ISSN 1226-8763
Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33(5):687-696, 2015 http://dx.doi.org/10.7235/hort.2015.15022

Research Report

흑색 방울토마토의 숙기 및 저장온도에 따른 상품성 유지기간 구명

박미희[1*], 서정민[1], 원희연[1], 서종분[2], 문두경[3], 김우일[4], 심상연[5]

[1]국립원예특작과학원 저장유통연구팀
[2]전라남도 농업기술원
[3]국립원예특작과학원 시설원예연구소
[4]경상남도 농업기술원
[5]경기도 농업기술원

Determination of Shelf-life of Black Mini Tomato Based on Maturity and Storage Temperature

Mehea Park[1*], Jeongmin Seo[1], Heeyeon Won[1], Jongbun Seo[2], Doogyung Moon[3], Wooil Kim[4], and Sangyoun Shim[5]

[1]*Postharvest Research Team, National Institute of Horticultural and Herbal science, Wanju 55365, Korea*
[2]*Jeonnam-do Agricultural Research & Extension Service, Naju 58213, Korea*
[3]*Protected Horticulture Research Station, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Haman 52054, Korea*
[4]*Gyongsangnam-do Agricultural Research & Extension Service, Jinju 52733, Korea*
[5]*Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Service, Hwasung 18388, Korea*

Abstract: Black mini tomato 'Hei-G' fruits were harvested at different stages of maturity (immature-mature green and mature-black red) and stored at different temperatures (8, 12, and 20°C) to investigate the quality and lycopene content during storage. Weight loss increased dramatically at higher temperature for both harvesting stages without significant differences. Firmness of immature fruits decreased below the initial level of mature fruit (8.1N) after 5, 8, and 19 days storage, when they were stored at 20, 12, and 8°C, respectively. Soluble solid contents of mature fruit increased at initial storage, and were higher as compared to immature fruits before deterioration at each storage temperature. Decrease in titratable acid of mature fruits depended on storage time and temperature. However, titratable acid of immature fruits showed little change during storage, and so it did not affect flavor. Hunter a value changed greatly in immature fruit stored at high temperature. Unlike ripe tomatoes, there was no significant difference in black tomato Hunter b values of immature and mature fruit at initial and 12 days storage. However, immature fruits stored at 8°C did not reach full maturity and color development and ripening. High storage temperature increased lycopene production while low storage temperature blocked lycopene development. Shelf life of the immature fruits, which was evaluated by elapsed days to conventional mature stage, was 12 and 15 days when they were stored at 20 and 12°C, respectively. The optimum storage temperature to maintain the quality and lycopene content of mature fruits was 12°C. Moreover, the shelf life of mature fruits stored at 20°C could reach up to 5 days.

Additional key words: chilling injury, ripening, skin color, titratable acid

서 언

토마토는 세계적으로 채소작물 중 가장 많이 생산과 소비되는 채소로써 육종, 재배, 수확 후 품질 및 관리에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다(Seo et al., 2013). 최근에는 기능성 물질이 함유된 채소의 선호도가 높아짐에 따라 라이코펜,

***Corresponding author:** poemmich@korea.kr

※ Received 13 February 2015; Revised 19 May 2015; Accepted 22 May 2015. 본 연구는 농촌진흥청 기관 고유연구사업(과제번호: PJ008831)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

ⓒ 2015 Korean Society for Horticultural Science

비타민C 등 항산화 성분의 함유량이 높은 토마토는 소비자로부터 많은 호응을 얻고 있다. 토마토의 주 성분인 라이코펜은 카로티노이드계열의 색소 물질로서 항산화작용과 항심혈관질환에 효과가 있는 것으로 알려졌다(Gerster, 1997). 이러한 성분은 토마토의 녹숙과(mature green)상태에서 적숙과(red)에 이르기까지 숙기에 따라 다르게 나타난다.

토마토는 후숙과정을 통해 과피색, 경도, 풍미, 화학성분의 큰 변화를 거치며 후숙의 조절을 통해 수확 후 가장 큰 손실인 부패를 줄이는 경제적인 효과를 가질 수 있다(Opiyo and Ying, 2005). 토마토의 후숙과정을 늦춤으로써 생산자는 소비지로의 장시간 수송이 가능하며, 소비자를 위한 과실의 저장수명이 연장될 수 있다. 토마토는 수체에 달린 기간과 식미가 연관성이 높지만, 소비지로 수송되는 기간 동안의 부패로 인한 손실을 줄이기 위해 녹숙과 또는 변색과 단계의 충분히 숙성되지 않은 미숙과를 수확하는 경우가 많다. 하지만 미숙과로 수확할 경우 후숙이 되었을 때 풍미가 발달되지 않을 수도 있다(Wills and Ku, 2002). 반면에 착색된 과실을 수확할 경우 후숙 과정이 발달되어 저장수명이 단축되는 단점이 있다. 따라서 토마토의 품질과 저장수명을 고려한 적정 수확시기에 대한 품종별, 재배환경별 연구가 필요하다. 또한 소비자에게 좋은 품질의 토마토를 유통시키기 위한 적정 저장온도와 저장수명의 구명이 요구된다. 일반적으로 완숙 토마토의 적합한 후숙 조건은 18-21°C 정도인 반면에 10°C 이하에서 2주 이상 또는 5°C에서는 7일 이상 저장하면 착색과 풍미가 발달하지 못한다고 보고되었다(Gómez et al., 2009). 방울토마토의 경우, 고농도의 CO_2를 처리함으로써, ethylene synthesis의 축적을 저해하여 후숙을 지연시킬 수 있는 것으로 보고되었다(Rothan et al., 1997). 또한 1-methylcyclopropene의 처리가 방울토마토의 후숙을 연장시키며(Opiyo and Ying, 2005), 저장 전 열처리와 modified atmosphere packaging(MA포장)을 통해 착색을 증진시키기도 한다(Ali et al., 2004).

