

## 수확 후 자외선 조사에 의한 ‘부유’ 단감의 과피 착색 증진

최성진\*

대구가톨릭대학교 생명공학과

### Enhancement of Skin Color by Postharvest UV Irradiation in ‘Fuyu’ Persimmon Fruits

Seong-Jin Choi\*

Department of Biotechnology, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

**Abstract.** The effects of UV irradiation, as a hormetic stimulus, on the postharvest persimmon fruits (*Diospyros kaki* cv. Fuyu) were investigated in regards to the change of carotenoid contents and flesh softening, when the UV irradiation was combined with or without the pretreatment of 1-methylcyclopropene (1-MCP) as an ethylene action inhibitor. The major carotenoid pigments in persimmon fruits were  $\beta$ -carotene, lycopene and  $\beta$ -cryptoxanthin. Of them, the lycopene was a pigment, which increased markedly after harvest. UV irradiation increased the contents of  $\beta$ -carotene and lycopene, enhancing the skin color to scarlet. The treatment accelerated however also the softening of fruit flesh. But the softening of UV irradiated fruits could be delayed significantly by pretreatment with 1-MCP without reducing the advantageous effect of UV irradiation on the carotenoid increase.

**Additional key words:** 1-MCP, cryptoxanthin, flesh softening, hormesis, lycopene,  $\beta$ -carotene

## 서 언

광화학 반응을 일으키는 자외선은 식물 조직의 피사나 갈변과 같은 장해를 유발할 수 있다. 특히 280nm보다 짧은 파장의 UV C는 DNA 분자에 직접적인 손상을 가하여 세포 사멸을 일으킨다(Danon and Gallois, 1998). 그러나 일반적으로 치명적이지 않은 낮은 수준에서 가해지는 위해 요인은 식물에 장해를 유발하지 않으면서 오히려 스트레스에 대한 대응 반응을 활성화하는 자극으로 작용하기도 하는데, 이러한 현상을 호르메시스(hormesis)라 한다(Shama and Alderson, 2005). 예를 들어, 생육 중의 포도에 저선량의 자외선을 조사할 경우 잎, 과실 등에서는 자외선에 의해 촉발되는 광산화 스트레스에 대응하여 강한 항산화 활성을 가지는 resveratrol로 대표되는 stilbene 화합물의 합성이 증가한다(Lancake and Pryce, 1977). 이러한 UV hormesis는 원예 산물의 수확 후 병해 감소 또는 품질 향상의 목적으로 활용될 수 있다. 식물체에 조사된 낮은 선량의 자외선은 페놀 화합물, 폴리아민,

이소프레노이드 등 다양한 종류의 이차대사산물의 생성 변화를 유발하며 이러한 이차대사산물에는 항균 활성을 가지거나 또는 원예산물의 품질에 영향을 미칠 수 있는 물질이 포함된다(Jansen et al., 2008). 앞서 언급한 stilbene 화합물이 대표적인 경우인데, 포도에 포함되어 있는 폴리페놀계의 stilbene은 강력한 항균 물질(phytoalexin)일 뿐만 아니라 중요한 건강 기능성 성분으로서 포도 또는 포도 가공품(포도주)의 기능적 품질에 영향을 미친다(Morales et al., 2000).

단감 과실에 포함되어 있는 색소는 이소프레노이드 계열의 carotenoid로서 carotene, lycopene, cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin 등이 이에 속한다(Wright and Kader, 1997). 이러한 carotenoid 색소는 단감 과실에 특유의 과피색을 부여하여 외관적 품질에 영향을 미칠 뿐만 아니라(Kays, 1999) 항산화 활성을 가지는 기능성 성분이며 특히  $\beta$ -carotene은 인체에서는 비타민 A로 작용하는 중요한 성분이기도 하다(Burri, 1977). 일반적으로 페놀화합물은 자외선을 흡수하는 성질이 강하여, 이에 따라, 식물에 자외선이 가해지면 폴리

\*Corresponding author: sjchoi@cu.ac.kr

※ Received 25 April 2011; Accepted 11 July 2011. 본 연구는 농림수산식품기술기획평가원(IPET)의 연구비 지원에 의해 ‘단감수출연구사업단’의 연구과제로 수행되었음.

