

토마토 숙도 조절을 위한 수확후 처리기술 개발 - 수확된 녹색 토마토의 후숙에 미치는 광질의 효과 -

이귀현
강원대학교 농업공학부

Development of Postharvest-Treatment Technology for Controlling Tomato Ripening - Effects of Spectral Quality of Light on the Ripening of Harvested Mature-green Tomatoes -

Gwi-Hyun Lee

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University

Abstract

Effects of spectral quality of light on the ripening of tomatoes harvested at the stage of mature green were investigated by evaluating the color at an interval of two days during the storage period of 10 days including the light treatment. At the end day of experimental period, firmness, soluble solids content (SSC), pH, and titratable acidity (TA) were measured from tomatoes treated with light and stored in darkness as control. During an experimental period of 10 days, the values of color L, b, and hue angle (h_{ab}) of tomatoes treated with red light (R) were lower than those of tomatoes treated with far-red light (FR) and stored in darkness. However, the color value a and color difference (ΔE) of tomatoes treated with R were higher than those of tomatoes treated with FR and stored in darkness. From these results, it is suggested that the color development of tomato was accelerated by R, but delayed by FR. The SSC and pH of tomatoes treated by R was greater than those of tomatoes treated by FR. However, the firmness and TA of tomatoes treated by FR were greater than those of tomatoes treated by R. From these results, it was also known that the ripening of tomato was stimulated by R and suppressed by FR.

Key words: tomato, light, spectral quality, ripening

서 론

우리나라에서 상품화되고 있는 대부분의 토마토는 전 표면이 10%~30% 정도가 붉은 색으로 착색되었을 때 수확하는 것이 일반적이다. 그러나, 이러한 숙도 단계에서 수확된 토마토는 조식이 무르기 때문에 유통 과정에서 표면손상과 같은 기계적 장해를 받기 쉽고, 이로 인해 부패균이 침입하기 쉬워 손실되는 량이 대단히 크게 된다(Ceponis와 Butterfield, 1979). 또한 이러한 토마토는 수확 후 약 2~3일 이내에 전 표면이 붉은 색으로 변화됨으로 수확 후 신속한 유통이 요구

되며, 짧은 기간 내에 즉시 판매되어야 상품성을 유지할 수 있어 유통 및 판매기간의 단축을 위해 많은 주의가 요구된다. 그러나, 토마토를 숙성된 녹색기 상태에서 조기에 수확하면 경도가 커 유통기간 동안의 표면 손상으로 인한 손실량을 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라 수확기간의 단축으로 인해 작물의 관리비를 줄일 수 있는 장점도 있다.

식물체내에는 수광자인 피토크롬(phytochrome)이라는 미량의 청색색소가 들어 있는데, 식물의 성장, 발달, 분화 등의 많은 과정이 적색 및 원적색 광에 의해 가역적으로 작용하는 피토크롬에 의해 크게 영향을 받는다(Mohr, 1962). 즉, 종자의 발아, 화아분화, 배축 신장, 절간 신장 등이 피토크롬에 의해 잘 조절된다(Borthwick *et al.*, 1952; Downs, 1956). 피토크롬은

Corresponding author: Gwi-Hyun Lee, Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

서로 변환될 수 있는 두 형태로 존재하며, 원적색 광(FR) 조사에 의해 피토크롬은 660 nm의 적색 파장대에서 최대의 흡수 영역을 갖는 Pr의 형태로 존재하고, 적색광(R) 조사에 의해 730 nm의 원적색 파장대에서 최대의 흡수 영역을 갖는 Pfr 형태로 존재한다(Borthwick *et al.*, 1952; Borthwick, 1972).