한편, 과채류의 저장수명을 연장하기 위해 저온에 저장하여 호흡을 억제하여 선도를 유지하는 것은 유용한 방법으로 토마토의 경우 저온에 민감한 작물로써 저온에 장해를 받지 않는 적합한 저장온도를 결정하는 것이 중요하다. 토마토를 저장한계온도 이하에서 장기간 저장할 경우, 착색불량과 수침, 핏팅, 종자갈변 등의 저온장해가 발생한다(Zhao et al., 2009). 일반적으로 완숙토마토를 녹숙과로 수확 할 경우는 적정 저장온도는 12.5-15°C에서 14일까지, 밝은 적색과(light-red)로 수확 시는 10-12.5°C로 알려져 있다(Suslow and Cantwell, 2009). 방울토마토의 경우는 대부분 숙기 70% 정도에 수확하며, 12-17°C에서 저장 시 21일간 상품성이 유지된다고 보고되었다(Fuchs et al., 1995). 이와 같이 토마토의 적정 저장온도와 저온 장해는 숙기와 연관이 있으며, 녹숙과일수록 저온에 민감한 것으로 보인다. 토마토의 숙도는 착색 정도로 구별되는데 엽록소가 파괴되고, 라이코펜이 합성되면서 과피가 착색되므로 이들 성분이 저온장해를 일으키는 저장온도와 상관관계가 높다고 밝혀졌다(Gómez et al., 2009). 또한, 저온에 대한 생리적 민감성은 품종마다 다르며 토마토의 품종과 재배환경이 저장수명에 영향을 미친다고 보고되고 있다(Panthee et al., 2013).

흑색 방울토마토는 소비자의 칼라푸드에 대한 기호도가 높아짐에 따라 재배가 유망한 작목이다. 과피색은 일반 토마토가 적정 성숙시기에 밝은 적색을 띄지만 흑색 방울토마토는 검붉은색을 나타낸다. 일반 토마토는 후숙이 진행되면서 엽록소가 파괴되고 라이코펜을 합성하여 과피색이 적색을 띄게 되지만, 흑색 토마토는 후숙기간 동안 엽록소 함량이 유지가 되어 검붉은색을 띄는 것으로 알려져 있다(Ekelund and Jönsson, 2011; Marvasi et al., 2014). 예를 들어 흑색 토마토 'Kumato'의 경우 *gf*(green fresh) 유전자의 변이에 의해 후숙하는 동안 엽록소의 붕괴가 감소된 것으로 보고되었다(Hu et al., 2011). 또한 토마토의 라이코펜 함량과 과피색의 변화는 유의적인 상관관계가 있는 것으로 알려졌으며, 보통 과피색이 노란색 < 붉은색 < 검은색 순으로 과피색이 검붉은색인 흑색 토마토는 라이코펜 함량이 일반 토마토에 비해 높은 것으로 보고되었다(Seo et al., 2013). 시설 재배용 흑색 토마토 '헤이-G'는 평균 과중 43.4g으로 소과종으로 라이코펜 함량이 100g 당 11.8mg로 일반 토마토 '라피도'의 3.1mg에 비해 3배가 높았다(Seo et al., 2014).

흑색 방울토마토는 일반 토마토에 비해 독특한 색상과 성분을 함유하고 있으나, 이들 성분이 수확 후 저장력에 미치는 영향과 적정 저장온도 및 수확시기에 대한 연구가 보고된 바 없다. 본 연구는 흑색 방울토마토(품종: 헤이-G)의 저장력을 구명하기 위해 숙도별(미숙, 적숙), 저장온도별(8, 12, 및 20°C)로 3주간 저장하면서 품질과 라이코펜 함량을 조사하였다.

재료 및 방법

실험 재료 및 저장

흑색 방울토마토 '헤이-G'는 전라남도 담양군의 하우스

에서 2013년 8월 25일에 정식하여 2014년 2월 10일 수확된 것을 이용하였다. 흑색 방울토마토의 미숙과와 적숙과는 수확 즉시 3시간 거리의 실험실로 옮겨져 건전과를 선별하여 8, 12, 20°C에 각각 저장되었다. 미숙과의 기준은 짙은 녹색과(숙기 50%), 적숙과(숙기 70%)의 기준은 관행적으로 수확하여 유통하는 과피색인 검붉은색과로 하였다(Fig. 1A).

호흡 및 에틸렌 발생량 측정

호흡량 및 에틸렌 발생량은 흑색 방울토마토 10개체를 1L의 밀폐용기에 밀봉한 후 가스를 2시간 동안 축적한 후 1mL를 주사기로 포집하여 GC(Bruker 450-GC, U.S.A.)로 분석하였다. 과실 10개체를 담은 용기를 하나의 반복으로 하여 각 처리별 3반복으로 수행하였다. 호흡량 분석은 TCD 검출기로 주입온도는 110°C, 컬럼온도는 70°C, 그리고 검출온도는 150°C 측정하였다. 에틸렌 발생량은 주입온도 110°C, 컬럼온도는 70°C, 그리고 검출온도는 250°C의 GC 조건에서 FID 검출기로 측정하였다.

