

수확 후 고농도 CO₂ 단기처리가 ‘매향’ 딸기의 저장에 미치는 영향

안선은 · 왕무화 · 이아연 · 황용수*

충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

Effects of short-term treatment of high pressure CO₂ on the changes in fruit quality during the storage of ‘Maehyang’ strawberries

Sun-Eun Ahn, Mao-Hua Wang, Ah-Youn Lee, Yong-Soo Hwang*

Department of Horticultural Science, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Deajeon 305-764, Korea

Received on 6 January 2014, revised on 26 March 2014, accepted on 28 March 2014

Abstract : This experiment was conducted to examine the effects of a short-term treatment of high pressure CO₂ on shelf-life of strawberry fruit. A short-term treatment (12 hr) of 100% CO₂ resulted in the increase of fruit firmness up to 71.9% compared to that at harvest. The firmness of CO₂ treated fruit remained a significantly higher than that of control (air) up to 15 days. The alteration of pectic polymers was observed by CO₂ treatment such as an increase of EDTA soluble pectins and decrease of water soluble ones. The CO₂ treatment resulted in the increase of total amount of wall bound calcium. Pectate lyase activity, an important agent of strawberry fruit softening, was also significantly reduced by CO₂ treatment. Contents of soluble solids and acids of CO₂ treated fruit were higher than those of control fruit. Short-term treatment of high pressure CO₂ affected shelf-life through firmness increase whereas the visual quality and decay incidence of strawberry fruit were not affected.

Key words : Firmness, Pectate lyase, Bound calcium, Pectic polymer, Decay

I. 서론

딸기(*Fragaria x ananassa* Duch.)는 비호흡급등형 작물로 수확 후에는 과실의 성숙과 관련된 대사작용이 제한적이어서 완숙한 다음 수확하는 것이 바람직하다. 그러나 딸기는 과실 조직이 약하여 수확과정에서 쉽게 손상되어 완숙한 다음 수확하면 수확과정 중 상처가 발생할 가능성이 높아 저장성이 크게 떨어지는 문제가 있고 미숙한 과실을 수확하면 당도가 낮아 식미가치가 떨어진다. 과피에 상처가 발생하면 상처 부위가 변색되어 외관 품질이 낮아지므로 (Vicente et al., 2002) 딸기 과실의 저장력을 증진시키기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔는데, 수확 전 칼슘살포처리(Chung et al., 1993; Smith and Gupton, 1993)가 권장되고 있다. 그러나 살포한 칼슘은 식물 세포로의 흡수 및 흡수 후 이동이 어려운 원소이어서 체내 이동량을 증가시키

기 위하여 고농도로 살포할 경우 약해가 발생하기도 한다.

한편 저장성 증진을 위한 수확 후 처리 방법으로 냉각 (Ferreira et al., 1994; Nunes et al., 1995) 및 고농도의 CO₂ 처리(Smith and Skog, 1992; Agar et al., 1995) 등이 있다. 냉각은 과실의 대사작용과 부패성 미생물의 증식을 억제하므로 저장성을 증진시키고, 고농도의 CO₂ 처리는 부패, 호흡, 에틸렌 생성을 억제시키고 과실의 경도를 유지시키거나 증진시키는 효과가 있는데(El-Kazzaz 등, 1983; Ke 등, 1991) 100%의 CO₂ 단기처리도 유사한 효과를 보인다(Ueda and Bai, 1993; Goto et al., 1996; Hwang et al., 1999).

딸기에서 CO₂ 처리 효과는 품종(Smith and Skog, 1992; Watkin et al., 1999; Matsumoto et al., 2010), CO₂ 농도와 성숙상태(Harker et al., 2000), 그리고 처리 온도와 시간 (Smith et al., 1992)에 따라 차이가 있다. CO₂ 단기처리는 수용성 펙틴을 감소시키고, 이온결합성 펙틴을 증가시키는 등 펙틴의 질적 변화를 유도한다(Matsumoto et al., 2010). Goto 등(1996)은 CO₂ 처리가 세포벽 변화를 일으키는 원