토마토 역시 광 수용자인 피토크롬(phytochrome)을 함유하고 있어 적색 및 원적색 광에 민감하게 반응하며(Jen, 1977), 카르티노이드의 생합성에 직접 관계하는 것으로 알려져 있다(Khudairi, 1972; Khudairi와 Arboleda, 1971; Piringer와 Heinze, 1954; Thomas와 Jen, 1975a; Thomas와 Jen, 1975b). 숙성동안 토마토의 색은 녹색, 흰색, 황색, 분홍색을 거쳐 최종적으로 빨간색으로 변한다. 토마토의 녹색과가 숙성되면서 빨갱게 익어 가는 과정은 엽록소가 파괴되면서 카로티노이드가 새롭게 생합성 되어 색상이 발현되는 과정이며, 토마토가 빨간색으로 변하는 것은 적색 색소인 리코펜(lycopene)의 합성에 의한 것이다(Gross, 1991). 이와 같은 토마토의 적색 색소인 리코펜 합성은 피토크롬에 의해 잘 조절되며, 적색 파장대의 광은 리코펜 합성을 촉진시키고, 반대로 원적색 파장대의 광은 리코펜 합성을 억제하는 것으로 알려져 있다(Khudairi와 Arboleda, 1971; Thomas와 Jen, 1975a; Thomas와 Jen, 1975b).

숙성된 녹색기에 수확된 토마토는 상온에서 적숙기까지 숙성되는데 10~14일 정도 소요되며, 특히 숙성 후 적숙기에 수확된 토마토와의 품질(리코펜 및 고형물 함량, 산도, pH)과 큰 차이가 없는 것으로 보고되었다(Mencarelli와 Saltveit, 1988). 또한 Bisogni *et al.* (1976)은 적숙기에 수확된 토마토와 실내에서 후숙된 적숙과 토마토의 pH, 산도, 고형물 함량에 큰 차이가 없음을 보고하였다. Jen (1976)은 적색광 처리가 녹색기에 수확된 토마토의 적색색소 발달 및 카르티노이드 생합성을 촉진시킬 뿐만 아니라, 토마토의 외관 등에서 소비자의 호응을 얻을 수 있다고 보고하였다. 이와 같은 결과로 볼 때 숙성된 녹색기에 수확된 토마토를 광처리하여 후숙시킴으로 인한 품질의 저하는 없을 것으로 사료된다.

그러므로, 선별된 파장대의 광을 조기에 수확된 녹색과 토마토에 조사함으로써 토마토의 적색색소인 리코펜 발현을 촉진 또는 지연시킬 수 있으며, 품질의 저하 없이 토마토의 후숙을 시기 적절하게 촉진 또는 지연시킬 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 리코펜 합성을 촉진 또는 억제하는 것으로 알려져 있는 적색 및 원적색 파장대의

광질이 숙성된 녹색과 토마토의 후숙에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용된 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill)는 강원도 춘천시 신북면에서 수확한 도태량이었으며, 크기가 균일하고 손상이 없는 전 표면이 녹색 상태인 숙성된 녹색기의 토마토를 선별하여 실험재료로 사용하였다.

광 조사장치

녹색과 토마토의 광처리 실험을 위한 광조사장치는 적색 및 원적색광 조사실의 두 부분으로 분리하여 제작하였다(이귀현, 2001). 적색 파장대의 단색광은 8개의 적색 형광등(FL20S·R, Kumdong Lighting Co., Ltd.) 각각의 표면에 적색 셀로판지를 감싸 광필터로 사용하였으며, 원적색 파장대의 광은 4개의 백열전구(100W, Namyung Lighting Co., Ltd.) 밑에 광필터로 적색 및 청색의 셀로판지를 포개어 설치함으로써 얻어졌다. 백열전구로부터 발생하는 열은 광조사장치의 상부 측면에 부착된 팬을 작동하여 주위로 제거함으로써 원적색광 조사장치 내의 온도 상승을 방지하였다. 적색광 및 원적색광에 대한 스펙트럼 분석은 300~1,100 nm 범위의 광 스펙트럼을 측정할 수 있는 PMT 광 검출기를 장착한 스펙트럼 분석기(Model 6800, Macam Photometrics Ltd, Scotland, UK)를 사용하여 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

광처리

광처리 실험에 사용된 녹색과 토마토는 처리구당 12개였다. 적색 및 원적색광 조사시간은 각각 1시간 및 30분이었고, 광처리는 1일당 1회로 5일 동안 실시하였다. 광처리는 매일 오후 18시에 시작하였으며, 광처리 후 토마토는 온도 26°C 및 상대습도 85%로 설정된 무광의 항온항습기(HJ-9011/3, Heung Jin Testing Machine Co., LTD., Korea)에 5일간 저장하였다. 전 실험기간은 5일의 광처리기간을 포함하여 10일이었다. 광 처리구와의 비교를 위해 대조구로 12개의 토마토를 10일 동안 빛이 들어오지 않는 항온항습기에 저장하였다.