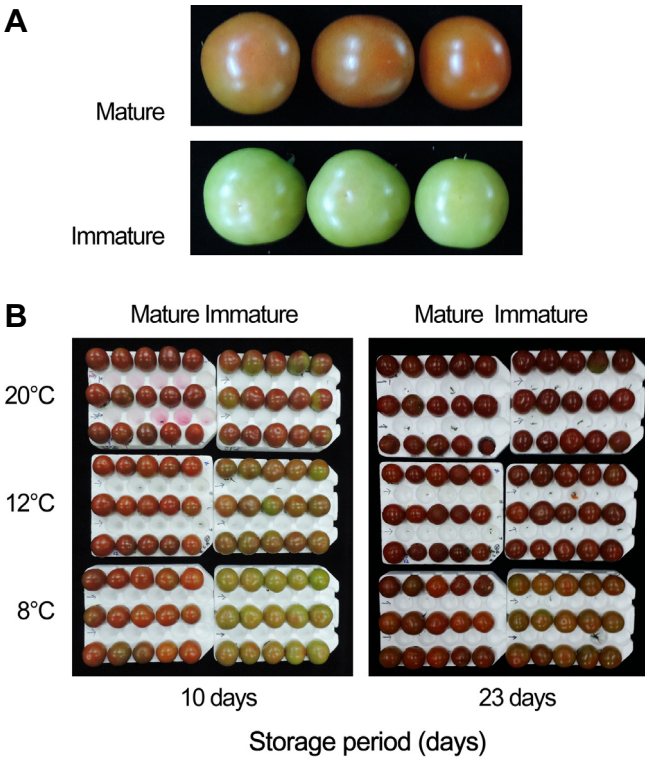

Fig. 1. Change in fruit color of black mini tomato 'Hei-G'. Pictures show harvest stage (A) and color change of fruit during storage at each storage temperature (B). Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and the black red stage (mature) on February 10, 2014.

중량감소율, 당도와 경도, 색도, pH, 적정산도 측정

중량감소율은 과실 15개체씩 담은 plastic tray를 하나의 반복으로 하여, 저장기간 동안 동일한 tray를 측정하여 초기 중량에 대해 감소하는 중량을 백분율로 표시하였으며, 각 처리별로 3반복 조사하였다. 가용성고형물 함량은 과육을 착즙 후 굴절당도계(Digital Refractometer PAL-1, Atago Co. Ltd, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 경도는 각 처리별로 15개체를 선발하여 과피를 벗긴 후 직경 5mm를 사용하여 속도는 2mm·sec^{-1}로 경도계(TA Plus; Lloyd Instruments Ltd., Fareham, Hampshire, UK)로 측정하였다. 토마토의 과피색은 색차계(Model CR-400; Minolta, Osaka, Japan)로 Hunter L, a 및 b 값은 각각 측정하였다. 동일한 개체의 2부분을 체크해 둔 후 실험기간 동안 같은 부위를 측정하였다. 적정산도는 착즙액 5mL를 채취하여 자동산도적정기(Titroline easy; SCHOTT Instruments GmbH, Mainz, Germany)를 이용하여 0.1N NaOH로 적정하여 구연산 함량으로 환산하여 표시하였다.

라이코펜 분석

토마토의 라이코펜 추출은 Kaur et al.(2008)의 방법에 의해 수행하였다. 알루미늄 호일로 감싼 50mL centrifuge tube에 동결건조한 토마토 분말시료(0.2g)를 넣고, 암상태에서 hexane : 0.05%(w/v) butylated hydroxytoluene(BHT) in acetone : ethanol = 2:1:1로 혼합한 라이코펜 추출용액(총 20mL)을 첨가한 후 voltex mixer를 사용하여 약 5분간 교반시켰다. 그 후 차가운 상태의 3차 초순수(3mL)를 넣고 5분간 더 흔들어 준 다음 상온에서 15분간 정치하였다. 분리된 상등액(hexane층)의 흡광값은 ELISA reader(BioTek instruments, Vermont, USA)로 hexane을 blank값으로 하여 472nm에서 측정하였고, 17.2 × 10^4mol·cm^{-1}의 흡광계수를 사용하여 라이코펜 함량(mg·100g^{-1})을 계산하였다

통계분석

흑색 방울토마토의 호흡량, 에틸렌발생량 및 중량감소율은 3반복씩 조사하여 평균값을 구한 후 표준오차(standard error, SE)로 나타내었다. 흑색 방울토마토의 품질 특성 중 경도는 15개체를 조사하여 평균값을 구한 후 표준오차로 나타내었으며, 색도, 당도, 적정 산도(TA)는 5개체를 1반복으로 하여 3반복 조사 후 처리간 유의성을 검정하였다. 라이코

펜 함량은 정량분석을 위하여 균질화된 시료를 사용하여 3반복으로 분석하였다, 처리간의 유의성 검정은 SAS 9.2 프로그램(SAS Inc, Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후, Duncan's multiple range test(DMRT)를 하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

저장온도 및 숙기에 따른 호흡량 및 에틸렌 발생량 변화

흑색 방울토마토의 저장기간 동안의 호흡량을 조사한 결과, 초기호흡량은 미숙과는 16.18μL·g^{-1}·hr^{-1}, 적숙과는 16.13 μL·g^{-1}·hr^{-1}으로 나타났으며, 저장개시 후 낮아지면서 저장기간 동안 안정적인 경향을 보였다. 흑색 방울토마토의 호흡량은 저장온도가 높을수록 높게 나타났으며, 미숙과를 20°C에 저장한 경우가 가장 높았다. 반면에 흑색 방울토마토를 저온(8°C)에 저장한 경우 숙기에 관계없이 호흡량이 저장기간 동안 낮게 유지되었다(Fig. 2).

흑색 방울토마토의 에틸렌의 발생량은 저장 5일까지 급등한 후 낮아지는 경향을 보였다. 토마토는 climacteric형 과실로서 숙성 중 에틸렌의 발생이 일시적으로 급증하며 외부

