강도는 자외선 LED를 조사하는 위치에 따라 적절하게 강도 조절이 가능하게 하였는데, 2 cm와 5 cm 높이에서 측정된 강도는 Table 1과 같다. 365 nm 전구의 경우 2 cm 거리에서는 2.55 W/m<sup>2</sup>으로 측정되었고, 5 cm 거리에서는 0.66 W/m<sup>2</sup>으로 약 4배 정도의 강도 차이가 났다. 405 nm의 경우에는 2 cm 거리에서 0.24 W/m<sup>2</sup>, 5 cm 거리에서 0.07 W/m<sup>2</sup>으로 약 3~4배 정도의 강도 차이가 났다. 동일한 조사 위치에서 365 nm와 405 nm는 약 10배 정도의 강도 차이를 보였다. 전자파의 조사강도는 동일광속에서 파장에 반비례하며 광원으로부터 거리의 제곱에 반비례하는데(17), 365 nm가 405 nm보다 강도가 강하였으며, 조사거리가 가까울수록 조사 강도가 강한 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 다만, 본 연구에서 사용한 UV-LED는 같은 구동전류의 조건에서 현실적인 조건에서 산업적으로 이용되는 제품이다.

Table 1. Intensity of experimental UV LED

Irradiation location	Intensity (W/m <sup>2</sup> )	
	365 nm	405 nm
2 cm	2.55±0.43	0.24±0.12
5 cm	0.66±0.02	0.07±0.03

### 방울토마토의 호흡 및 에틸렌 측정

호흡과 에틸렌 생성에 미치는 자외선 LED의 효과를 살펴보기 위해 온도별 자외선 LED의 조사시간과 조사거리에 따라 방울토마토를 기밀도가 우수한 1 L의 밀폐유리병에 넣고 산소, 이산화탄소, 에틸렌 농도를 시간에 따라 측정하여 산소 소비, 이산화탄소 발생, 에틸렌 발생의 속도를 측정하였다. 10°C와 20°C의 온도 조건에서 자외선 LED의 조사시간은 1시간 켜고 1시간 끄는 조건을 4번 반복하고, 조사거리는 2 cm와 5 cm로 구분하여 측정하였다. Table 1에 제시된 조사 강도는 W/m<sup>2</sup>의 단위로써 kJ/m<sup>2</sup>의 단위로 환산하여 기술하면, 매일 1 시간씩 조사되는 동안 365 nm의 경우 2 cm거리에서는 9.18 kJ/m<sup>2</sup>, 5 cm 거리에서는 2.39 kJ/m<sup>2</sup>이고, 405 nm의 경우 2 cm 거리에서는 0.85 kJ/m<sup>2</sup>, 5 cm 거리에서는 0.24 kJ/m<sup>2</sup>의 강도로 조사된 양이다. 호흡과 에틸렌 측정에서 사용한 유리 밀폐용기는 동일한 크기를 사용하였으며, 조사거리에 따라 시료의 중량을 달리하거나 유리구슬을 이용하여 높이를 조절하면서 방울 토마토 세 층의 높이로 실험을 진행하였다. 호흡특성의 측정에서는 방울토마토를 1 L의 밀폐 유리병에 2 cm 조사거리에서는 153 g, 5 cm 조사거리에서는 350 g의 시료를 넣고 온도평형에 도달시킨 후, 병을 닫고 저장하면서 시간에 따른 용기 내 산소 농도와 이산화탄소 농도를 측정하였다. 이산화탄소 농도가 5 %까지 생성되는 시점을 기준으로 2 cm 높이의 경우 10°C에서는 42시간, 20°C에서는 15시간 측정하였으