이화학적 분석

광조사기간을 포함한 저장 10일 동안 토마토 색도

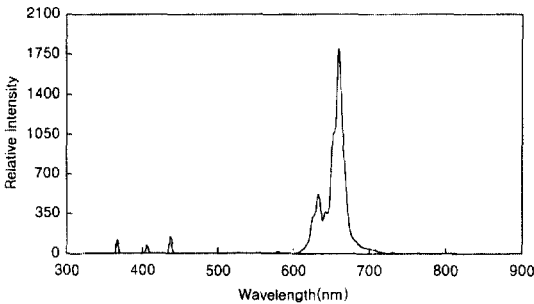


Fig. 1. Relative spectral energy distribution of red fluorescent lamps with a sheet of red cellophane filter.

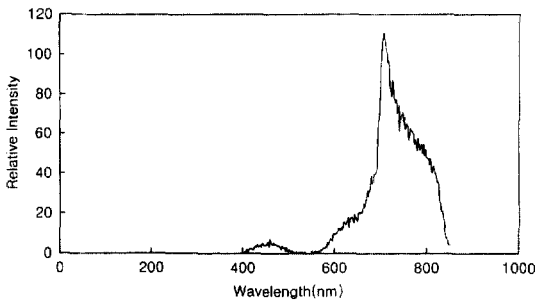


Fig. 2. Relative spectral energy distribution of incandescent lamps with a sheet of overlapped red and blue cellophane filters.

변화를 조사하기 위해 실험 전에 토마토 주위에 직경 2 cm의 원 3개를 유성펜으로 표시하였으며, 이러한 원 안의 색도를 2일에 한번씩 측정 한 후 평균하여 토마토 색도값을 나타내었다. 토마토의 색도 측정에는 색도계(Model CR-200, Minolta Co., Ltd., Japan)를 사용하여 L, a, b 값을 측정하였고, 색상각도(Hue Angle), $h_{ab} = \tan^{-1}(b/a)$ 및 색차(Color Difference), $\Delta E_{ab} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ 를 계산하였다. 여기서, 색차는 실험 초기의 토마토 색도를 기준으로 하여 각 색도 측정치에 대해 계산하였다.

실험 최종일에 적색광 및 원적색광 처리된 토마토와 대조구 토마토로부터 6개를 무작위로 취하여 Rheo Meter (Model Compac-100, Sun Scientific Co., Ltd., Japan)에 감압축 No 4(축경: 5 mm)를 장착하고 분당 60 mm의 속도로 압축하여 최대강도를 측정하였다. 경도 측정 후 디지털 굴절당도계(Model PR-101, Atago Co., Ltd., Japan)를 사용하여 토마토를 손으로 착즙한 후 가용성 고형물(Soluble Solids Content)을 측정하였다. 처리구별 나머지 6개의 토마토는 한 개씩 과일 믹서를 사용하여 완전히 같은 후 필터 및 진공펌프를 이용하여 여과된 주스 30 ml에 대해 pH 측정기(Model

7290, Istek Inc., Korea)로 pH를 측정 한 후, 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.1까지 적정하여 소비된 양을 citric acid로 환산하여 나타내었다(Lee et al., 1996).