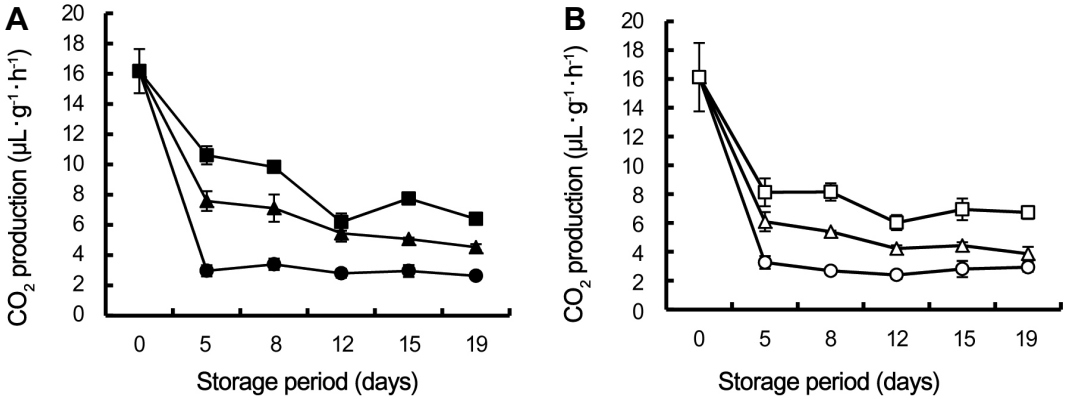

Fig. 2. Changes in respiration rate during storage at different temperatures of black mini tomato 'Hei-G' after harvest at the mature green stage (immature: A) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature: B). ●, 8°C; ▲, 12°C; ■, 20°C (A) and ○, 8°C; △, 12°C; □, 20°C (B). Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and the black red stage (mature) on February 10, 2014. Values represent the mean of 3 replicates, vertical bars represent standard error (n = 3). Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.

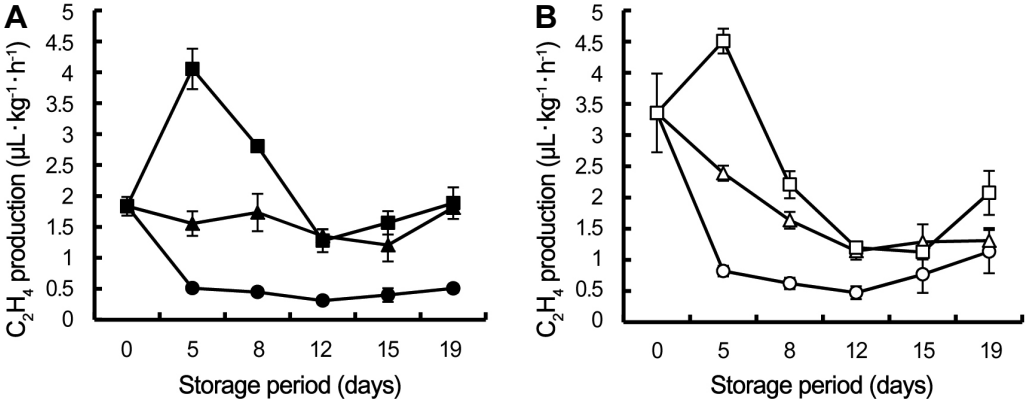

Fig. 3. Changes in ethylene production during storage at different temperatures of black mini tomato 'Hei-G' during storage after harvest at the mature green stage (immature: A) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature: B). ●, 8°C; ▲, 12°C; ■, 20°C (A) and ○, 8°C; △, 12°C; □, 20°C (B). Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and black red stage (mature) on February 10, 2014. Values represent the mean of 3 replicates, vertical bars represent standard error (n = 3). Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.

에틸렌에 의해 과실의 성숙이 촉진되는 것으로 알려져 있으며(Alexander and Grierson, 2002), 흑색 방울토마토도 이와 비슷한 특성을 가진 것으로 나타났다. 에틸렌 발생량은 적숙과가 미숙과에 비해 높았으며, 상온보다 저온에서 낮게 유지되었다(Fig. 3).

저장온도 및 숙기에 따른 중량감소율 및 경도 변화

흑색 방울토마토의 중량감소율은 19일간 저장기간 동안 미숙과는 20°C에서 16.2%, 12°C에서 11.4%, 8°C에서 3.4%, 적숙과는 20°C에서 17.2%, 12°C에서 12.1%, 8°C에서 3.8%로 미숙과와 적숙과에 따른 유의적인 차이는 없었고, 저장온도가 높을수록 높게 나타났다(Fig. 4). 저장기간 및 저장온도가 중량 감소에 유의적인 영향을 미친다고 알려졌으며(Kumar et al., 1999), 이는 저장온도가 높을수록 토마토의 호흡량이 증가하여 호흡기질로 양분이 소모된 것과 상관관계가 있을 것으로 보인다(Figs. 2 and 4). Park et al.(2004)은 완숙 토마토 '도태랑'을 상온에서 후숙시킨 경우 수확기를 빨리할수록 후숙시간이 길어서 무게 감소가 심하였다고 보고하였으나 흑색 방울토마토의 경우는 미숙과와 적숙과에 따른 중량감소율의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 반면

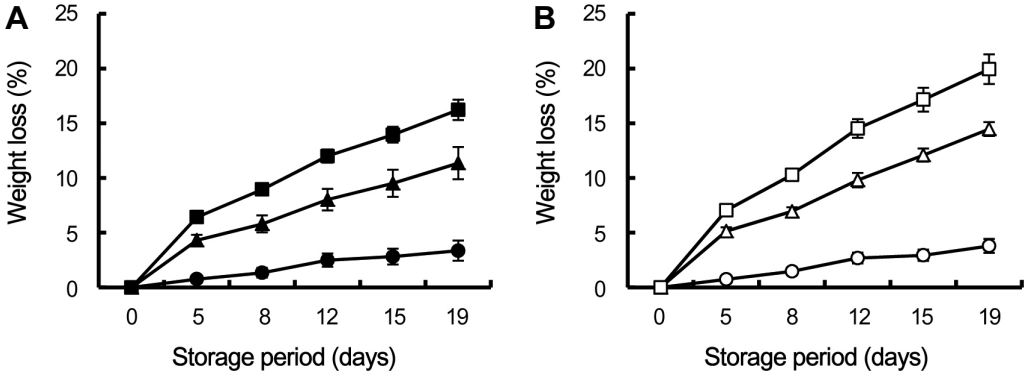

Fig. 4. Changes in weight loss during storage at different temperatures of black mini tomato 'Hei-G' during storage after harvest at the mature green stage (immature: A) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature: B). ●, 8°C; ▲, 12°C; ■, 20°C (A) and ○, 8°C; △, 12°C; □, 20°C (B). Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and black red stage (mature) on February 10, 2014. Values represent the mean of 3 replicates and each replicate had 15 samples. Vertical bars represents standard error (n = 3). Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.