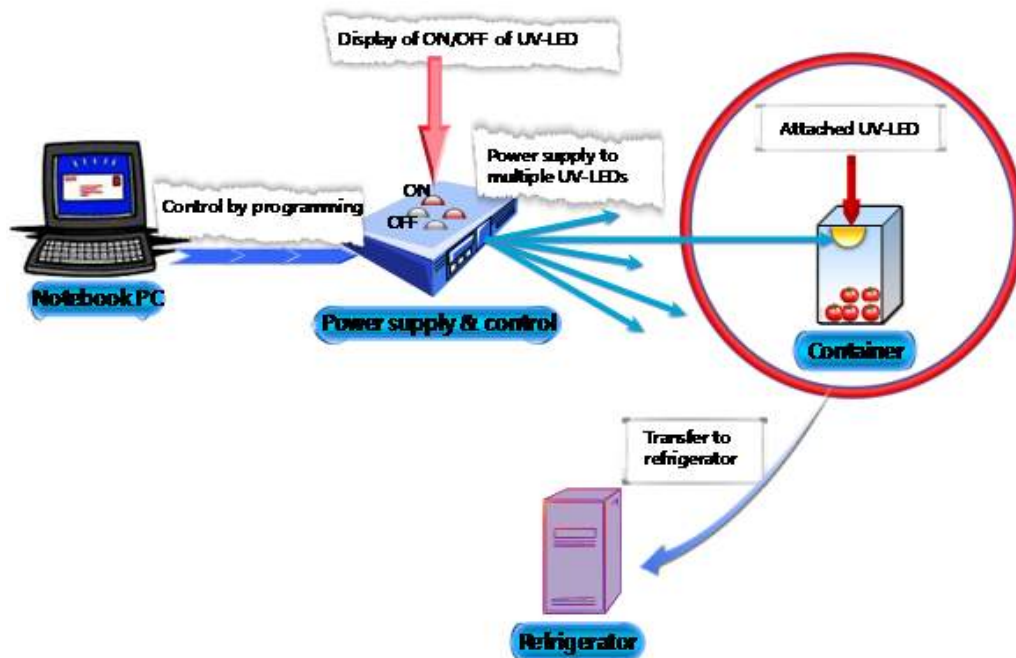


Fig. 1. Experimental UV LED system.

며, 5 cm의 경우 10°C에서는 12시간, 20°C에서는 5시간 동안 호흡량을 측정하였다. 시간에 따른 산소와 이산화탄소 농도를 측정하여 그 기울기를 구한 후 기울기 값에 자유용적 부피를 곱하고 시료무게로 나누어 주어 산소 소비와 이산화탄소 발생의 속도를 구하였다. 산소와 이산화탄소 농도는 CTR I column (Alltech Associates, Deerfield, IL, USA)과 TCD가 장착된 gas chromatography(Model 3800, Varian Inc, Palo Alto, CA, USA)를 이용하였으며, oven 온도 50°C, injector 온도 80°C, detector 온도 95°C의 조건에서 분석하였다. 에틸렌 생성량의 측정에서는 방울토마토를 1 L의 밀폐 유리병에 2 cm 조사거리에서는 240 g, 5 cm 조사거리에서는 222 g의 시료를 담은 후 시간에 따른 에틸렌 농도변화를 측정하였다. 2 cm 와 5 cm 의 경우 10°C에서는 22시간, 20°C에서는 7시간 에틸렌 발생량을 측정하여 시간에 따른 기울기 값을 구하였다. 시간에 따른 에틸렌 발생량을 측정하여 그 기울기를 구한 후 기울기 값에 자유용적 부피를 곱하고 시료무게로 나누어 주어 에틸렌 발생량을 구하였다. 에틸렌 농도는 ALUMINA F-1 column (Alltech Associates, Deerfield, IL, USA)과 FID가 장착된 gas chromatography (Model 3800, Varian Inc, Palo Alto, CA, USA)를 이용하였으며, oven 온도 80°C, injector 온도 100°C, detector 온도 250°C의 조건에서 분석하였다.