결과 및 고찰

색도 변화

광질에 따른 광처리가 토마토의 후숙에 미치는 효과를 구명하기 위해 광처리 및 저장기간 동안 2일 간격으로 색도변화를 조사한 결과를 Figs. 3, 4, 5, 6, 7에 나타내었다. 명도의 정도를 나타내는 L 값의 변화는 원적색광(FR) 처리된 토마토가 가장 큰 값을 유지하면서 실험 기간동안 완만하게 낮아졌으나, 적색광(R) 처리된 토마토는 가장 낮은 값을 보이면서 감소하였고, 특히 실험 6일 후에는 L 값의 감소율이 매우 큰 것으로 나타났다. 광처리 없이 저장된 대조구(Darkness) 토마토의 경우 L 값 변화는 원적색광과 적색광 처리된 토마토의 중간정도를 유지하였다. 대체로 토마토의 숙성이 진행되면서 명도가 낮아져 L 값이 감소하는 경향이 있으며, 속도가 큰 토마토가 속도가 낮은 토마토에 비해 L 값이 낮게 나타난다(Shewfelt et al., 1988).

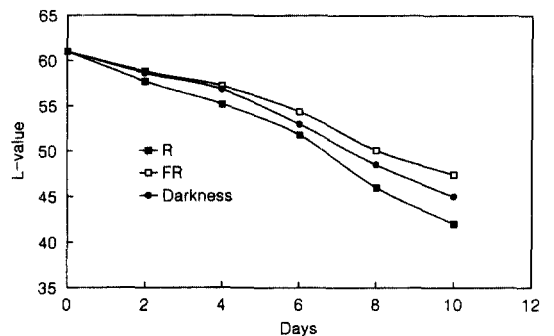


Fig. 3. Changes of L-values of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

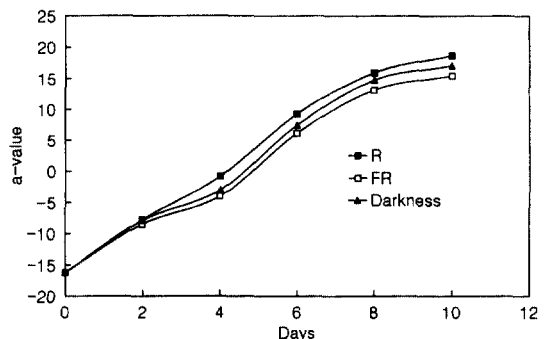


Fig. 4. Changes of a-values of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

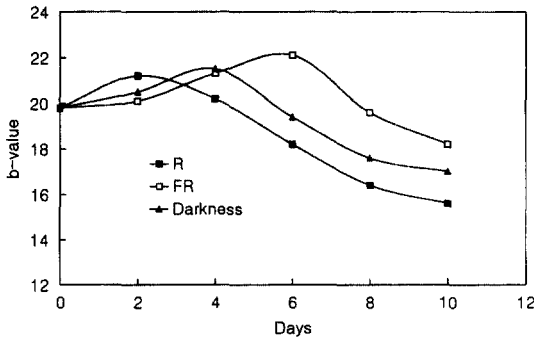


Fig. 5. Changes of b-values of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

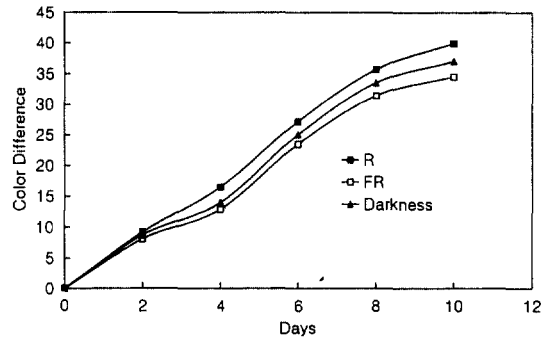


Fig. 7. Changes of color difference of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

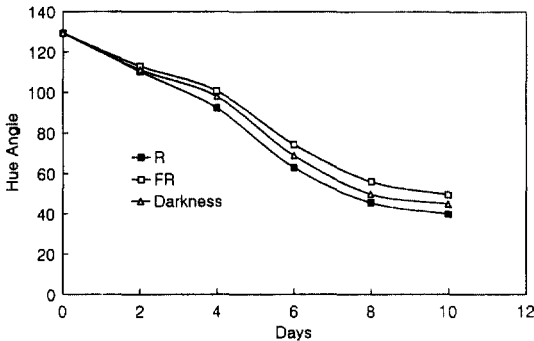


Fig. 6. Changes of hue angles of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

그러므로 적색광 조사된 토마토의 낮은 L 값은 속도가 촉진된 결과로 보여지고, 반대로 대조구에 비해 원적색광 처리된 토마토가 큰 L 값을 유지하는 것은 원적색광 처리에 의해 속도가 지연되었기 때문인 것으로 사료된다(Lee et al., 1997; Shewfelt, 1970).