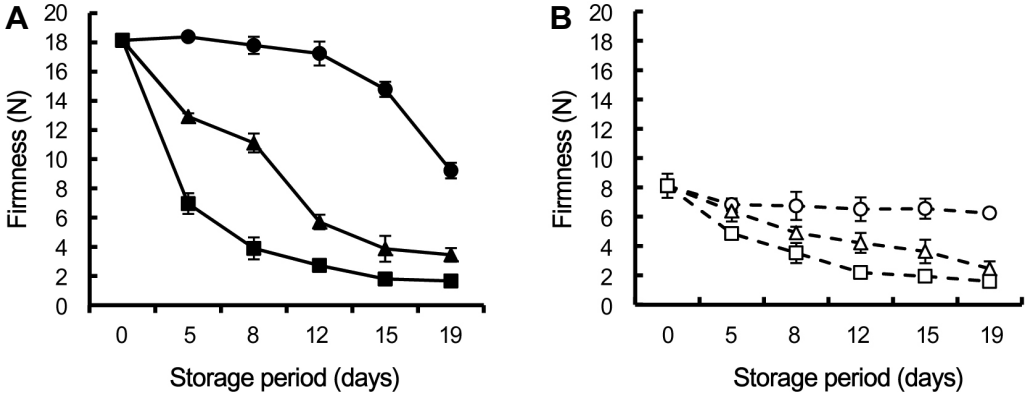

Fig. 5. Changes in firmness of black mini tomato 'Hei-G' during storage at different temperatures after harvest at the mature green stage (immature: A) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature: B). ●, 8°C; ▲, 12°C; ■, 20°C (A) and ○, 8°C; △, 12°C; □, 20°C (B). Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and black red stage (mature) on February 10, 2014. Values represent the mean from 15 samples, and vertical bars represent standard error (n = 15). Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.

에 적숙과의 경우, 20°C에서 8일, 12°C에서 12일 이후 그리고 미숙과의 경우는 20°C에서 12일, 12°C에서 15일 이후 중량감소율이 10% 이상으로 상품성을 소실하였다.

흑색 방울토마토의 경도는 저장온도가 높을수록 급격히 감소하였으며 이는 성숙이 진전될수록 연화가 진행되어 경도가 낮아진다는 Park et al.(2004)의 결과와 동일하였다. 반면에 저장온도가 낮을수록 경도가 높게 유지되었으며, 이는 저장온도가 낮을수록 펙틴물질의 감소가 억제되어 경도가 저하된 것으로 보인다(Park et al., 2005). 미숙과의 경우, 20°C에서 5일 이후, 12°C에서 8일 이후, 8°C에서 19일 이후에 적숙과의 초기치(8.1 N) 이하로 낮아졌다. 적숙과의 경우는 저장온도가 높을수록 경도의 감소폭이 컸으며, 8°C 저장 시 약 3주간 초기의 경도값을 유지하였다(Fig. 5). 반면에 적숙과를 20°C 저장 시 5일 이후부터 물러지기 시작하여 상품성이 소실되었다.

저장온도 및 숙기에 따른 과피색의 변화

흑색 방울토마토의 저장온도 및 숙기에 따른 과피색의 변화를 Hunter 값으로 조사하였다(Table 1). 과피의 밝기를 나타내는 Hunter L 값은 미숙과가 적숙과에 비해 높게 나타났으며 동일한 저장기간 동안 저장온도가 높을수록 낮게 나타났다. 저장 19일째의 Hunter L 값을 비교한 결과, 미숙과를 8°C에 저장한 과실이 40.32로 가장 높았고 적숙과를 20°C에 저장한 처리구가 33.26으로 유의적으로 낮게 나타났다.

Table 1. Changes in color of black mini tomato 'Hei-G' during storage at different temperatures after harvest at the mature green stage (immature) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature).

Maturity stages[z]	Storage temperature (°C)	Storage period (days)					
		0[y]	5	8	12	15	19
				Hunter L value			
Immature	8		42.11 a	42.12 a	42.35 a	41.15 a	40.32 a
	12	40.23 a[x]	41.40 a	40.14 b	37.74 b	37.29 b	35.36 bc
	20		41.45 a	39.56 b	35.98 cd	36.11 b	34.22 cd
Mature	8		38.73 b	37.92 c	37.14 bc	36.70 b	36.05 b
	12	36.10 b	37.60 c	36.50 d	35.43 d	34.66 b	34.18 cd
	20		35.97 a	35.39 e	34.46 d	35.94 b	33.26 d
				Hunter a value			
Immature	8		-3.07 c	-2.84 d	-1.68 d	-1.30 e	-0.22 d
	12	-4.36 b	-2.75 c	-0.49 cd	3.81 c	4.62 d	7.34 c
	20		-2.08 c	0.92 c	5.96 bc	7.47 bc	10.23 b
Mature	8		5.02 b	5.76 b	6.50 b	6.19 cd	6.37 c
	12	4.59 a	6.63 ab	7.57 ab	8.86 a	8.76 ab	10.58 b
	20		7.43 a	8.92 a	9.35 a	9.79 a	12.12 a
				Hunter b value			
Immature	8		11.08 c	11.21 ab	11.18 a	11.29 a	11.17 a
	12	11.25 a	12.13 ab	11.69 ab	10.06 a	10.04 b	9.03 cd
	20		12.42 a	12.20 a	9.92 a	10.32 b	8.86 d
Mature	8		12.0 b	11.76 ab	11.41 a	11.27 a	10.98 a
	12	11.18 a	11.56 bc	10.93 b	10.63 a	10.18 b	10.30 ab
	20		10.99 c	10.81 b	10.45 a	9.98 b	9.91 bc

[z]Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and black red stage (mature) on February 10, 2014.
[y]Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.
[x]Different letters within columns of each factor represent significant difference based on Duncan's multiple rage test, $p < 0.05$.

