

다양한 파장의 LED 조사를 통한 참다래 과실의 산 함량 조절

백광현,^{†,θ} 장명환,[†] 곽용범,[§] 이세원,[#] 윤해근^{†,θ*}

[†]영남대학교 생명공학부, [‡]자연자원대학 원예학과, ^θLED-IT 융합산업화연구센터
712-749 경상북도 경산시 대동 214-1

[§]농촌진흥청 국립원예특작과학원 남해출장소
668-810 경상남도 남해군 이동면 다정리 777

[#]국립농업과학원 농업생물부 농업미생물팀
441-853 경기도 수원시 권선구 서둔동 61-2

(2010년 5월 10일 접수; 2010년 6월 21일 수정본 접수; 2010년 6월 21일 채택)

Regulation of Acid Contents in Kiwifruit Irradiated by Various Wavelength of Light Emitting Diode during Postharvest Storage

Kwang-Hyun Baek,^{†,θ} Myung Hwan Jang,[†] Yong Bum Kwack,[§]
Se Weon Lee,[#] and Hae Keun Yun^{†,θ*}

[†]School of Biotechnology, [‡]Department of Horticulture, and
^θLED-IT Fusion Technology Research Center, Yeungnam University
214-1 Dae-dong, Gyeongsan 712-749, Korea

[§]Namhae Sub-Station, Nat'l Inst. of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration
777 Dajeong-ri, Idong-myeon, Namhae-gun, Gyeongnam 668-810, Republic of Korea

[#]Agricultural Microbiology Div., Nat'l Academy of Agricultural Sci., Rural Development Administration
61-2 Seodun-dong, Gwonseon-dong, Suwon, Gyeonggi 441-853, Republic of Korea

(Received for review May 10, 2010; Revision received June 21, 2010; Accepted June 21, 2010)

요 약

참다래(‘헤이워드’) 과실을 저온 및 상온 저장 중에, 여러 다른 파장의 light emitting diode (LED) 광원을 조사한 후 과실의 경도, 당도 및 산함량의 변화를 분석하였다. 과실 경도는 4℃보다 25℃에서 크게 감소하였고, 1주 동안 LED 파장을 조사했을 때, 440 nm와 660 nm의 LED 광원을 처리한 참다래가 암실처리 보다 경도가 높게 유지되었고 380 nm UV등과 470 nm 백색 LED를 처리한 과실은 암실의 조건에 비하여 경도가 낮게 조사되었다. 밀봉을 한 참다래는 공기 중에 개방된 참다래보다 모든 처리구에서 경도가 더 높았다. 당도는 25℃에서 공기 중에 개방한 경우, 470 nm 백색 LED 처리구에서는 낮게 나타났으나 암조건과 380 nm UV등 처리에서는 15°Brix 이상을 나타내었다. 참다래 과실의 산함량은 660 nm 적색 LED 처리구에서 52% 감소하였다. 밀봉된 참다래에서 440 nm 청색 LED, 470 nm 백색 LED, 660 nm 적색 LED 광원을 처리하였을 때, 암실에 놓여진 참다래보다 산함량이 각각 52.6, 55.6 및 52.8% 감소하였다. 참다래에 대한 다양한 파장의 LED 조사효과 중에서, 산함량의 감소는 향후 참다래 과실의 수확 후 후숙기간을 조절하는데 활용될 수 있을 것이다. LED 광원은 정확하고 매우 좁은 영역의 파장을 적은 용량의 전력 소모량으로 구현하기 때문에 대표적인 청정 기술로 분류되며, 이러한 LED 광원을 이용한 참다래 과실의 산도 조절은 기존의 에틸렌 등의 화학물 처리보다 안전한 친환경 과실을 생산할 수 있는 청정기술이라 평가된다.

주제어: 참다래, 후숙, LED, 파장, 저장

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: haekeun@ynu.ac.kr

Abstract : The physiological roles of various wavelength of light emitting diode (LED) on 'Hayward' kiwifruit experiencing after-ripening were investigated. Various wavelengths from LED light source were irradiated on kiwifruits kept in plastic bags or under open air at 25°C. During two weeks of storage, firmness of Hayward kiwifruits was decreased by 25°C treatment than by 4°C treatment. In the 25°C storage condition, the firmness of kiwifruits was decreased by the treatment of 380 nm UV and 470nm white LED light source. Sweetness of kiwifruits treated with 380 nm UV LED and dark condition at 25°C increased higher than 15°Brix. The acidity of kiwifruits under open air was decreased 52% by incubating at 25°C with 660 nm red LED treatment. The acidity of kiwifruits in plastic bags was decreased 52.6, 55.6, 52.8% by the treatment of 440 nm blue, 470 nm white and 660 nm red LED light source, respectively, compared to that of kiwifruits incubated in darkness at 25°C. Decreased acidity irradiated by 660 nm red LED light source can be applied for regulating periods of the kiwifruit after-ripening process. LED light sources emit very narrow wavelength with a power-saving mode, therefore, the usage of these LED light source for regulating the after-ripening process can be classified as a clean biotechnology producing safe and environment-friendly kiwifruits.