실험기간동안 적색의 정도를 나타내는 a 값의 크기는 적색광, 대조구, 원적색광 처리된 토마토의 순으로 나타났다. 토마토의 숙성동안 적색의 발달은 적색색소인 리코핀이 합성되기 때문이다. 그러므로, 이러한 결과는 다른 연구(Khudairi와 Arboleda, 1971; Thomas와 Jen, 1975a; Thomas와 Jen, 1975b)와 같이 적색광 처리에 의해 토마토의 리코핀 합성이 촉진되었고, 반대로 원적색광 처리에 의해 토마토의 리코핀 합성이 지연되었기 때문인 것으로 사료된다.

황색의 정도를 나타내는 b 값은 모든 처리구에서 실험 초기에는 약간 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 즉, 적색광, 대조구, 원적색광 처리된 토마토에 대한 b 값의 상승기간은 각각 2일, 4일, 6일로 나타났으며, 그 이후에는 지속적으로 감소하였다. 숙성동안 토마토의 색변화는 녹색, 흰색, 황색, 분홍색을 거쳐

적색으로 변화한다. 그러므로 이와 같은 실험 초기의 b 값 증가 원인은 토마토의 숙성이 녹색에서 황색으로 변하는 동안에 증가된 것이며, 그 이후에는 토마토가 황색에서 적색으로 변화하는 과정에서 b 값이 감소된 결과로 사료된다. 적색광 처리된 토마토의 b 값 증가 기간이 원적색광 처리 및 대조구 토마토에 비해 짧았던 것은 토마토 숙성이 그만큼 빠르게 진행된 결과로 보여지며, 반대로 원적색광 처리된 토마토에 있어서 b 값의 증가기간이 큰 것은 숙성의 지연효과 때문인 것으로 사료된다.

색상각도(Hue Angle)는 a 값 및 b 값의 크기에 의해 결정되며, 실험기간 동안 색상각도의 감소율은 적색광, 대조구, 원적색광 처리된 토마토의 순서로 크게 나타났다. 이것은 적색광 처리된 토마토의 a 값에 대한 b 값의 크기가 대조구 및 원적색광 처리된 토마토에 비해 상대적으로 작았기 때문이며, 이것은 다른 연구(Lee et al., 1997; Shewfelt, 1970; Yang et al., 1990)와 같이 후숙이 촉진되었기 때문인 것으로 사료된다.

실험 초기의 토마토에 비해 실험 기간 중 변화된 색차의 크기는 적색광, 대조구, 원적색광 처리된 토마토의 순서로 나타났다. 숙성이 촉진될수록 색차의 변화가 크게 나타나며(Yang, et al., 1990), 적색광 처리된 토마토가 대조구에 비해 색차변화가 큰 것은 그만큼 속도가 촉진되어 색도의 변화가 컸음을 나타낸 것이다. 그러나 대조구에 비해 원적색광 처리된 토마토의 낮은 색차변화하는 속도의 지연에 의한 색도변화가 적었던 결과로 보여진다.