#### 방울토마토의 품질측정

저장 기간에 따라 자외선 LED조사에 따른 방울토마토의 품질변화를 측정하였다. 방울토마토의 경도는 Rheometer Compac-100 (Sun Scientific Co, LTD, Japan)을 이용하여

적도부분에 대해 직경 5 mm의 plunger로 60 mm/min의 속도로 관입시켜 변형 시 항복점에서의 저항값을 경도로 표현하였다. Ascorbic acid 함량은 AOAC 방법(18)에 준하여 적당량의 시료를 3% metaphosphoric acid 용액으로 마쇄하여 추출한 후 여과지로 여과하여 적절히 희석하여 0.025% 농도의 2,6-dichloroindophenol 용액으로 적정하였다. Carotenoid는 Cho 등(19)의 방법에 따라 시료의 9배에 해당되는 80% 아세톤으로 추출한 후 450 nm에서 분광광도계(Genesys 10-Vis, Thermo Electron Co, Madison, WI, USA)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 총 carotenoid의 정량은 흡광도로부터 AOAC법(20)에 따라 흡광계수  $E_{1\%}^{1\text{cm}}=2500$ 을 사용하여 농도를 계산하였다.

## 결과 및 고찰

#### 방울 토마토의 호흡에 미치는 자외선 LED의 효과

측정 시 마다 구입된 시료의 호흡특성의 변이가 심하여 자외선 LED 조사가 없는 대조구에서의 호흡속도에 대한 비로서 호흡특성을 살펴 보았다(Fig. 2). 호흡의 경우, 20°C에 비해 10°C에서 호흡 감소 효과가 나타났고, 조사 거리에 따른 차이는 크지 않았다. 파장간의 차이는 미미하나 10°C에서 365 nm가 405 nm에 비해서 작은 차이지만 호흡감소 효과가 우수하게 나타났다. 20°C에서는 파장간의 차이가 두드러지게 나타나지 않았다. 10°C에서 자외선 LED에 의한 호흡감소효과는 5~10%의 범위에 있었다. 방울토마토가 생리장해를 받지 않은 최저온도가 10°C 부근으로 적정저장

온도에 가까운 것을 감안한다면, 자외선 LED의 효과는 적당한 저온조건에서 얻어질 수 있고, 호흡속도가 높은 고온에서는 그 효과가 미미한 것으로 나타났다. 기존의 연구 보고에서도 호흡감소에 자외선 조사가 긍정적으로 기여하였지만(21, 22), 일부 품목에 대해서는 영향을 주지 않은 것으로 보고되었다(23). 즉, 딸기의 경우  $1.0 \text{ kJ/m}^2$ 의 자외선 조사 조건에서 호흡 감소 효과가 나타났으며(21), 토마토는  $3.7 \text{ kJ/m}^2$ 의 조사선량에서 호흡이 억제되는 것으로(22) 보고되었다. 반면에, 식류에서는 자외선 조사가 호흡 억제에 도움을 주지는 않았다(23). 식물에서 광합성은 호흡과 반대방향의 대사과정으로서, 광합성은 청색영역에서 활발하게 이루어지며 이는 호흡이 억제된다는 것을 의미하는데(24, 25), 자외선 LED의 경우 광합성이 촉진되어 호흡속도가 감소되는 것으로 예상된다. 이러한 결과로부터 호흡에 미치는 자외선의 영향이 저장온도와 조사파장에 따라 달라질 수 있는 것으로 이해된다. 그리고, 이 호흡에 대한 자외선 LED의 영향은 pink 숙도 상태의 방울토마토에 대해서 저장 초기에 해당되고 저장기간이 길어져서 속도가 달라지면 호흡특성이 달라질 수 있으며, 이 부분에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