Keywords : Kiwifruit, LED, After-ripening, Storage, Wavelength

1. 서 론

참다래(*Actinidia deliciosa* [A. Chev.] C.F. Liang et A.R. Ferguson)는 중국 양자강 유역의 산야에서 자생하는 다래나무속(*Actinidiaceae*) 과실이다. 20세기 초 뉴질랜드 선교사에 의해 중국으로부터 뉴질랜드에 도입된 이후 1950년대 이후에 경제적 재배를 통한 상품화가 이루어졌다. 이 과정에서 차이나즈 구즈베리(Chinese gooseberry)라는 이름보다는 뉴질랜드에서 새로이 상품화되었다는 의미로 뉴질랜드인 자신들을 상징한다는 의미와 과실의 모양이 키위 새를 닮았다하여 새로이 키위프루트(kiwifruit)라는 이름으로 세계시장에 출시되었다[1]. 국내에서는 1978년에 농촌진흥청에 도입되어 연구가 시작되었으며, 내한성이 약하여 주로 전라남도, 경상남도, 제주도를 포함한 남해안에서 주로 재배, 생산되고 있다[2]. 참다래 과실에는 각종 단백질, 무기질, 섬유질 등의 영양소가 풍부하여 피부 재생, 미백 효과, 노폐물 배출, 변비 개선 등에 많은 효과가 있으며, 최근 다이어트 식품으로도 많이 이용되고 있다. 과실은 비타민 C(100 mg/100 g), 펙틴(건물중의 0.7~0.8%), 비타민 E 등의 주요 공급원이며 단백질분해효소가 풍부하여 생식용 뿐 만 아니라 가공식품으로도 많이 이용되고 있다[2].

그러나 수확 시기의 참다래는 칼슘옥살산(calcium oxalate crystal)이라는 물질의 자극에 의해 생과로서는 섭취가 곤란하여 수확한 후 2~3 개월간 후숙 과정을 거쳐야 한다[3, 4]. 후숙 과정을 거치면서, 참다래 과실은 호흡량의 일시적인 상승, 에틸렌 생성량의 증가 및 효소의 활성화 등에 따라 산함량이 감소되고, 펙틴의 분해가 촉진되어 과육이 연해지며 당도는 14° Bx 이상으로 증가하고, 구연산 함량이 1% 전후가 되어 섭취가 가능하다[5, 6]. 한편 후숙 및 유통과정에서 발생하는 부패에 의한 손실(생산량의 25~80%)을 방지하기 위하여 살균제, 살충제 및 길항균 처리 등이 개발되어 왔으나, 수확 후 저장 및 유통 과정에 많은 문제가 발생하여 이를 극복하기 위한 방안들이 요구 되고 있다[7-9]. 또한 자연연화를 통해 후숙을 유도하는 경우, 후숙 균질도가 감소하고 대부분 미숙성의 과실이 유통되어 참다래 고유의 맛을 느낄 수 없으며 동시에 소비자의 기호도를 저하시키는 결과를 초래하고 있다.

이러한 참다래 과실의 후숙 과정을 조절하기 위해 저장 중에 후숙을 촉진시키고, 저장 및 유통 과정에서 부패를 억제할 수 있는 에틸렌처리[5, 10], 저선량 감마선 방사선 조사[11, 12] 등의 기술이 개발되었으며, 최근에는 참다래 과실의 후숙을 위한 LED를 활용한 새로운 기술이 요구되고 있다. 1960년경에 발명된 LED는 재료를 달리하여 자외선, 가시광선, 적외선 영역까지 발광할 수 있으며, 최근에는 어업과 농업 분야에도 활용되고 있어서 농업 분야는 LED의 출현과 함께 또 다른 전환점을 맞이하고 있는 중이다.

본 연구에서는 LED 조사 조건을 선별하여 국내에서 증가하는 참다래 소비 요구에 부응하여 고품질의 참다래 과실을 유통하고자 하였으며, 효율적이고 친환경적인 LED 기술의 적용을 위해 가장 적합한 파장을 선별하여 참다래 후숙을 유도함으로써, 참다래의 당도, 산도 등의 품질을 향상시키고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 실험에서는 2009년 11월 경남 남해에서 생산하여, 0~1°C 저온창고에서 저장 중인 Hayward 품종을 재료로 이용하였다. 참다래는 과중이 100 g 내외의 선별된 과실로서 80일간 0~1°C 저온에 저장된 후 시험에 사용하였다.