경도 분석

수확직후 토마토의 경도는 높으나 숙성이 진행되면서 과실이 연화되는데 이것은 polygalacturonase와 같은 세포벽 분해효소의 활성이 증가하여 세포벽이 붕괴되기 때문인 것으로 알려져 있다(Ahrens and Huber,

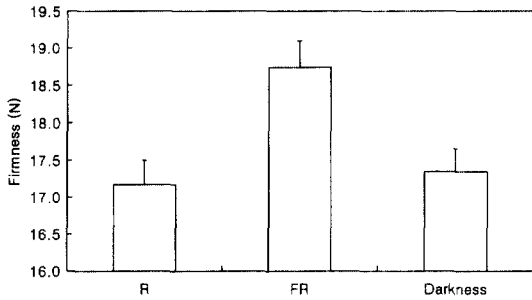


Fig. 8. Firmness of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

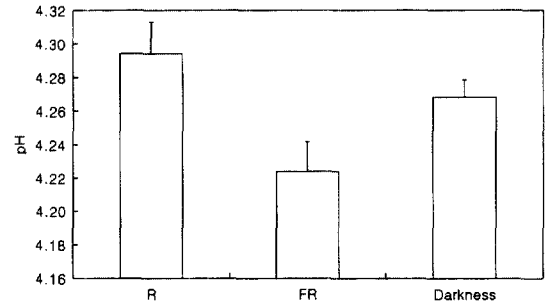


Fig. 10. pH of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

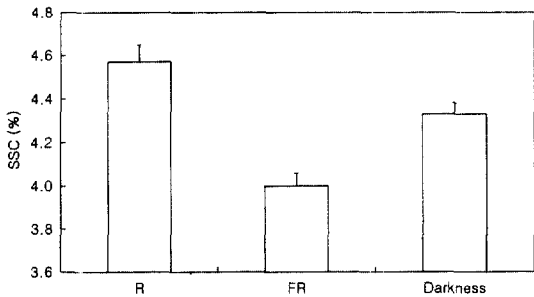


Fig. 9. Soluble solids content (SSC) of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

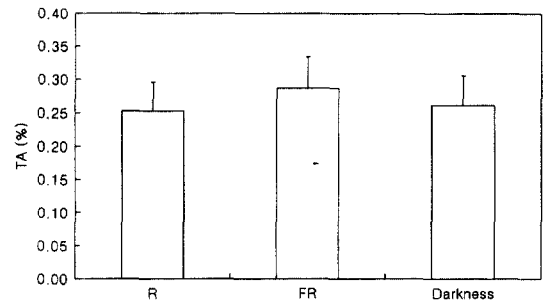


Fig. 11. Titratable acidity (TA) of tomatoes treated with R and FR and stored in darkness.

1990; Hobson and Davies, 1971). 즉, 적숙기 이후에는 경도가 급격히 감소하면서 가용성 펙틴이 증가하고 불용성 펙틴이 감소하며, 과숙기에는 세포벽의 분해와 세포분리 현상이 일어나는 것으로 알려져 있다(문광덕과 신승렬, 1996). 실험기간 10일 후 과육의 연화정도를 나타내는 경도는 원적색광 처리된 토마토가 18.17 N으로 가장 큰 값을 나타내었고, 다음으로 적색광 처리된 토마토 및 대조구 토마토가 각각 17.17 N 및 17.34 N을 나타내었다(Fig. 8). 상대적으로 원적색광 처리된 토마토의 경도가 다른 처리구에 비해 높았던 것은 숙성이 덜 진행된 결과로 보여지며, 적색광 처리된 토마토가 대조구 토마토에 비해 약간 낮은 것으로 나타났다. 이것은 원적색광 처리된 토마토의 경도가 다른 처리구보다 큰 것으로 보고한 Lee (1997)의 연구 결과와 일치하며, 광처리가 토마토의 조직에 직접적인 영향을 주는 것이 아니라, Jen (1974) 및 Shewfelt (1970)가 제시한 것과 같이 광처리에 의한 후숙의 진행정도 때문인 것으로 사료된다.