페놀 계열의 anthocyanin 색소의 생성이 증가하는 사실이 잘 알려져 있다(Macheix et al., 1990). 그러나 폴리페놀계 화합물과 달리, 자외선을 강하게 흡수하지 않는 carotenoid 색소의 합성에 대한 자외선 조사의 효과는 작물이나 조직의 종류 또는 발육 상태에 따라 상이한 것으로 보고되어 있다(Jansen et al., 2008). 과실에서 carotenoid 생성에 대한 자외선 조사의 효과에 대한 보고는 많지 않은 편이며, 특히 단감의 경우에는 이에 대한 조사 보고가 아직 없는 것으로 보인다. 한편, 단감 과실은 climacteric 형에 속하는 과실로서 비록 생성량이 다른 종류의 과실에 비해 미미하기는 하나 에틸렌의 생성 및 작용은 과육의 연화 유발과 밀접하게 연관되어 있고 과육의 연화는 단감 과실에서 수확 후 품질 열화의 주요 요인 중 하나이다(Choi, 2010). 에틸렌은 과실의 성숙과 더불어 생성될 뿐만 아니라 과실에 스트레스가 가해졌을 경우 그 생성이 증가하는 것으로 잘 알려져 있다(Abeles et al., 1992). 본 연구에서는 수확 후 단감 과실에 자외선을 조사하여 과실의 외관과 기능적 품질에 영향을 미치는 요인으로서 carotenoid 색소 생성의 변화를 조사하였다. 또한 자외선 조사에 따른 스트레스 에틸렌의 생성 증가에 대처하는 수단으로 에틸렌 작용 억제제인 1-methylcyclopropene(1-MCP)을 처리하여 그 효과를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료 및 처리

경남 창원 지역의 농가에서 관행적인 방법으로 재배하여 11월 초에 수확한 단감 과실(*Diospyros kaki* cv. Fuyu) 중에서 중량(180-200g)과 과피색이 비교적 균일한 과실을 선별한 후 수확 당일 실험실로 운반하여 실험 처리에 이용하였다. 1-MCP의 처리는 실험실 운반 직후 행하였으며 자외선 처리는 1-MCP 처리가 완료된 그 이튿날 행하였다. 과실을 15kg씩 77L 용량의 아크릴 용기에 담아 6.2mL의 1%(v/v) 1-MCP gas를 주입한 후 실온에서 16시간 밀폐 방치하여 과실에 1-MCP를 처리하였다(처리농도 약 1ppm). 이 때, 1-MCP gas는 Rohm and Haas Korea사로부터 제공받은 SmartFresh를 이용하여 제조하였다. 자외선 처리시에는 자외선 램프(germicidal UV lamp, G30T08 30 W, Sankyo Denki, Japan)가 장착된 터널의 중앙으로 과실이 컨베이어 벨트에 의해 이송되도록 고안한 자외선 조사기를 이용하였다. 자외선 램프는 과실로부터 15cm 띄워 방사상의 여섯 방향으로 배열하였고 자외선 조사 시간은 컨베이어 벨트의 이송 속도를 조절함으로써 2분 간 과실이 자외선에 노출되도록 설정하였다. 처리 또는 무처리한 과실은 건조하지 않도록 0.04mm 두께의 대형 비닐

봉투에 10kg 씩 담아 과실 상자에 포장한 후 실온(18-20°C)에서 3주간 저장하였다. 저장 중 3-4일 간격으로 각 처리 당 5개의 과실을 취하여 분석에 이용하였으며, 과실 하나를 한 반복으로 하여 처리 당 5반복으로 시료를 분석하였다.