2.2. LED 조사

발광 다이오드에 의한 다양한 파장의 조사는 영남대학교 생명공학관에 설치된 25±2°C로 유지되는 항온, 항습실에 위치한 LED 조사 장치를 통하여 이루어졌다(그림 1a). 참다래 과실은 비닐봉지로 밀봉을 하거나, 밀폐되지 않은 처리구로 구분하여 LED를 조사하였다(그림 1b). LED 조사 장치는 그림 1과 같이 검은 아크릴판을 이용하여 가로, 세로, 높이가 24 cm × 50 cm × 60 cm인 방을 만들어 각각의 격리된 방에 두 개의 전구를 설치하여 조사하였고, 참다래 시료는 15 cm 높이의 거치대에 위치시켰다(그림 1c). LED 전등은 (주)파루스코리아에서 제작된 E27 백열등 대체용 LED (6 watt)로서 이 전구들은 380

nm UV등, 440 nm 청색등, 470 nm 백색등, 660 nm의 적색등으로 이루어졌다. 이들 전등을 이용하여 7일 혹은 14일 동안 계속하여 다양한 파장의 LED 빛을 참다래 과실에 조사하였다. 대조구는 4°C로 유지되는 냉장고에 보관된 참다래 혹은 항온, 항습실에서 암상태에 위치한 참다래로 이루어졌다.

2.3. 참다래 후숙도 측정

다양한 파장의 빛을 조사한 후에, 참다래는 상온(25±2°C) 조건에서 0, 1, 2주차에 참다래의 경도, 당도, 산도를 측정하였다.

2.3.1. 경도 측정

참다래의 경도는 Texture analyser (TA-XT2/25, Stable Mi18 cro System Co. Ltd., Surrey, England)를 사용하여 측정하였다. P/5 (φ5 mm) plunger를 이용하여 시료를 2회 연속적으로 침입시켰을 때 얻어지는 경도(hardness)를 측정하였다. 분석조건은 pre test speed: 2.0 mm/sec, test speed: 1.0 mm/sec, post test speed: 2.0 mm/sec, strain: 70%, force: 5 kg으로 하였으며, 참다래는 껍질을 벗기고 1 cm 두께로 잘라서 사용하였다.

2.3.2. 당도 및 산도 측정

당도 측정을 위하여, 참다래 과실로부터 과피를 제거한 후 즙액을 굴절당도계(N-1E, Atago, Japan)로 측정하여 Brix로 나타내었다. 산도의 측정은 과실의 즙액을 여과하여 추출액을 10 mL를 취하여 증류수 40 mL과 섞은 후 pH meter (Model No. 720, Orion, Japan)를 사용하여 pH 8.2까지 0.1 N NaOH 용액으로 적정한 뒤 구연산으로 환산하여 나타내었다.

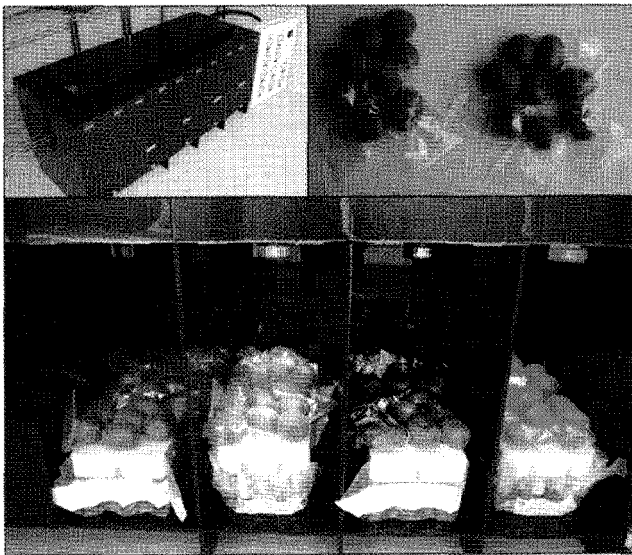


Figure 1. Illustration of treatments of kiwi fruits in a LED illumination box. (a) LED illumination box composed of small five different cells divided by black acrylic panels. (b) Kiwifruits under open air or in a plastic bag. (c) Treatments of kiwifruits with various LED light source. (Left to right) 380 nm UV, 470 nm white, 440 nm blue and 660 nm red LED light sources.

3. 결과 및 토론

참다래 ‘헤이워드’ 품종은 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 품종으로서 참다래 품종 중 대과종에 속한다. 과육이 녹색이고 당도와 산도가 적당하고 향기가 많아서 생식용으로 적합하다. 저장성이 매우 우수한 품종으로서 과실은 0~1°C에서 6개월 정도까지 저장이 가능하다. ‘헤이워드’ 품종은 수확 초기에 후숙이 잘 되지 않아, 국내에서는 수확 직후인 11월 상순부터 2개월 정도 저온 저장한 후에야 제대로 식미가 나타난다는 문제점이 있다.