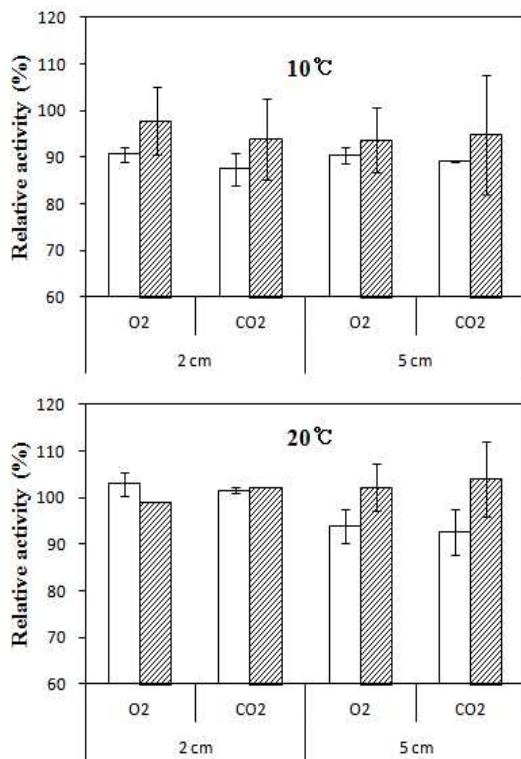


Fig. 2. Oxygen (O<sub>2</sub>) consumption and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) production of the cherry tomatoes affected by UV LED irradiation in a relative percentage of activity of non-irradiated control at different temperatures and distances.

Vertical bars represent standard deviation. □: 365 nm, ▨: 405 nm.

#### 방울 토마토의 에틸렌 발생에 미치는 자외선 LED의 효과

방울토마토는 수확 후 추숙이 진행되면서 상당량의 에틸렌을 발생하며, 이는 방울토마토의 품질변화를 빠르게 하여 저장 수명을 단축시킬 수 있다. 에틸렌 농도는 약 50 ppm에 이를 때까지 직선적으로 증가하였으며, 그 이후에는 일정 수준에 도달하여 정지하고 있었다(데이터 생략). 그 기간은 10°C에서는 약 21~22시간, 20°C에서는 약 6~7시간이 소요되었다. 에틸렌 농도의 증가 속도로부터 단위 중량당 에틸렌 생성속도를 계산하여 얻은 결과는 Table 2와 같았다. 조사 거리 2 cm에서는 10°C와 20°C 두 온도 모두에서 UV-LED에 의한 뚜렷한 변화나 차이를 볼 수 없었다. 즉 2 cm 거리에서는 자외선 LED 조사에 의한 에틸렌 축적 감소를 확인할 수 없었다. 이에 비해 조사 거리 5 cm에서는 20°C에서 에틸렌 생산 속도가 낮아지는 경향이 분명히 나타났으며, 10°C에서는 그 상대적 효과가 작았다. 그리고 조사 거리 5 cm에서 두 파장 영역 사이 에틸렌 발생속도에는 차이가 없었다. 16°C에 저장된 토마토의 경우 자외선 조사가 에틸렌 생성을 억제하는 것으로 보고되고 있으며(22), 이는 낮은 온도에 비해 에틸렌 발생량이 많은 높은 온도에서 효과가 있는 것으로 생각된다. 조사 거리에 따라서 에틸렌 발생에 미치는 자외선 LED 효과가 다르게 나타나는 원인을 현재는 설명할 수 없으며, 이에 대해서는 보다 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

#### 방울 토마토의 품질변화에 미치는 자외선 LED의 효과

자외선 LED의 조사가 원예산물의 저장 중 일반적 품질 특성에 미치는 영향을 보기 위하여 화학적, 물리적 품질변화를 측정하였다. 저장온도와 조사조건에 따라 방울토마토의 경도, ascorbic acid 함량, carotenoids 함량을 측정하였다. 자외선 LED의 조사조건에 따른 방울토마토의 경도와 ascorbic acid 함량을 측정하여 조건별로 비교한 결과, 대조구와 자외선 조사 처리 간의 시료 간 오차범위를 넘는 유의성 있는 차이를 확인할 수는 없었다(Table 3, Table 4). 자외선 조사가 경도와 ascorbic acid 보존 면에서 우월한 품질을 제공하지는 못하지만, 한편으로 부정적인 영향을 주지는 않는 것으로 평가된다. 자외선 LED의 조사에 따라 나타나는 방울토마토의 carotenoids 함량은 대조구에 비하여 대체적으로 초기함량과 비슷하거나 초기함량보다 약간 낮게 유지 되었다(Table 5). 반면에 대조구는 저장에 따라 carotenoids 함량이 약간 증가하였다. 녹색 혹은 초기 적숙 토마토는 추숙에 따라 carotenoids 함량이 증가하게 되며, 이는 추숙의 정도를 표현하는 하나의 지표가 될 수 있다. 토마토는 추숙의 정도에 따라 large green, breaker, pink, red, red-ripe로써 5단계로 구분된다. β-carotene은 숙성이 진행됨에 따라 증가하여 pink 단계에서 최대값을 나타낸 후 감소하고, lycopene은 숙성이 진행됨에 따라 꾸준히 증가한다(26). 토마토의 기능성 성분인 lycopene은 추숙의 정도