당도 분석

고품질의 과실은 적어도 가용성 고형물함량(SSC)이 3% 이상이 되어야 한다(Kader et al., 1978). 숙성동안 토마토의 당함량은 증가하는 것이 일반적인 경향이

다. 처리구별 실험 최종일에 측정된 가용성 고형물함량은 적색광 조사된 토마토의 경우가 4.57%이었고, 대조구 및 원적색광 조사된 토마토가 각각 4.33% 및 4.0%로 나타났다(Fig. 9). Kada et al. (1977)은 전표면이 적색인 잘 익은 토마토의 당도가 다른 덜 익은 토마토에 비해 큰 것으로 보고하였다. 이와 같이 적색광 처리된 토마토가 높은 당함량을 나타낸 것은 광처리에 의해 다른 처리구보다 후숙이 매우 촉진된 결과로 보여지며, 반면 원적색광 처리된 토마토의 낮은 당함은 후숙이 지연된 결과로 보여진다.

pH 및 적정산도 분석

본 실험에서 광처리 및 저장 10일 후에 측정된 pH는 적색광 처리구, 대조구, 원적색광 처리구 토마토 각각 4.29, 4.27, 4.22를 나타내었다(Fig. 10). Kada et al. (1977)은 전 표면이 적색인 잘 익은 완숙기(red stage) 토마토의 pH가 착색 개시기(breaker stage)와 같은 덜 익은 상태의 토마토에 비해 큰 것으로 보고하였다. 이와 같이 적색광 처리된 토마토가 높은 pH를 나타낸 것은 다른 처리구보다 후숙이 매우 촉진된 결과로 보여지며, 원적색광 처리된 토마토의 낮은 pH는 후숙이 지연된 결과로 보여진다.

처리구별 적정산도(TA)를 분석한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 적정산도는 적색광 처리구, 대조구, 원적색광 처리구 토마토 각각 0.25%, 0.26%, 0.29%를 나타내었다. 토마토는 숙성이 진행되면서 당함량이 증가하지만 유기산 함량은 감소하는 것이 일반적이다. 숙성하면서 토마토의 맛이 변화되며, 이는 과실내에 존재하는 당도 뿐만 아니라 유기산 함량에 의해서도 크게 좌우된다. 이와 같이 적색광 처리된 토마토가 원적색광 처리된 토마토의 산도에 비해 낮은 것은 그만큼 후숙이 촉진된 결과로 사료된다.

요 약

광질에 따른 광처리가 토마토의 후숙에 미치는 효과를 구명하기 위해 적색 및 원적색 파장대의 단색광을 5일 동안 매일 1시간 및 30분씩 숙성된 녹색구에 수확된 토마토에 조사하였다. 광처리 5일을 포함한 10일의 저장기간 동안 2일 간격으로 색도변화를 조사하였으며, 실험 최종일에는 경도, 가용성 고형물함량, pH, 적정산도를 분석하였다. 광처리 및 저장기간 동안 다른 처리구에 비해 적색광 처리된 토마토의 L, b, h_{ab} 값은 낮았으나, a 및 ΔE 값은 높은 것으로 나타났다.

반대로, 원적색광 처리된 토마토의 L 및 b, h_{ab} 값은 높았으며, a와 ΔE 값은 낮은 것으로 나타났다. 이것은 적색광 처리에 의해 속도가 촉진되어 색도발현이 빨라진 결과로 보여지고, 반대로 원적색광 처리에 의해 후숙이 지연되었기 때문인 것으로 사료된다. 광처리를 포함한 저장 10일 후에 측정된 가용성 고형물 함량 및 pH는 적색광 처리된 토마토가 큰 값을 나타냈으며, 경도 및 적정산도는 원적색광 처리된 토마토가 큰 값을 보였다. 이것은 적색광 처리에 의해 토마토의 후숙이 촉진되어 속도가 커진 결과이며, 반대로 원적색광 처리에 의해 후숙이 지연되어 토마토가 덜 숙성되었기 때문인 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-99-041-G00001)

문 헌

1. 문광덕, 신승렬. 1996. 토마토 과실의 성숙중 세포벽 성분 및 조직의 변화. 한국영양식품학 회지 **25**(2): 274
2. 이귀현. 2001. 고품질의 토마토 묘 생산을 위한 광처리