여러 가지 파장의 광원을 조사한 후, 헤이워드 참다래 과실의 당도, 산함량 및 경도 등의 과실 특성 변화를 조사하였다. 경도의 경우, 25°C에서 공기중에 개방하거나 혹은 밀폐한 경우 4°C에서 저장한 것보다 모두 낮은 경도를 나타냈다(Figure 2, 3). 25°C의 암실에 개방하거나 밀폐하여 후숙을 유도한 처리구에서는 1주일 후 경도는 4°C에 비해서 약 50% 감소하였다. 파장에 따른 경도 변화를 조사한 결과, 참다래의 경도는 파장의 영향을 받아, 개방했을 경우에 440 nm와 660 nm의 LED를 처리한 참다래의 경도는 암실 처리한 참다래의 경도보다 1주일 후, 각각 25%와 11% 경도가 높게 나타났다(Figure 2). 380 nm UV등과 파장 470 nm 백색등을 개방된 참다래 과실에 처리했을 경우에, 경도는 암실에 처리한 참다래의 경도보다 9.4%, 5.3% 감소하였다. 2주일 후에는 암실 처리 및 470 nm의 백색 빛을 제외한, 모든 파장의 LED 처리에서 control이나 1주보다 경도가 감소했는데, 이것은 참다래 과실들이 후숙 정점을 지나서 부패 쪽으로 진행되고 있기 때문이다. 밀봉을 한 참다래는 공기 중에 개방된 참다래보다 암실 및 다양한 파장의 LED를 처리했을 때, 경도가 더 높았다(Figure 3).

당도는 25°C에서 공기 중에 개방한 경우, 암실과 380 nm의 빛을 조사한 처리구에서는 4°C에서 저장한 과실보다 높았으나, 470 nm의 빛을 조사한 처리구에서는 낮은 양상을 나타내었다(Figure 4). 특히 공기 중에 개방되어 있는 암실과 380 nm UV

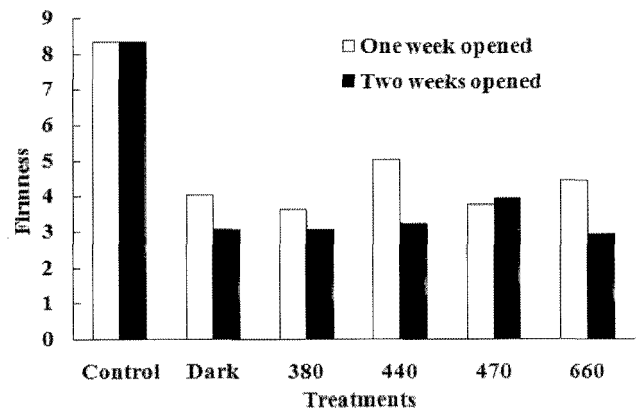


Figure 2. Firmness of kiwifruits under open air illuminated with various wavelengths from LED light sources for two weeks at 25°C. Control: Firmness of kiwifruits stored at 4°C in the dark.

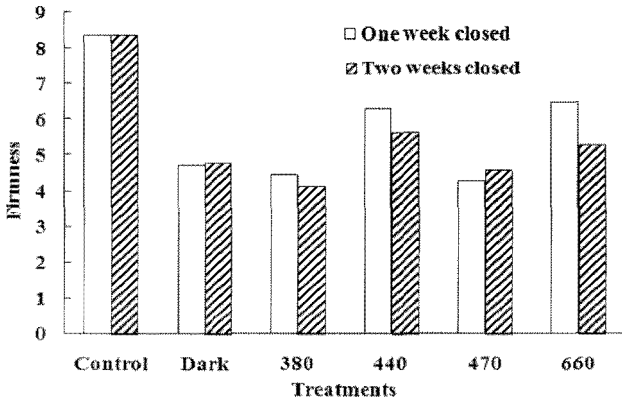


Figure 3. Firmness of kiwifruits in plastic bags illuminated with various wavelengths from LED light sources for two weeks at 25°C. Control: Firmness of kiwifruits stored at 4°C in the dark.

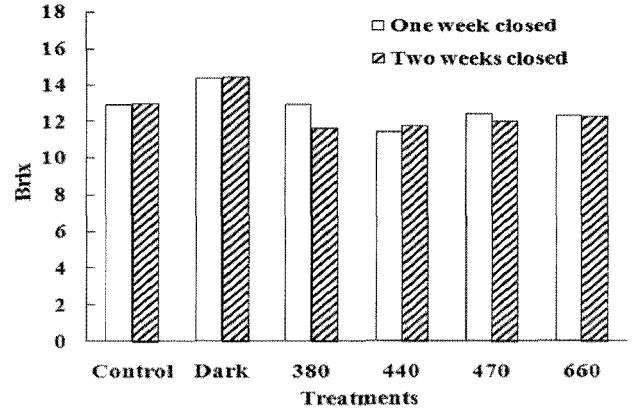


Figure 5. Sweetness of kiwifruits in vinyl bags illuminated with various wavelengths from LED light sources for two weeks at 25°C. Control: Sweetness of kiwifruits stored at 4°C in the dark.