### 과육 경도의 측정

과육의 경도 측정에는 rheometer(EZ test, Shimadzu, Japan)를 이용하였다. 2mm 두께로 박피한 적도면 부위의 과육에 5mm 직경의 탐침을 7mm 깊이까지 침투시킬 때 탐침에 가해지는 최대 항력(N)을 과육의 경도로 하였고 과실마다 적도면의 두 곳에 대하여 경도를 측정하였다.

### 에틸렌 생성량 및 호흡량의 측정

과실을 500mL의 용기에 1시간 동안 밀폐한 후 1mL의 용기 내 공기 시료를 취해 GC(GC-2010, Shimadzu, Japan)에 주입하여 에틸렌 및 CO<sub>2</sub> 농도를 분석하였다. 에틸렌 분석은 activated alumina column(80mesh, 3.2mm × 1m SUS, 110°C, carrier gas = 30mL·min<sup>-1</sup> N<sub>2</sub>)과 FID(150°C)를 이용하였으며, CO<sub>2</sub> 분석은 active carbon column(80mesh, 3.2mm × 1m SUS, 110°C, carrier gas = He 30mL·min<sup>-1</sup>)과 TCD(150°C)를 이용하였다.

### Carotenoid 색소 분석 시료의 조제 및 추출

과실 박피기(Apple peeler, Kali, France)를 이용하여 2mm 두께로 박피한 과피를 액체 질소에 동결한 후 coffee grinder를 이용하여 분쇄하였다. 동결 분쇄한 시료는 동결 건조기(Vision, Korea)를 이용하여 건조한 후 색소 추출에 이용할 때 까지 -70°C에 보관하였다. Carotenoid 색소의 추출을 위하여, 10mL 용량의 원심분리관에 건조 분말시료 50mg을 담고 5mL의 hexane/ethanol/acetone(50:25:25, v/v/v)을 가한 후 orbital shaker에서 200rpm으로 5분간 교반하였다. 이어서 1mL의 증류수를 가하고 혼합한 후 원심분리하여 색소가 포함된 상층액을 회수하였다. 하층의 수용액에는 2mL의 hexane/ethanol/acetone을 추가로 가하고 혼합한 후 원심분리하여 재차 색소를 추출하였다. 회수한 상층액은 Speed Vac(Vision, Korea)을 이용하여 진공 건조하였다. 건조한 시료는 1mL의 dichloromethane에 용해하여 -70°C에 보관하면서 carotenoid 색소의 분석에 이용하였다.

### Carotenoid 색소의 분석

Dichloromethane에 용해한 carotenoid 분석 시료를 acetonitrile에 10배 희석한 후 2μL의 희석 시료를 HPLC(Waters Model 2696, USA)에 주입하였다. HPLC에서 분리에 이용

한 column은 XTerra MS C18(3.5 $\mu$ m, 150  $\times$  2.1mm, Waters, USA)이었으며, 0.25mL $\cdot$ min<sup>-1</sup> 유속의 acetonitrile/methanol (95:5, v/v)을 이동상으로 하여 isocratic 조건에서 시료 성분을 분리하였다. 분리된 lycopene,  $\beta$ -carotene,  $\beta$ -cryptoxanthin 등은 mass spectrometer(Waters Model 3100, USA)를 이용하여 single ion reaction(SIR) mode로 검출하였다. Mass spectrometer는 다음의 조건으로 설정하였다; desolvation gas(N<sub>2</sub>) flow = 500L $\cdot$ h<sup>-1</sup>, cone gas(N<sub>2</sub>) flow = 50L $\cdot$ h<sup>-1</sup>, desolvation temp. = 400 $^{\circ}$ C, source temp. = 120 $^{\circ}$ C, capillary voltage = 4KV, ionization mode = electrospray(ES) positive, cone voltage = 30V.