**Table 2. Ethylene production rate of the cherry tomatoes affected by UV LED irradiation at different temperatures and distances**

Ethylene production rate( $\mu\text{l/kg h}$ )	2 cm			5 cm		
	Control	365 nm	405 nm	Control	365 nm	405 nm
10°C	4.60±0.39	4.90±0.19	4.62±0.23	5.37±0.23	5.19±0.24	5.12±0.08
20°C	11.95±0.82	12.65±0.96	12.63±0.85	15.18±0.92	14.43±0.40	14.44±1.25

**Table 3. Firmness (N) of the cherry tomatoes irradiated and stored at different temperature and distance**

	Time (day)	2 cm			Time (day)	5 cm		
		Control	365 nm	405 nm		Control	365 nm	405 nm
10°C	0	19.74±2.81	19.74±2.81	19.74±2.81	0	15.52±2.25	15.52±2.25	15.52±2.25
	11	14.34±1.83	15.17±1.97	14.66±2.30	2	16.69±3.32	16.19±3.04	16.87±3.43
	17	14.97±1.73	13.81±1.63	13.67±2.28	4	15.97±2.72	16.51±2.87	16.35±3.58
20°C	0	20.29±3.66	20.29±3.66	20.29±3.66	0	21.21±3.36	21.21±3.36	21.21±3.36
	6	11.89±1.93	11.83±1.71	12.17±1.67	2	18.69±3.36	17.98±3.35	18.24±2.64
	14	10.35±1.58	9.69±1.49	9.42±1.28	10	15.36±2.97	15.09±2.28	15.94±3.54

**Table 4. Ascorbic acid (mg/100 g) of the cherry tomatoes irradiated and stored at different temperature and distance**

	Time (day)	2 cm			Time (day)	5 cm		
		Control	365 nm	405 nm		Control	365 nm	405 nm
10°C	0	22.63±1.42	22.63±1.42	22.63±1.42	0	21.00±3.09	21.00±3.09	21.00±3.09
	11	25.47±1.58	26.43±1.29	27.50±0.18	2	24.64±1.05	23.71±1.62	24.86±1.82
	17	26.17±1.12	28.35±2.24	26.69±2.42	4	24.15±2.21	23.52±2.21	19.87±1.30
20°C	0	22.63±1.42	22.63±1.42	22.63±1.42	0	23.95±2.20	23.95±2.20	23.95±2.20
	6	25.16±0.47	25.06±1.68	25.16±0.35	2	23.08±2.20	22.77±1.34	23.61±0.91
	14	27.63±0.73	26.58±0.96	26.79±0.00	10	25.22±1.13	23.50±1.95	24.28±1.08

를 표현하는 지표가 될 수 있으나, 본 연구에서는 pink 단계의 시료를 선택하여 전체 carotenoids 함량으로 측정하였으므로 lycopene 단일성분과 구분하여 설명을 하는 부분에 있어서는 한계점이 있다. 본 실험에서 대조구의 경우 저장에 따라 carotenoids 함량이 약간 증가한 것은 lycopene 을 포함하는 전체 carotenoids 색소 함량이 영향을 미친 것으로 고려된다. 90% 붉은 색을 띠는 고추의 경우, 자외선 조사 시 저장 초기에 대조구에 비해 carotenoids 함량이 약간 높게 유지 되다가 일정한 저장 기간 이후 대조구에 비해 carotenoids 함량이 낮게 유지가 되는 것으로 보고되었다 (27). 따라서 carotenoids 함량의 지연된 증가는 저장성의 증진과 저장수명의 연장으로도 볼 수 있다. 또 한편으로 carotenoids 함량이 감소하는 부분은 자외선에 의하여 carotenoids 색소의 파괴로 볼 수 있기도 하다. 이에 비추어