에서 참다래의 당도는 15°Brix 이상을 나타내었다(Figure 4). 1주일 동안 LED를 참다래 과실에 조사하였을 경우에, 440 nm와 660 nm의 LED등을 처리한 참다래의 당도는 control의 당도와 큰 차이를 보이지 않았지만, 470 nm의 백색 LED를 처리했을 경우에 당도는 control의 당도보다 더 감소하는 경향을 보였다. 부패 쪽으로 진행하고 있는 2주차의 참다래 과실의 경우에는 암실과 LED를 조사하였을 경우에 모두 당도가 저하되었다. 참다래를 밀봉했을 때에는, 암실에 위치한 참다래의 당도만 증가했을 뿐, 모든 파장의 LED 처리구에서 비슷하거나 감소하는 경향을 보였다(Figure 5). 참다래를 밀봉하여 LED를 2주 동안 처리했을 경우에는 암실 처리를 제외하고는 모든 파장의 LED 처리구에서 당도가 감소하는 것으로 나타났다.

참다래 과실의 산함량은 25°C에서 후숙을 유도하였을 때, 공기에 개방되어 있거나 밀봉되어 있는 상태에서도 4°C에서 저장한 과실보다 감소하는 경향을 보였다(Figure 6, 7). 온도의 영향이 특히 산함량의 감소에 큰 영향을 주어서 25°C의 암실에 참다

래를 1주일간 보관하여 후숙을 유도하였을 때, 4°C에서 저장한 과실보다 산함량이 20% 감소하였다. 공기에 개방되어 있는 참다래 과실은 다양한 파장의 LED 조사에 의하여 산도가 크게 감소하였는데, 특히 660 nm 적색 LED등을 조사하였을 때, 산함량이 52% 감소하였다(Figure 6). 밀폐된 참다래에서 LED 조사에 의하여 특히 산함량의 감소가 촉진되는 것을 관찰할 수 있었는데, 470 nm 백색 LED등, 440 nm 청색 LED등, 660 nm 적색 LED등을 조사했을 경우, 1주일 후에 control보다 52.6, 55.6, 52.8%의 산함량이 감소하였다. 2주 동안 참다래를 공기 중에 개방하거나 밀폐해서 25°C에서 후숙시킬 경우에, 후숙 정점을 지나서 부패 과정으로 돌입하기에 2주 후 공기중에 개방되어 있거나 밀봉을 했을 경우에 산함량이 control과 2주차 밀봉-암실 처리구를 제외한 모든 처리구에서 증가하는 것을 알 수 있었다(Figure 6, 7).

전체적인 실험구들에서, 25°C에서 다양한 파장의 빛을 처리하거나 암실에서 보관하였을 경우, 참다래 과실은 1주일 후에

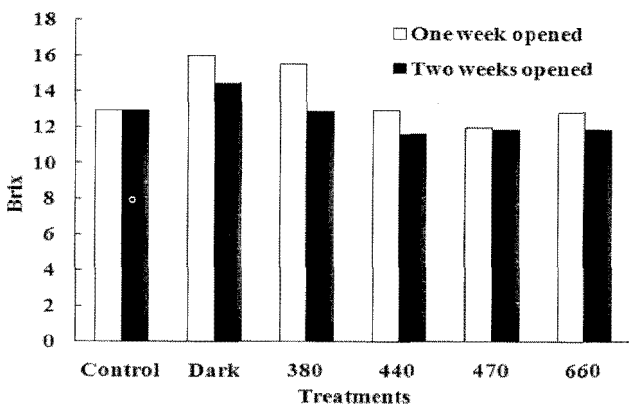


Figure 4. Sweetness of kiwi fruits under open air illuminated with various wavelengths from LED light sources for two weeks at 25°C. Control: Sweetness of kiwifruits stored at 4°C in the dark.

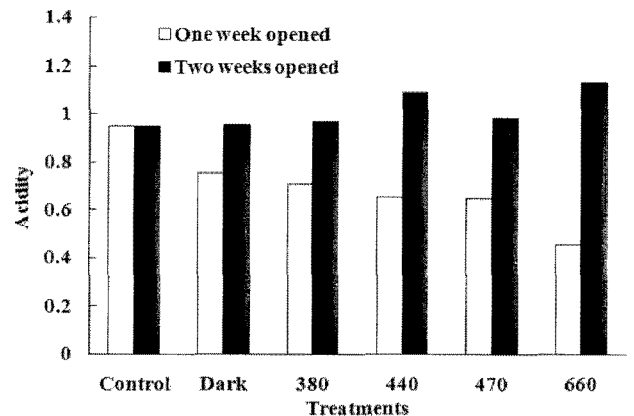


Figure 6. Acidity of kiwifruits under open air illuminated with various wavelengths from LED light sources for two weeks at 25°C. Control: Acidity of kiwifruits stored at 4°C in the dark.