## 결과 및 고찰

### 자외선 조사에 따른 과피색의 변화

‘부유’ 단감 과실에 자외선을 조사하였을 때 조사 수일 이후 과피색은 무처리 과실에 비하여 짙은 적색으로 착색되었으며(Fig. 1), 2분간 조사시에는 자외선 조사에 따른 장해 증상이 관찰되지 않았다. 그러나 5분 이상 장시간 자외선에 노출된 과실에서는 3-4일 경과 후 과피에 흑색 반점이 생기기 시작하여 시간이 경과함에 따라 반점 형성 부위가 확대되는 증상을 보였다(자료 생략). 본 실험에 이용한 자외선 램프는 254nm의 UV C를 방출하는 램프로써, UV C는 식물에 과도하게 조사할 경우 복구가 불가능한 수준으로 DNA 분자에 손상을 입혀 세포의 사멸을 유도하는 것으로 알려져 있다(Danon and Gallois, 1998). 그러나 Lucky(1980)가 제안한 hormesis의 원리에 따르면, 저선량의 자외선 노출은 복구가 가능한 수준의 DNA 손상을 유발하여 DNA는 다시 복



**Fig. 1.** The comparison of skin color between control (upper) and UV irradiated (lower) ‘Fuyu’ persimmon fruits. The fruits were irradiated with UV light for 2 min at the harvest day and stored at room temperature before photographed at the tenth day.

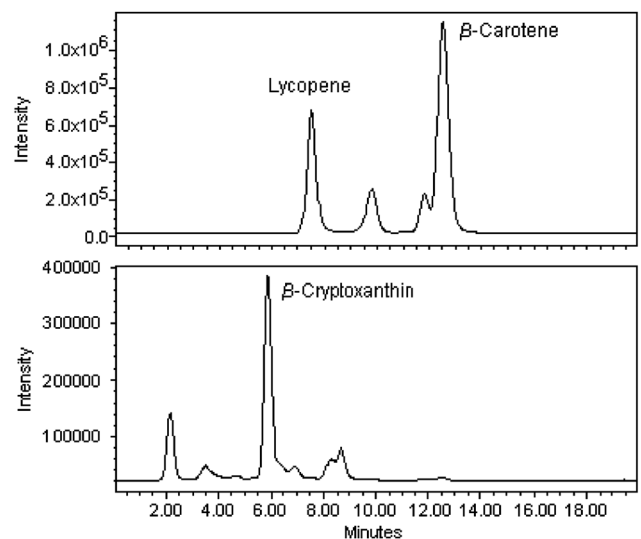
구될 수 있는데, 자외선에 의해 가해진 가벼운 외부 충격(trauma)은 세포의 DNA 복구 메커니즘을 활성화하는 자극으로 작용하며, 이에 따라 항상성(homeostasis)의 일환으로 세포 내 생명활동(vital process)이 증강된다. 따라서 ‘부유’ 단감의 경우, 2분 이내의 UV C 조사는 세포에 치명적이지 않으며 오히려 UV hormesis를 유발하여 carotenoid 색소 합성을 촉진하는 방향으로 세포 내 물질 축적의 재편성이 일어나는 것으로 생각된다.

### LC-MS를 이용한 carotenoid 색소의 분석

HPLC-ESI-mass spectrometer를 이용하여 carotenoid를 분석하였을 때, 분자량이 동일한 lycopene과 carotene은 m/z 536.5의 SIR channel에서 그리고 cryptoxanthin은 m/z 552.5의 SIR channel에서 검출되었다(Fig. 2). 단감에는  $\beta$ -carotene,  $\beta$ -cryptoxanthin(Wright and Kader, 1997), lycopene(Barbaet al., 2006) 등이 포함되어 있는 것으로 보고되어 있으나, LC-MS를 이용하여 분석하였을 때 ‘부유’ 단감 과실에서 이들 이외에도  $\alpha$ -carotene(m/z 552.5), lutein(m/z 568.5), zeaxanthin(m/z 568.5) 등을 추가로 발견할 수 있었다. 그러나 이들 색소는 다른 색소에 비하여 함량이 현저히 낮았으며 처리에 따른 함량 변화가 나타나지 않아 본 논문에서는 자료를 제시하지 않았다.