Park et al.(2004)은 완숙토마토 '도태랑'의 Hunter L 값이 녹숙과와 변색과에서 49 전후이었으며, 성숙이 진행되면서 감소하여 적숙과에서 34 정도 나타났다고 보고하였는데 흑색 방울토마토의 경우는 저장기간이 지남에 따라 Hunter L 값이 낮아지나, 수확당시의 Hunter L 값이 미숙과는 40.23, 적숙과는 36.10으로 완숙 토마토에 비해 낮게 나타났다. 붉은색을 나타내는 Hunter a 값은 저장온도가 높을수록 특히 미숙과의 경우 급격히 변화하였으며, 성숙이 진전되면서 증가하였다. 저장온도별로는 20°C에 저장한 적숙과가 가장 높게 나타났으며, 미숙과를 20°C에 8일간 저장시 적숙과의 초기값과 비슷하게 나타났다(Table 1). 반면에, 미숙과를 8°C에 저장한 경우 저장말기까지 Hunter a값이 -0.22로 착색이 불량하였으며, 12°C에 저장한 경우는 2주 이후에 적숙과의 초기값과 비슷한 수준을 보여 착색이 지연되었다(Fig. 1b). 노란색을 나타내는 Hunter b 값은 완숙토마토를 녹숙과와 적숙과로 수확시, 수확초기 녹숙과가 높은 반면에, 흑색 방울토마토는 수확당시 그리고 저장 12일까지 미숙과와 적숙과간의 Hunter b 값의 유의적인 차이는 없었다. 흑색 방울토마토를 저장온도 12°C 이상 저장하였을 경우 Hunter L값과 같이 미숙과와 적숙과 모두 저장기간이 지남에 따라 점차 감소하였다. 토마토의 과피색의 변화는 후숙과정에서 chloroplast가 chlomoplast로의 전이, 엽록소의 저하와 carotenoid와 라이코펜의 합성에 의한다(Liu et al., 2009). 특히 라이코펜의 합성은 저장온도에 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있어(Javanmardi and Kubota, 2006), 8°C에 저장한 과실의 경우 저온장해로 인해 착색이 불량한 것으로 판단된다. 엽록소 함량은 저온민감성과 관련이 있는 것으로 알려져 있고 저온장해 지수(CI index)로 사용하기도 한다(Hershkovitz et al., 2005). 본 연구에 사용된 흑색 방울토마토의 경우 완숙토마토와 달리 후숙기간에도 엽록소 함량이 유지되는 점 또한 저장기간 동안 저온 장해에 민감하게 작용할 가능성이 있다고 판단된다.

저장온도 및 숙기에 따른 가용성고형물 함량(SSC) 및 적정산도(TA)의 변화

흑색 방울토마토의 가용성고형물 함량과 적정산도를 저장기간 동안 변화를 조사하여, 당도와 산도의 기준으로 하였다. 가용성고형물 함량은 적숙과에서 6.20°Bx, 미숙과에

Table 2. Changes in soluble solids content and titratable acidity of black mini tomato 'Hei-G' during storage at different temperatures after harvest at the mature green stage (immature) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature).

Maturity stages[z]	Storage temperature (°C)	Storage period (days)					
		0[y]	5	8	12	15	19
		Soluble solids content (°Brix)					
Immature	8		5.80 bc	5.58 b	5.64 bc	6.38 a	6.20 a
	12	5.38 b[x]	5.68 c	5.83 ab	5.68 bc	5.72 b	6.08 a
	20		6.08 b	5.88 ab	5.78 bc	5.90 b	6.10 a
Mature	8		6.93 a	6.32 a	6.73 a	6.14 b	5.30 b
	12	6.20 a	6.57 a	5.80 ab	6.00 b	5.74 b	5.86 ab
	20		6.63 a	5.70 ab	5.36 c	5.97 b	5.67 ab
		Titratable acidity					
Immature	8		4.66 ab	4.70 ab	4.73bc	4.80 b	4.74 a
	12	4.72 b	4.77 ab	4.67 c	4.58 ab	4.34 c	4.36 a
	20		4.58 b	4.28 c	4.28 cd	4.35 c	4.36 a
Mature	8		4.96 a	4.93 ab	4.25 cd	4.03 c	4.00 ab
	12	4.93 a	5.11 a	5.10 a	5.06 a	4.61 a	4.43 a
	20		5.04 a	4.56 bc	4.13 d	4.18 bc	3.92 b

[z]Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and black red stage (mature) on February 10, 2014.
[y]Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.
[z]Different letters within columns of each factor represent significant difference based on Duncan's multiple rage test, $p < 0.05$.

서 5.38°Bx로 적숙과가 높게 나타났다(Table 2). 적숙과의 가용성고형물 함량은 저장초기에 증가한 후 부패가 일어나기 시작하면서 감소하기 시작하였다. 즉, 적숙과는 20°C에서 5일, 12°C에서 8일, 8°C에서 15일 이후에 가용성고형물 함량이 감소하기 시작하였다. 반면에 미숙과는 후숙이 진행됨에 따라 저장 전기간에 걸쳐 증가하여 저장말기에는 미숙과가 적숙과에 비해 유의적으로 높은 함량을 나타내었다. 또한 미숙과를 20°C에 저장할 경우 후숙이 빨리 진행되어 초기에 가용성고형물 함량이 크게 증가하였다.