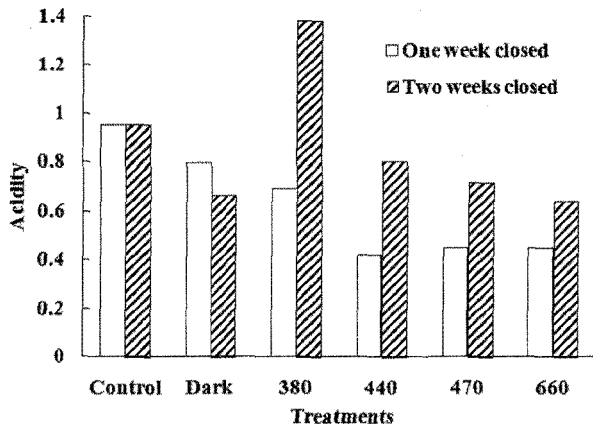


Figure 7. Acidity of kiwi fruits in plastic bags illuminated with various wavelengths from LED light sources for two weeks at 25°C. Control: Acidity of kiwifruits stored at 4°C in the dark.

경도가 급격히 떨어지고 후숙이 이루어졌고, 이후 후숙 정점을 지나서 부패가 진행되기 때문에 당도는 저하되고 산함량이 증가하고 있다. ‘헤이워드’의 후숙 후 적정 산함량은 0.8~1.0%로 유지되어야 새콤달콤하여 식미가 좋으나, 당도가 14~15°Brix를 넘지 않을 경우에 산함량이 0.5% 정도가 되어야 식미가 우수하게 나타난다. 본 실험에서 적색 LED등을 처리했을 때, 공기에 개방된 처리구와 밀폐된 처리구에서 모두 산함량이 적적량(0.5%이하)으로 감소하는 것으로 나타났다(Figure 6). 또한 밀폐되어 있을 경우에 백색, 청색, 적색 LED등을 처리하였을 경우 모든 처리구에서 참다래 과실의 산함량을 0.5% 이하로 감소시킬 수 있었다(Figure 7). 이러한 LED 처리의 신맛 제거의 긍정적인 면은, 수확 직후 ‘헤이워드’ 과실에 처리하였을 경우 신맛을 제거하여 후숙기간을 단축하는 효과가 있을 것으로 기대된다.

참다래 과실은 수확 후 후숙과정을 거쳐야 과실의 물리화학적 형태의 변화가 일어나 식미가 우수한 과실의 형태로 소비자에게 공급될 수 있다[13, 14, 15, 16]. 1960년경에 발명된 LED는 화합물 반도체의 특성을 이용하여, 순방향으로 전압을 가했을 때 발광하는 반도체 소자이다. LED의 발광색은 사용되는 재료에 따라서 달라 자외선 영역, 가시광선, 적외선 영역까지 발광하는 것을 제조할 수 있다. LED의 수명은 백열전구보다 30,000~40,000시간 정도 길며, 에너지 소비가 적고, 환경 유해 물질이 매우 적게 포함되어 있어 대표적인 청정 기술의 예로 들어지고 있다. 또한 농업 분야에도 쓰이고 있는데, 현재 농업 분야는 LED의 출현과 함께 또 다른 전환점을 맞이하고 있는 중이다[17].

기존의 조명이 넓은 과장대의 영역을 가지고 있는 반면에, LED의 경우에는 정확하고 매우 좁은 영역의 과장을 구현하기 때문에 식물의 생육촉진이나[18-20] 병해충 방지에 매우 유용하게 이용되고 있다[21-26]. 미국 NASA에서 우주 공간에서 식물을 재배하기 위하여 LED를 이용하였고[27, 28], 현재에는 이러한 LED가 대량 생산이 가능해져 농업에서 다양한 분야에 이

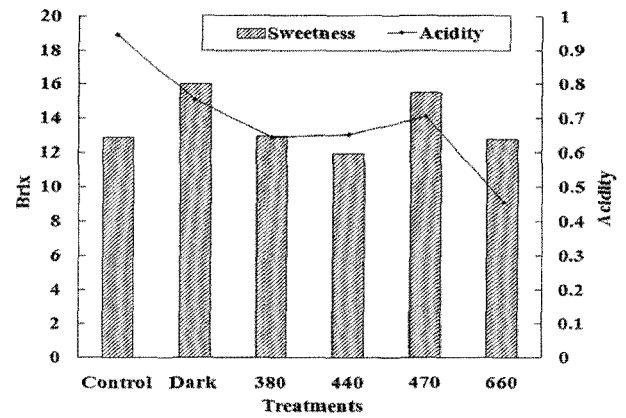


Figure 8. Relationship between sweetness and acidity of kiwifruits under open air illuminated with various wavelengths from LED light sources for one week at 25°C. Control: kiwifruits stored at 4°C in the dark.

용되고 있다[29, 30]. 일본에서는 1990년대부터 무농약 고품질의 채소 및 꽃을 LED를 이용한 식물 공장을 통하여 소비자에게 제공하고 있다[31]. 또한 LED는 고품질의 작물 모종 공급, 공업 재료 식물 생산, 약용 및 의료용 식물 원료 등의 대량 생산에 이용되고 있다. 특히 LED를 이용할 경우, 식물 공장이나 그린 하우스 재배의 경우에, 기후 변화에 관계없이 365일 안정된 광원을 공급 할 수 있다[29].