### 자외선 조사에 따른 색소 함량의 변화

‘부유’ 단감 과실에서 carotenoid 색소는 주로  $\beta$ -carotene, lycopene,  $\beta$ -cryptoxanthin으로 구성되어 있는 것으로 조사

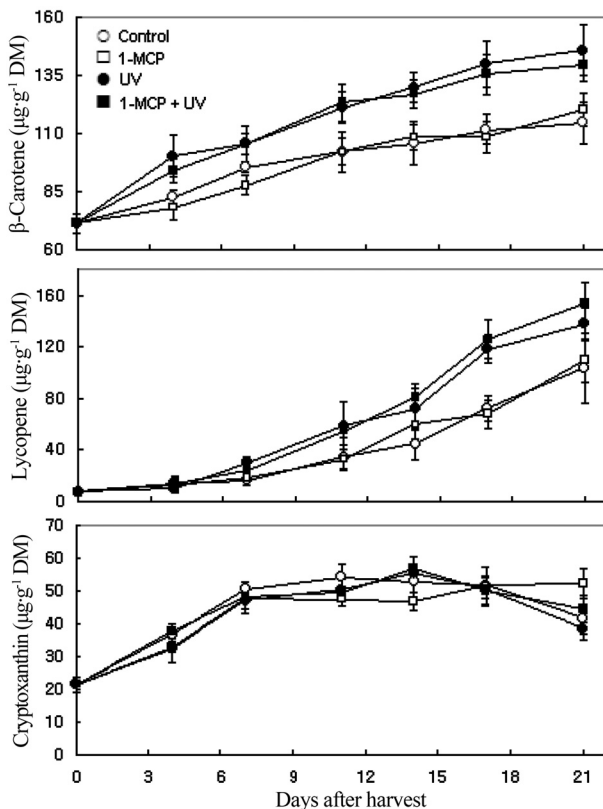


**Fig. 2.** Typical SIR chromatograms in carotenoid pigment analysis of ‘Fuyu’ persimmon fruit sample by using a LC-MS at ESI positive ionization mode. Lycopene/ $\beta$ -carotene and cryptoxanthin were monitored at the  $[M+H]^+$  ion of m/z = 536.5 and 552.5, respectively.

되었다(Fig. 3). 이들 색소의 조성 비율은 과실의 수확 후 경과 일수에 따라 차이가 있었는데, 수확 당시에는  $\beta$ -carotene 과  $\beta$ -cryptoxanthin이 주된 색소 성분을 구성하였고 lycopene 함량은  $\beta$ -carotene의 1/10 수준으로 낮았다. Lycopene은 다른 carotenoid 색소와 달리 광합성 조직에서는 발견되지 않으며 주로 과실에서 발견되는 것으로 알려져 있는데(Bramley, 2000), 단감에서 lycopene은 수확 이후성숙의 진행과 더불어 축적되는 것으로 생각된다. 즉, 수확 후 착색의 진행에 따라 lycopene 함량은 빠르게 증가하기 시작하여 수확 2주와 3주 후에는 수확 당시의 6.1배와 14.1배까지 증가하는 것으로 나타났다. 이에 비해  $\beta$ -carotene 함량은 수확 2주와 3주 후 각각 1.5배와 1.6배 증가하였다. 한편,  $\beta$ -cryptoxanthin은 수확 1주후 수확 당시에 비해 약 2.3배까지 증가한 후 그 이후에는 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서 ‘부유’ 단감의 과피색은 수확 당시 또는 그 이전에는 약간의  $\beta$ -cryptoxanthin을 포함하여 주로  $\beta$ -carotene에 의해 발현되나, 수확 후에는 이들 색소 뿐만 아니라 특히 lycopene 색소의 축적이 과피색의 발현에 크게 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다. 한편, 자외선 조사는  $\beta$ -carotene 및 lycopene 함량의 증가를 가져왔으며 특히 lycopene 함량의 증가가 두드러졌다. 즉, 자외

선 조사 2주후  $\beta$ -carotene 함량은 무처리에 비해 약 1.2배 증가한 반면 lycopene은 약 1.8배의 증가를 보였다. 그러나  $\beta$ -cryptoxanthin의 함량 변화는 자외선 조사의 영향을 거의 받지 않았다.