볼 때, 자외선 LED의 조사에 따른 방울토마토의 carotenoids 함량의 지연된 증가와 일부 조건에서의 감소는 자외선의 이 두 가지 영향이 복합적으로 나타난 것으로 이해되며, 저장온도와 요구되는 저장기간에 따라 조사조건의 최적화를 통하여 carotenoids 함량의 보존을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 용기 포장 내부에 자외선 LED를 장착하여 단속적으로 자외선 조사의 효과를 측정하는 연구로써, 자외선 조사 후 일정한 기간을 두고 효과를 측정하는 타 연구자의 연구와는 차별화될 수 있다. 실험에 사용된 방울토마토는 pink 단계의 시료를 선택하여 실험을 진행하였으며, 방울토마토의 성숙단계별로 자외선을 조사한 후 저장기간에 따른 효과를 알아보는 연구는 추후 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

**Table 5. Carotenoids (mg/100 g) of the cherry tomatoes irradiated and stored at different temperature and distance**

	2 cm				5 cm			
	Time (day)	Control	365 nm	405 nm	Time (day)	Control	365 nm	405 nm
10℃	0	1.58±0.26	1.58±0.26	1.58±0.26	0	1.56±0.18	1.56±0.18	1.56±0.18
	11	1.74±0.19	1.51±0.10	1.48±0.03	2	1.60±0.05	1.57±0.20	1.55±0.07
	17	1.86±0.09	1.76±0.08	1.66±0.10	4	1.49±0.07	1.31±0.10	1.36±0.28
20℃	2 cm				5 cm			
	Time (day)	Control	365 nm	405 nm	Time (day)	Control	365 nm	405 nm
	0	1.51±0.15	1.51±0.15	1.51±0.15	0	1.39±0.05	1.39±0.05	1.39±0.05
	6	1.53±0.14	1.32±0.09	1.26±0.10	2	1.56±0.10	1.36±0.06	1.17±0.05
14	1.90±0.08	1.67±0.11	1.74±0.08	10	1.61±0.05	1.46±0.09	1.38±0.09	

## 요 약

자외선 LED를 장착한 포장용기시스템을 제작하였으며, 노트북 컴퓨터와 연결하여 작동 제어가 가능하고, 조사 위치에 따라 강도 조절이 가능하도록 하였다. 자외선 LED의 강도는 5 cm에 비해 2 cm에서 3~4배 정도 높았으며, 동일한 조사 위치에서 365 nm에서 405 nm보다 약 10배 정도의 높은 강도를 보였다. 밀폐용기 시스템 내 방울토마토의 호흡은 20℃에 비해 10℃에서 호흡 감소 효과가 나타났다. 포장간의 차이는 미미하나 10℃에서 365 nm가 405 nm에 비해서 작은 차이지만 호흡감소효과가 우수하게 나타났다. 10℃에서 자외선 LED에 의한 호흡감소효과는 5~10%의 범위에 있었다. 에틸렌 생산에서는 조사 거리 5 cm와 20℃에서 에틸렌 생산 속도가 분명히 낮아지는 경향이 있다. 방울토마토에서 자외선LED 조사는 호흡과 용기내 에틸렌 축적을 억제할 수 있는 가능성을 보였으나, 온도조건 및 조사 위치에 따라 그 효과는 달랐다. 자외선 LED 조사에 따른 화학적 물리적 품질변화에는 부정적 영향은 없는 것으로 보였다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호 2010-0004939)이며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Thompson AK (1998) Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables. CAB International: Wallingford, UK, p 81-116
- Zagory D, Kader AA (1988) Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technol, 42(9), 70-77
- Kinay P, Yildiz F, Sen F, Yildiz M, Karacali I (2005) Integration of pre- and postharvest treatments to minimize *Penicillium* decay of Satsuma mandarins. Postharvest Biol Technol, 37, 31-36
- Wills RBH, McGlasson WB, Graham D, Lee TH, Hall EG (1989) Postharvest. Van Nostrand Reinhold, New York, p 53-60
- Goldthwaite JJ, Laetsch WM (1967) Regulation of senescence in bean leaf discs by light and chemical regulators. Plant Physiol, 42, 1757-1762
- Kays SJ (1991) Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. Van Nostrand Reinhold, New York, p 75-142
- Hosoda H, Nawa Y, Kurogi M (1981) Effect of light on postharvest quality in vegetables. Part 1. changes in chemical components in detached komatsuna leaves during storage. Report of National Food Research Institute, 38, 33-39
- Park SY, Chang MS, Choi JH, Kim BS (2007) Effect of a refrigerator with LED on functional composition changes and freshness prolongation of cabbage. Korean J Food Preserv, 14, 113-118
- Hosoda H, Nawa Y, Kurogi M (1981) Effect of light on postharvest quality in vegetables. Part 2. changes in chemical components in attached komatsuna leaves during storage. Report of National Food Research Institute, 38, 40-45
- Burton WG (1982) Post-harvest physiology of food crops. Longman, London, p 127-198
- Lamikanra O, Kueneman D, Ukuku D, Bett-Garber KL (2005) Effect of processing under ultraviolet light on the