적정산도는 적숙과는 저장기간이 지남에 따라 낮아지는 경향을 보였으나, 미숙과의 경우는 후숙이 진행되어도 적정산도가 변화하지 않았다(Table 2). 소비자는 신맛과 단맛의 독특한 선호도를 가지고 있기 때문에 적정산도는 과실의 맛과 질을 예측하는 중요한 기준이다. 토마토의 가용성고형물 함량과 적정산도의 조성은 풍미를 결정하며 산(acid)의 감소와 높은 SSC:TA 비율이 풍미를 감소시키는 요소로(Malundo et al., 1995; Meheriuk et al., 1995) 토마토의 풍미는 당과 유기산 사이의 균형과 연관이 있다. Opiyo and Ying (2005)의 연구에 따르면 방울토마토의 경우 적정산도는 후숙과 함께 증가한 후 감소한다고 보고하였다. 반면에 본 연구에서의 흑색 방울토마토의 미숙과의 경우 저장기간 동안 적정산도의 변화가 없는 특성을 보였다. 따라서 흑색 방울토마토의 짙은 녹색단계의 미숙과로 수확하여 상온에서 후숙시켜 유통시킬 경우 착색이 진행되어도 식미에서 소비자의 선호도가 낮을 것으로 판단된다.

저장온도 및 숙기에 따른 라이코펜 함량 변화

흑색 방울토마토의 라이코펜 함량은 미숙과는 3.81mg·100g^{-1}, 적숙과는 7.15mg·100g^{-1}로 나타났다. 저장기간 동안 흑색 방울토마토의 라이코펜 함량 변화를 조사한 결과, 저장온도가 높을수록 유의적으로 높게 나타났으며(Table 3), 이는 Javanmardi and Kubota(2006)의 토마토의 저장온도에 따른 라이코펜 함량의 변화 결과와 일치한다. 미숙과의 경우 12°C 저장시 저장 말기(19일)까지 라이코펜 함량이 증가하여 적숙과 초기치와 비슷한 수치에 도달하며, 20°C 저장시는 8일 이내에 적숙과 초기치에 도달한 후 저장기간이 지나도 증가되지 않았다. 즉 라이코펜 함량은 적숙과의 초기치를 상품과로 설정할 경우 20°C 저장시 저장초기부터 라이코펜 함량이 증가하였다. 반면에 8°C에 저장한 과실의 경우 미숙과, 적숙과 모두 라이코펜 함량이 감소하였으며, 12°C에 저장한 경우는 미숙과의 경우는 후숙이 진행되어 저장말기에 라이코펜 함량이 증가하였지만, 적숙과의 경우는 12°C에서도 증가하지 않았다(Table 3). 저온저장이 일반 토마토에서 carotenoid 합성을 저해한다고 보고되었으며, 특히 라이코펜의 축적은 저장온도에 큰 영향을 받으며, 저온 스트레스에 의해 저해된다(Gómez et al., 2009; Javanmardi and Kubota, 2006). 또한 라이코펜 함량과 토마토 과피색의 변화는 높은 상관관계가 있으며(Cox et al., 2003), 본 연구에서도 저온(8°C)에 저장한 미숙과의 경우 착색불량과 함께 라이코펜의 발달도 저해되었다.

흑색 방울토마토의 라이코펜 함량은 미숙과와 적숙과 모두 20°C에 저장하는 것이 가장 높게 나타났으나 적숙과를 20°C로 저장할 경우 부패와 연화가 촉진되므로 12°C로 저장하여 수확 당시의 라이코펜 함량 수준으로 유지시키는 것이 저장수명을 연장하는 방법으로 제시된다.

초 록

흑색 방울토마토 '헤이-G'의 저장력을 구명하기 위해 숙도별(짙은 녹색단계의 미숙, 검붉은 단계의 적숙)로 수확하여 저장온도별(8, 12, 20°C)로 3주간 저장하면서 품질과 라이코펜 함량을 조사하였다. 흑색 방울토마토의 중량감소율은 미숙과와 적숙과에 따른 유의적인 차이는 없었고, 저장

Table 3. Changes in total lycopene content of black mini tomato 'Hei-G' during storage at different temperatures after harvest at the mature green stage (immature: A) compared with the conventional harvest stage of black red maturity (mature: B).

Maturity stages[z]	Storage temperature (°C)	Storage period (days)		
		0[y]	8	19
Immature	8		2.55 d	3.03 f
	12	3.81 b[x]	3.78 c	5.90 d
	20		6.53 b	6.33 c
Mature	8		6.13 b	5.32 e
	12	7.15 a	6.62 b	7.40 b
	20		8.83 a	9.04 a

[z]Tomato plants were grown in a greenhouse from August 2013 to February 2014 in Damyang, Jeonnam, Korea. Fruits were harvested at the mature green stage (immature) and black red stage (mature) on February 10, 2014.
[y]Data at 0 day represent the initial value of black mini tomato before storage at the first day after harvest.
[x]Different letters within columns of each factor represent significant difference based on Duncan's multiple rage test, $p < 0.05$.

온도가 높을수록 높게 나타났다. 경도는 미숙과를 20°C에서 5일 이후, 12°C에서 8일 이후, 8°C에서 19일 이후에 적숙과의 초기치(8.1 N) 이하로 낮아졌다. 적숙과의 가용성고형물 함량은 저장초기 증가한 후 부패가 일어나기 전까지 각각의 저장온도에서 미숙과보다 높았다. 적정산도는 적숙과의 경우 저장기간과 저장온도에 따라 낮아지는 경향을 보인 반면에 미숙과의 경우는 후숙이 진행되어도 적정산도가 거의 변화하지 않아 풍미에 영향을 미칠 것으로 보인다. Hunter a 값은 저장온도가 높을수록 특히 미숙과의 경우 급격히 변화하였으나, 8°C에 저장한 미숙과는 착색불량 및 장해로 인해 후숙되지 못했다. 완숙토마토와 달리 흑색 방울토마토의 Hunter b 값은 저장 12일까지 미숙과와 적숙과 간의 유의적인 차이는 없었다. 라이코펜의 함량은 저장온도가 높을수록 높게 나타나며 저온에서 저장한 경우 라이코펜 합성이 저해되었다. 이상의 결과로부터 흑색 방울토마토의 저장기간을 적숙과로 설정할 경우 미숙과의 저장온도는 12°C에서 15일, 20°C에서 12일간 저장할 수 있을 것으로 보인다. 흑색 방울토마토를 적숙과로 수확할 경우 라이코펜 함량과 외관 품질을 고려하여 12°C 내외가 적절하며, 20°C 저장은 약 5일 이내로 판단된다.