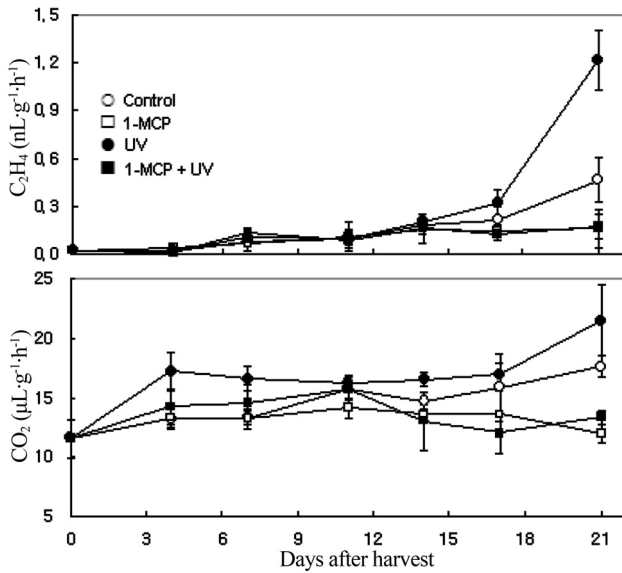
식물 조직에서 carotenoid 색소는 항산화 기능을 수행하는 것으로 잘 알려져 있다. 예를 들어 광합성 조직에서 carotenoid 색소의 주된 기능은 엽록소에 흡수된 빛 에너지에 의해 라디칼이 생성되는 것을 방지하거나 생성된 라디칼을 소거하는 것이다(McKersie and Lesham, 1994). 이러한 carotenoid 색소 중 특히 lycopene은 가장 강한 라디칼소거능을 가지는 것으로 보고되어 있다(Rice-Evans et al., 1997). 식물 세포에서 DNA 분자는 자외선에 가장 취약하여 자외선 노출시 티민 염기의 손상(thymine dimer의 형성)이 일어난다(Landry et al., 1997), 이러한 DNA 손상 이외에도 세포막 지질 또는 오옥신을 비롯한 저분자 화합물의 광산화 현상이 동반되며(Britt, 1996), 광산화 과정에서 생성되는 활성산소종은 자외선 노출에 따른 세포 손상의 주요 요인으로 작용한다(Jansen et al., 1998). 그러나 자외선에 의한 세포 손상이 치명적이지 않다면, 세포는 DNA 복구메커니즘을 활성화할 뿐만 아니라 활성산소종이나 그 밖의 라디칼을 소거하기 위하여 효소적 또는 비효소적 항산화 시스템을 활성화하는 것으로 알려져 있다(Jansen et al., 1998). 따라서 자외선을 조사한 단감 과실에서 carotenoid 함량이 증가하고 이에 따라 착색이 증진되는 현상은 UV hormesis에 의한 세포의 항산화 메커니즘의 활성화와 관련이 있는 것으로 해석할 수 있다. 수확 후 토마토 과실에 자외선을 조사하였을 때 lycopene 함량과 항산화 활성이 증가한다는 최근의 보고(Liu et al., 2011) 역시 이러한 해석에 부합한다.



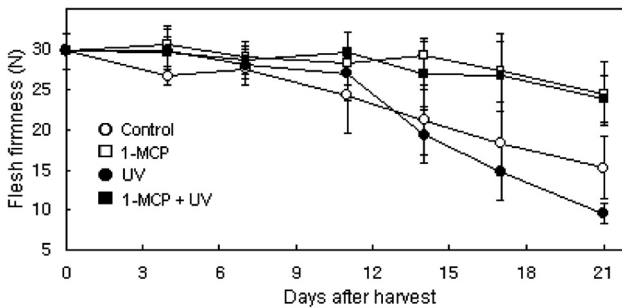
**Fig. 3.** The change of carotenoid pigment contents in 'Fuyu' persimmon fruits treated with 1-MCP and/or UV during storage at room temperature. Vertical bars show standard deviation (n = 5).