- shelf life of fresh-cut cantaloupe melon. *J Food Sci*, 70, C534-C539
12. Toledo MEA, Ueda Y, Imahori Y, Ayaki M (2003) L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L) during postharvest storage in light and dark. *Postharvest Biol Technol*, 28, 47-57
  13. Ranwala AP, Miller WB (2000) Preventive mechanisms of gibberellin47 and light on low-temperature-induced leaf senescence in Liliun cv. Stargazer. *Postharvest Biol Technol*, 19, 85-92
  14. Kubota C, Rajapaksc NC, Young RE (1997) Carbohydrate status and transplant quality of micropropagated broccoli plantlets stored under different light environments. *Postharvest Biol Technol*, 12, 165-173
  15. Saks Y, Cope A, Barkai-Golan R (1996) Improvement of harvested strawberry quality by illumination: colour and Botrytis infection. *Postharvest Biol Technol*, 8, 19-27
  16. Shama G, Alderson P (2005) UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. *Trends Food Sci Technol*, 16, 128-136
  17. Kim IG, Lee SS, Jang GW (2011) *Physical Optics*. Bookshill, Seoul, p 373-399
  18. AOAC (1995) *Official Methods of Analysis*, 16th ed Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, p 45-16
  19. Cho YS, Chun SS, Ha BS, Park SK (1983) Contents of carotenoids and chlorophylls in dolsan leaf mustard. *Korean J Dietary Culture*, 8, 153-157
  20. AOAC (1980) *Official Methods of Analysis*. 13th ed Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, p 49-51
  21. Baka M, Mercier J, Corcuff R, Cadtaigne F, Arul J (1999) Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. *J Food Sci*, 64, 1068-1072
  22. Maharaj R, Arul J, Nadeau P (1999) Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. *Postharvest Biol Technol*, 15, 13-23
  23. Lopez-Rubira V, Conesa A, Allende A, Artes F (2005) Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest Biol Technol*, 37, 174-185
  24. Sharkey TD, Raschke K (1981) Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. *Plant Physiol*, 68, 1170-1174
  25. Sikorska K, Kozłowska B, Cierieszko I, Maleszewski S (1997) Effects of radiation quality on the opening of stomata in intact *Phaseolus vulgaris* L leaves. *Photosynthetica*, 34, 31-36
  26. Madhavi DL, Salunkhe DK (1998) Tomato. In *Handbook of Vegetable Science and Technology*. Salunkhe DK and Kadam SS (eds). Marcel Dekker, New York, p 171-201
  27. Vicente AR, Pineda C, Lemoine L, Civello PM, Martinez GA, Chaves AR (2005) UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biol Technol*, 35, 69-78

---

(접수 2011년 9월 15일 수정 2012년 2월 6일 채택 2012년 2월 10일)