기술개발일몰 후 광처리가 토마토묘 소질에 미치는 영향 -. 생물환경조절학회지 **10**(1): 55-60

3. Ahrens, M.J. and D.J. Huber. 1990. Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. *Physiologia Plantarum* **78**: 8-14
4. Bisogni, C.A., G. Armbruster and P.E. Brecht. 1976. Quality comparisons of room ripened and field ripened tomato fruits. *J. Food Sci.* **41**: 333-338.
5. Borthwick, H.A. 1972. The biological significance of phytochrome. In: Phytochrome. K. Mitrakos and W. Shropshire, Jr. (eds.). Academic Press, London, UK. pp3-32
6. Borthwick, H.A., S.B. Hendricks, M.W. Parker, E.H. Toole and V.K. Toole. 1952. A reversible photoreaction controlling seed germination. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **38**: 662-666
7. Ceponis, M.J. and J.E. Butterfield. 1979. Losses in fresh tomatoes at the retail level and consumer levels in the greater New York area. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **104**: 751
8. Downs, R.J. 1956. Photoreversibility of flower initiation. *Plant Physiol.* **31**: 279-284
9. Gross, J. 1991. Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids. AVI Book, Van Nostrand Reinhold, NY, USA
10. Jen, J.J. 1974. Spectral quality of light and the ripening characteristics of tomato fruit. *HortSci.* **9**: 548-549
11. Jen, J.J. 1976. Comparative effects of light and ethephon on the ripening of detached tomatoes. *J. Food Sci.* **41**: 1366-1369
12. Jen, J.J. 1977. *In vivo* measurement of phytochrome in tomato fruit. *Plant Physiol.* **59**: 628-629
13. Hobson, G.E. and J.N. Davies. 1971. The Tomato. In: The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2. A. C. Hulme (ed.). Academic Press, Inc., New York, USA. pp437-482
14. Kader, A.A., L.L. Morris, M.A. Stevens and M. Albright-Holton. 1978. Comparison and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some post-harvest handling procedures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **103**(1): 6-13
15. Kader, A.A., M.A. Stevens, M. Albright-Holton, L.L. Morris and M. Algazi. 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **102**(6): 724-731
16. Khudairi, A.K. 1972. The ripening of tomatoes. *Amer. Sci.* **60**: 696-707
17. Khudairi, A.K. and O.P. Arboleda. 1971. Phytochrome-mediated carotenoid biosynthesis and its influence by plant hormones. *Physiol. Plant* **24**: 18-22
18. Lee, G.-H., J.M. Bunn, Y.J. Han and D.R. Decoteau. 1996. Determination of optimum levels of light irradiation needed to control ripening of tomatoes. *Transactions of the ASAE* **39**(1): 169-175
19. Lee, G.-H., J.M. Bunn, Y.J. Han and G.D. Christenbury.

1997. Ripening characteristics of light irradiated tomatoes. *J. Food Sci.* **62**(1): 138-140, 159
20. Mencarelli, F. and M.E. Saltveit, Jr. 1988. Ripening of mature-green tomato fruit slices. *J. Amer. Hort. Sci.* **113**(5): 742-745
21. Mohr, H. 1962. Primary effects of light on growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **13**: 465-488
22. Piringer, A.A. and P.H. Heinze. 1954. Effect of light on the formation of a pigment in the tomato fruit cuticle. *Plant Physiol.* **29**: 467-472
23. Shewfelt, A.L. 1970. Effects of a light treatment on the ripening of detached tomato fruits. *Food Technology* **24**: 609-105
24. Shewfelt, R.L., C.N. Thai and J.W. Davis. 1988. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *J. Food Sci.* **53**(5): 1433-1437
25. Thomas, R.L. and J.J. Jen. 1975a. Red light intensity and carotenoid biosynthesis in ripening tomatoes. *J. Food Sci.* **40**: 566-568
26. Thomas, R.L. and J.J. Jen. 1975b. Phytochrome-mediated carotenoids biosynthesis in ripening tomatoes. *Plant Physiol.* **56**: 452-453
27. Yang, R.-F., T.-S. Cheng and R. L. Shewfelt. 1990. The effect of high temperature and ethylene treatment on the ripening of tomatoes. *J. Plant Physiol.* **136**: 368-372