이 실험에서 공시된 과실은 수확 후 약 80일 동안 저온 저장 후 실험에 이용되었기 때문에 상온에서 다양한 과장의 빛을 처리했을 경우에 1주일 후에 경도가 급격히 저하되고 후숙이 진행되었다. 그러므로 수확 직후의 과실을 이용하여 실험을 한다면, 현장에 필요한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 본 실험을 통하여 청정 기술인 LED 처리에 의해 참다래 과실의 후숙기간을 단축할 수 있는 가능성을 확인하였으며, 과실수확기에 인접한 과실비대 후반기에 LED와 광합성유효과장대의 광을 조사하여 과실의 품질(당도, 전분축적)을 높이는 효과도 있을 것으로 사료된다. 또한 수체상에서 LED를 조사함으로써 ‘헤이워드’ 품종의 적숙기를 현재 11월 10~15일에서 11월 5일 경으로 앞당기면 서리피해를 예방하여 수확량의 감소나 조기수확에 따른 품질저하, 후숙 후 과실의 품질저하 현상 등을 방지할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 다양한 과장의 LED 처리를 통하여, 25°C에서 적색 LED등을 처리했을 때, 공기에 개방되거나 밀폐된 참다래 열매에서 산함량이 0.5%이하인 적적량으로 감소하는 효과가 있음이 밝혀졌다. 440 nm의 청색 혹은 470 nm의 백색 LED등을 밀폐된 참다래에 처리하였을 경우에도, 참다래 과실의 산함량이 0.5% 이하로 감소되었다. 이러한 청색, 백색, 적색 LED등 처리에 의하여 참다래의 신맛 제거는, 수확 직후 ‘헤이