추가 주요어 : 저온 장해, 후숙, 과피색, 적정 산도

인용문헌

Alexander, L. and D. Grierson. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. J. Exp. Bot. 53:2039-2055.

Ali, M.S., K. Nakano, and S. Maezawa. 2004. Combined effect of heat treatment and modified atmosphere packaging on the color development of cherry tomato. Postharvest Biol. Technol. 34:113-116.

Cox, S.E., C. Stushnoff, and D.A. Sampson. 2003. Relationship of fruit color and light exposure to lycopne content and antioxidant properties of tomato. Can. J. Plant Sci. 83:913-919.

Ekelund, L. and H. Jönsson. 2011. How does modernity Taste? Tomatoes in the societal change from modernity to late modernity. Culture Unbound 3:439-454.

Fuchs, Y., A. Weksler, I. Rot, E. Pesis, and E. Fallik. 1995. Keeping quality of cherry tomatoes, designated for export. Acta Hortic. 398:257-264.

Gerster, H. 1997. The potential role of lycopene for human health. J. Amer. Coll. Nutr. 16:109-126.

Gómez, P., M.Á. Ferrer, J.P. Fernández-Trujillo, A. Calderón, F. Artés, M. Egea-Cortines, and J. Weiss. 2009. Structural changes, chemical composition and antioxidant activity of cherry tomato fruits (cv. Micro-Tom) stored under optimal and chilling conditions. J. Sci. Food Agric. 89:1543-1551.

Hershkovitz, V., S.I. Saguy, and E. Pesis. 2005. Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. Postharvest Biol. Technol. 37:252-264.

Hu, Z.L., L. Deng, B. Yan, Y. Pan, M. Luo, X.Q. Chen, T.Z. Hu, and G.P. Chen. 2011. Silencing of the *LeSGR1* gene in tomato inhibits chlorophyll degradation and exhibits a stay-green phenotype. Biol. Plant. 55:27-34.

Javanmardi, J. and C. Kubota. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biol. Technol. 41:151-155.

Kaur, D., A.A. Wani, D.P.S. Oberoi, and D.S. Sogi. 2008. Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. Food Chem. 108:711-718.

Kumar, A., B.S. Ghuman, and A.K. Gupta. 1999. Non-refrigerated storage of tomatoes-effect of HDPE film rapping. J. Food Sci. Technol.-Mysore 36:438-440.

Liu, L.H., D. Zabaras, L.E. Bennett, P. Aguas, and B.W. Woonton. 2009. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. Food Chem. 115:495-500.

Malundo, T.M.M., R.L. Shewfelt, and J.W. Scott. 1995. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. Postharvest Biol. Technol. 6:103-110.

Marvasi, M., J.T. Noel, A.S. George, M.A. Farias, K.T. Jenkins, G. Hochmuth, Y. Xu, J.J. Giovanonni, and M. Teplitski. 2014. Ethylene signaling affects susceptibility of tomatoes to *Salmonella*. Microb. Biotechnol. 7:545-555.

Meheriuk, M., B. Girard, L. Moyis, H.J.T. Beveridge, D.L. McKenzie, J. Harrison, S. Weintraub, and R. Hocking. 1995. Modified atmosphere packaging of 'Lapins' sweet cherry. Food Res. Intl. 28:239-244.

Opiyo, A.M. and T.J. Ying. 2005. The effects of 1-methylcyclopropene treatment on the shelf life and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum var. cerasiforme*) fruit. Intl. J. Food Sci. Technol. 40:665-673.

Panthee, D.R., J.A. Labate, M.T. McGrath, A.P. Breksa III, and L.D. Robertson. 2013. Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. Euphytica

193:169-182.

Park, S.W., E.Y. Ko, M.R. Lee, and S.J. Hong. 2005. Fruit quality of 'York' tomato as influenced by harvest maturity and storage temperature. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:31-37.

Park, S.W., J.W. Lee, Y.C. Kim, K.Y. Kim, and S.J. Hong. 2004. Changes in fruit quality of tomato 'Dotaerang' cultivar during maturation and postharvest ripening. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22:381-387.

Rothan, C., S. Duret, C. Chevalier, and P. Raymond. 1997. Suppression of ripening-associated gene expression in tomato fruits subjected to a high CO_2 concentration. Plant Physiol. 114:255-263.

Seo, J.B., G.H. Shin, M.H. Jang, Y.S. Lee, H.J. Jung, B.K. Yoon, and K.J. Choi. 2013. Breeding of black tomato 'Hei' for protected cultivation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 31:833-836.

Seo, J.B., G.H. Shin, Y.S. Lee, M.H. Jang, D.M. Son, B.K. Yoon, J.W. Lee, and K.J. Choi. 2014. Breeding of black tomato 'Hei-G' suitable for protected cultivation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 32:917-921.

Suslow, T.V. and M. Cantwell. 2009. "Tomato: recommendations for maintaining postharvest quality." Postharvest Technology Research Information Center, UC Davis, California, USA.

Wills, R.B.H. and V.V.V. Ku. 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. Postharvest Biol. Technol. 26:85-90.

Zhao, D.Y, L. Shen, B. Fan, K.L. Liu, M.M. Yu, Y. Zheng, Y Ding, and J.P. Sheng. 2009. Physiological and genetic properties of tomato fruits from 2 cultivars differing in chilling tolerance at cold storage. J. Food Sci.74:348-352.