#### 자외선 조사 및 1-MCP 처리에 따른 색소 함량 및 과육 경도의 변화

‘부유’ 단감 과실에 자외선을 조사하였을 때, 에틸렌의 생성이 즉시 증가하지는 않았으나 실온 저장 2주 이후에는 무처리에 비해 크게 증가하였으며, 과실의 호흡량은 자외선 조사에 의해 즉시 증가한 후 저장 기간 중 지속적으로 높은 수준을 유지하였다(Fig. 4). 이는 자외선 조사가 단감 과실에 스트레스 요인으로 작용하였으며 이에 따라 세포 내 물질대사에 변화가 있음을 보여준다. 한편 무처리 과실에서 과육의 경도는 실온 저장 기간 중 서서히 감소하다가 에틸렌 생성 증가 시점에 이르러 빠르게 감소하였으며 특히 자외선 스트레스가 가해졌을 때 더욱 가속되었다(Fig. 5). 단감 과실에서 과육의 연화는 에틸렌의 작용에 의해 일어나는 일반적인 현상으로, 자외선 처리에 따른 과피 착색의 증진이 과육의 연화 촉진과 마찬가지로 스트레스 에틸렌의 작용



**Fig. 4.** The change of ethylene production and respiration rate in 'Fuyu' persimmon fruits treated with 1-MCP and/or UV during storage at room temperature. Vertical bars show standard deviation (n = 5).



**Fig. 5.** The change of flesh firmness in 'Fuyu' persimmon fruits treated with 1-MCP and/or UV during storage at room temperature. Vertical bars show standard deviation (n = 5).

에 따른 것인지 확인할 필요가 있다. 따라서 1-MCP를 처리한 과실에 자외선을 조사한 결과, 과육의 연화가 크게 지연되었으나(Fig. 5) carotenoid 함량 변화는 1-MCP 처리의 영향을 거의 받지 않았다(Fig. 3). 이는 단감 과실에서 수확 후 과육의 연화가 에틸렌의 작용과 밀접하게 연관(Choi, 2010; Nakano et al., 2001)되어 있는 반면 carotenoid 합성 증가 및 과피 착색의 증진은 에틸렌의 영향을 받지 않음을 의미한다. 이러한 사실은 실용적인 관점에서 볼 때, 수확 후 단감 과실에 1-MCP와 자외선 조사를 병행 처리하면 자외선 스트레스에 따른 과육의 연화는 억제하면서 carotenoid 함량 증가에 따른 착색의 증진이 가능함을 보여준다.

## 초 록

에틸렌 작용억제제인 1-MCP의 처리와 함께 수확 후 '부

유' 단감 과실에 호르메시스유발원으로 자외선을 조사하였을 때 carotenoid 색소 함량 변화와 함께 에틸렌 생성, 호흡 및 과육 경도의 변화를 조사하였다. 수확 당시 '부유' 단감 과실의 주요 carotenoid 색소는  $\beta$ -carotene, lycopene,  $\beta$ -cryptoxanthin이었으며, 이 중 lycopene 색소 함량은 수확 이후 실온 저장 기간 중에 크게 증가하는 양상을 보였다. 자외선 조사는 단감에서  $\beta$ -carotene과 lycopene 색소의 함량을 증가시켜 과피의 착색을 증진하였으나 동시에 자외선 스트레스에 따른 과육의 경도 저하를 촉진하였다. 그러나 자외선 조사에 따른 carotenoid 색소 함량의 증가는 1-MCP 처리의 영향을 받지 않은 반면 과육의 연화는 1-MCP 처리에 의해 크게 지연되었다. 따라서 수확 후 '부유' 단감 과실에 1-MCP 처리와 자외선 조사를 병행할 경우 연화 억제와 과피의 착색 증진을 통한 품질의 향상이 가능할 것으로 생각된다.