워드' 참다래 과실에서 신맛을 제거하여 후숙기간을 단축하는 효과가 있을 것으로 기대된다. 본 시험에서 제시한 결과는 향후, 참다래 과실의 후숙을 조절하기 위해 과실에 처리하는 에틸렌과 같은 화학약품의 사용을 최소화하여 농가의 소득향상에 기여함은 물론 친환경 과실을 생산할 수 있는 청정기술의 개발이라 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Ferguson, A. R., and Bollard, E. G., "Domestication of Kiwifruit," in Warrington, I. J., and Weston, G. C., Eds., *Kiwifruit: Science and management*, Ray Richards Publication, Auckland, New Zealand, 165-246 (1990).
- Kwack, Y. B., and Park, Y. S., "Kiwifruit (*Actinidia deliciosa* L.)," in Lee, J. M., Choi, G. C., and Janick, J., Eds., *Horticulture in Korea*, Kor. Soc. Hort. Sci., Seoul, Korea, 244-249 (2006).
- Yamanaka, H., Kuno, M., Shiomi, K., and Kikuchi, T., "Determination of Oxalate in Foods by Enzymatic Analysis," *J. Food Hyg. Soc. Japan*, **24**(5), 454-458 (1983).
- Perera, C., Hallet, I., Nguyen, T., and Charles, J., "Calcium Oxalate Crystals: The Irritant Factor in Kiwifruit," *J. Food Sci.*, **55**(4), 1066-1069 (1990).
- Park, Y. S., and Kim, S. R., "Ripening Effect of Kiwifruit Influenced by Ethylene Treatment," *Kor. J. Hort. Sci. Tech.*, **20**(S1), 91 (2002).
- Redgwell, R., Melton, L., and Brasch, D., "Cell Wall Dissolution in Ripening Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Solubilization of the Pecticpolymers," *Plant Physiol.*, **98**(1), 71-81 (1992).
- Koh, Y., Lee, J., Hur, J., and Jung, J., "Incidences and Causal Agents of Postharvest Fruit Rots in Kiwifruits in Korea," *Res. Plant Dis.* **9**(4), 196-200 (2003).
- Lee, C., Kim, S., Kang, S., Park, B., and Han, D., "Post-storage Softening and Physiological Changes of 'Hayward' Kiwifruit Stored under Low Temperature and Controlled Atmosphere," *J. Kor. Soc. Hort. Sci.*, **42**(1), 87-90 (2001).
- Park, Y., and Kim, B., "Changes in Firmness, Fruit Composition, Respiration and Ethylene Production of Kiwifruit during Storage," *J. Kor. Soc. Hort. Sci.*, **36**(1), 67-73 (1995).
- MacRae, E., Lallu, N., Searle, A., and Bowen, J., "Changes in the Softening and Composition of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Affected by Maturity at Harvest and Postharvest Treatments," *J. Sci. Food Agr.*, **49**(4), 413-430 (1989).
- Kim, K., Kwon, J., and Lee, J., "Ethylene and Temperature Effects on Softening and White Core Inclusions of Stored in Air or Controlled Atmospheres," *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **111**(1), 149-153 (2007).
- Kim, K., Sohn, C., Lee, S., Lee, S., Lee, J., Kwon, J., and Yoo, H., "Quality of 'Hayward' Kiwifruit by Low-dose Gamma Irradiation," *J. East Asian Soc. Dietary Life*, **18**(1), 49-57 (2008).
- Beever, D., and Hopkirk, G., "Fruit Development and Fruit Physiology," in Warrington, I. J., and Weston, G. C., Eds., *Kiwifruit: Science and Management*, Ray Richards Publication, Auckland, New Zealand, 165-246 (1990).
- Benge, J., De Silva, H., Banks, N., and Jeffery, P., "Empirical Modelling of Postharvest Changes in the Firmness of Kiwifruit," *Postharvest Biol. Technol.*, **19**(3), 211-220 (2000).
- Jackson, P., and Harker, F., "Changes in Firmness of the Outer Pericarp, Inner Pericarp, and Core of *Actinidia* Species during Ripening," *NZJ. Crop Hort. Sci.*, **25**(2), 185-189 (1997).
- Stec, M., Hodgson, J., MacRae, E., and Triggs, C., "Role of Fruit Firmness in the Sensory Evaluation of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward)," *J. Sci. Food Agr.*, **47**(4), 417-433 (1989).
- Zheludev, N., "The Life and Times of the LED - A 100-year History," *Nature Photonics*, **1**(4), 189-192 (2007).
- Goins, G., Yorio, N., Sanwo, M., and Brown, C., "Photomorphogenesis, Photosynthesis, and Seed Yield of Wheat Plants Grown under Red Light-emitting Diodes (LEDs) with and without Supplemental Blue Lighting," *J. Exp. Bot.*, **48**(7), 1407 (1997).
- Park, K., Shin, Y., and Lee, Y., "Studies on the Modeling of Controlled Environment in Leaf Vegetable Crops. II. Effects of Various Light Sources on the Growth," *J. Bio. Fac. Env.*, **1**(2), 135-141 (1992).
- Shotipruk, A., Kaufman, P., and Wang, H., "Conceptual Design of LED-based Hydroponic Photobioreactor for High-density Plant Cultivation," *Biotechnol. Prog.*, **15**(6), 1058-1064 (1999).
- Arase, S., Fujita, K., Uehara, T., Honda, Y., and Isota, J., "Light Enhanced Resistance to *Magnaporthe grisea* Infection in the Rice Sekiguchi Lesion Mutant," *J. Phytopathol.*, **148**(4), 197-203 (2000).
- Cohnstaedt, L., Gillen, J., and Munstermann, L., "Light-emitting Diode Technology Improves Insect Trapping," *J. Amer. Mosquito Cont. Asso.*, **24**(2), 331-334 (2008).
- Islam, S., Honda, Y., and Arase, S., "Light-induced Resistance of Broad Bean against *Botrytis cinerea*," *J. Phytopathol.*, **146**(10), 479-485 (1998).
- Islam, S., Honda, Y., and Arase, S., "Some Characteristics of Red Light Induced Substance(s) against *Botrytis cinerea* Produced in Broad Bean Leaflets," *J. Phytopathol.*, **147**(2), 65-70 (1999).
- Khanam, N., Ueno, M., Kihara, J., Honda, Y., and Arase, S., "Suppression of Red Light-induced Resistance in Broad Beans to *Botrytis cinerea* by Salicylic Acid," *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, **66**(1-2), 20-29 (2005).
- Rahman, M., Arase, S., and Honda, Y., "Red light-induced Resistance in Broad Bean (*Vicia faba* L.) to Leaf Spot Disease

- Caused by *Alternaria tenuissima*," *J. Phytopathol.*, **151**(2), 86-91 (2003).
27. Barta, D., Tibbitts, T., Bula, R., and Morrow, R., "Evaluation of Light Emitting Diode Characteristics for a Space-based Plant Irradiation Source," *Adv. Space Res.*, **12**(5), 141-149 (1992).
28. Bula, R., Tibbitts, T., Morrow, R., and Dinauer, W., "Commercial Involvement in the Development of Space-based Plant Growing Technology," *Adv. Space Res.*, **12**(5), 5-10 (1992).
29. Moreno, I., Avendaño-Alejo, M., and Tzonchev, R., "Designing Light-emitting Diode Arrays for Uniform Near-field Irradiance," *Appl. Optics*, **45**(10), 2265-2272 (2006).
30. Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Breive, K., Ulinskaite, L., Brazaityte, A., Novickovas, A., and Zukauskas, A., "High-power Light-emitting Diode Based Facility for Plant Cultivation," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **38**(17), 3182-3187 (2005).
31. Okamoto, K., Yanagi, T., Takita, S., Tanaka, M., Higuchi, T., Uchida, Y., and Watanabe, H., "Development of Plant Growth Apparatus using Blue and Red LED as Artificial Light Source," *ActaHortic.*, **440**, 111-116 (1996).