**추가 주요어 :** 1-MCP, 크립토산틴, 과육 연화, 호르메시스, 리코핀, 베타 카로틴

## 인용문헌

- Abeles, F.E., P.W. Morgan, and M.E. Saltveit. 1992. Ethylene in plant biology. Academic Press, San Diego, USA p. 56-119.
- Barba, A.I.O., M.C. Hurtado, M.C.S. Mata, V.F. Ruiz, and M.L.S. Tejada. 2006. Application of a uv-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and  $\beta$ -carotene in vegetables. Food Chem. 95:328-336.
- Bramley, P.M. 2000. Is lycopene beneficial to human health? Phytochem. 54:233-236.
- Britt, A.B. 1996. DNA damage and repair in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 47:75-100.
- Burri, B.J. 1977. Beta-carotene and human health: A review of current research. Nutrition Res. 17:547-580.
- Choi, S.J. 2010. The change of ethylene production, respiration, and flesh firmness as influenced by treatment with aminoethoxyvinylglycine and 1-methylcyclopropene in 'Fuyu' persimmon fruits stored at low temperature. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:242-247.
- Danon, A. and P. Gallois. 1998. UV-C radiation induces apoptotic-like changes in Arabidopsis thaliana. FEBS Lett. 437:131-136.
- Jansen, M.A.K., V. Gaba, and B.M. Greenberg. 1998. Higher plants and UV-B radiation: Balancing damage, repair and acclimation. Trends Plant Sci. 3:131-135.
- Jansen, M.A.K., K. Hectors, N.M. O'Brien, Y. Guisez, and G. Potters. 2008. Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? Plant Sci. 175:449-458.
- Kays, S.J. 1999. Preharvest factors affecting appearance. Postharvest Biol. Technol. 15:233-247.
- Lancake, P. and R.J. Pryce. 1977. The production of resveratrol and the viniferins by grapevines in response to ultraviolet

- irradiation. *Phytochem.* 16:1193-1196.
- Landry, L.G., A.E. Stapleton, J. Lim, P. Hoffman, and R.L. Last. 1997. An Arabidopsis photolyase mutant is hypersensitive to ultraviolet-B radiation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:328-332.
- Liu, C., X. Han, L. Cai, X. Lu, T. Ying, and Z. Jiang. 2011. Postharvest UV-B irradiation maintains sensory qualities and enhances antioxidant capacity in tomato fruit during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 59:232-237.
- Luckey, T.D. 1980. *Hormesis with ionizing radiation*. CRC Press, Boca Raton.
- Macheix, J.J., A. Fleuriet, and J. Billot. 1990. Fruit Phenolics. p. 149-238. CRC Press, Boca Raton.
- Morales, M., A.R. Barcelo, and M.A. Pedereno. 2000. Plant stilbenes: Recent advances in their chemistry and biology. *Adv. Plant Physiol.* 3:39-70.
- McKersie, B.D. and Y.Y. Lesham, 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. p. 15-54. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nakano, R., S. Inoue, Y. Kubo, and A. Inaba. 2002. Water stress induced ethylene in calyx triggers autocatalytic ethylene production and fruit softening in forcing-cultured 'Tonewase' persimmon. *Postharvest Biol. Technol.* 25:293-300.
- Rice-Evans, C.A., J. Sampson, P.M. Bramley, and D.E. Holloway. 1997. Why do we expect carotenoids to be antioxidants in vivo? *Free Rad. Res.* 26:381-398.
- Shama, G. and P. Alderson. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. *Trends Food Sci. Technol.* 16:128-136.
- Strid, A., W.S. Chow, and J.M. Anderson. 1994. UV-B damage and protection at the molecular level in plants. *Photosynth. Res.* 39:475-489.
- Wright, K.P. and A.A. Kader. 1997. Effect of controlled-atmosphere storage on the quality and carotenoid content of sliced persimmons and peaches. *Postharvest Biol. Technol.* 10:89-97.