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5738

E-mail address: yshwang@cnu.ac.kr

인을 과실의 pectin methylesterase (PME) 활성이 증가하기 때문이라고 하였지만 Hwang 등(2012)은 CO₂ 처리가 PME 활성 증가를 일으키는 사실을 확인하지 못하였다. Harker 등(2000)은 CO₂ 처리가 세포벽 pH를 높여 펙틴의 재분배를 유도할 가능성을 추론하였지만 직접적인 증거는 제시하지 않았다. 고농도 CO₂ 처리는 세포벽(Hwang et al., 2012)과 세포액(Lange and Kader, 1997)의 pH를 낮추기 때문에 중성 pH 범위에서 활성이 높은 PME 효소의 활성이 CO₂ 처리로 산성화된 세포벽에서 활성이 증가할 가능성은 낮다. 한편 고농도 CO₂ 처리는 이온결합성 펙틴을 증가시키므로 CO₂ 처리가 칼슘의 세포벽으로의 이동과 결합을 촉진할 가능성이 있다.

본 연구는 우리나라에서 수출용 품종으로 널리 재배되고 있는 '매향' 딸기에서 고농도의 CO₂ 단기처리가 과실의 저장에 미치는 효과를 검토하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 과실재료

충남 부여군 홍산면 소재의 하우스 재배농가에서 대략 90% 착색된 딸기 과실을 수확하여 즉시 실험실로 수송하였다. 과실의 외형을 살펴 크기가 균일하고 상처가 없는 과실을 선별한 다음 4℃에서 1일간 냉장시키고 실험에 이용하였다.

2. CO₂ 처리 및 저장

선별한 과실은 저온챔버(60 × 64 × 121 cm)에 적재하고 CO₂를 공급하였다. 챔버 내부 공기가 모두 치환될 수 있도록 처음 20분간은 25L/분으로 가스를 공급하였고, 치환을 마친 다음에는 5L/분으로 12시간 처리하였다. 대조구 과실은 동일한 유량으로 공기를 공급하였다. 가스처리 중 과실 표면이 건조해 지는 것을 방지하기 위하여 버블러를 통한 가스를 공급하였다. 가스 처리를 마친 과실은 500 g 용량의 스틸로폼 접시에 담아 랩핑하였으며 4℃ 저온챔버에서 최대 15일까지 저장하였다.

3. 품질 분석

과실의 과피색은 Chroma meter(CR-400, Minolta,

Japan)로 과실 적도면의 L*, a*, b*를 측정하여 hue 값을 계산하였다. 경도는 texture analyzer(TMS-Pro, FMC, USA)로 조사하였는데 측정조건은 직경 3 mm flat probe를 장착하여 깊이 5 mm까지 침투시켜(이동속도 50 mm/min) 얻어진 최대하중을 Newton으로 환산하였다. 경도는 각 처리 당 20과를 임의로 선정하여 비교하였다.

가용성고형물 함량은 딸기의 과육으로부터 착즙한 과즙을 대상으로 굴절 당도계(ATAGO, Japan)로 측정하였고 각 처리 당 3반복하여 °Bx로 나타내었다. 적정 산도는 착즙한 5 mL의 과즙에 탈이온수 35 mL를 혼합한 후 0.1N NaOH으로 pH 8.3까지 적정하고 구연산으로 환산하였다.

과피 장해는 과피의 물러진 상태를 살펴 건전과는 0, 장해정도가 과피 면적의 30% 미만은 1, 50% 미만은 2, 그 이상은 3로 구분하여 지수를 부여하였고, 이를 합산한 다음, 조사한 전체 과실수로 나누어 지표로 산출하였다. 부패율은 처리 당 부패가 발생한 과실의 수를 백분율로 나타내었다. 장해와 부패율은 반복 없이 통합 표본(처리당 4 스틸로폼 접시, 500g/접시)을 대상으로 조사하였다.

4. Ethanol Insoluble Solids(EIS) 제조 및 펙틴 분석

과육 25 g에 최종농도가 80%가 되도록 ethanol을 가한 후 homogenizer(Ultra-Turrax T25, IKA-Labortechnik, Staufen, Germany)를 사용하여 1분 동안 최대속도로 마쇄하였고 마쇄물은 끓는 수조 상에서 20분 동안 가열하였다. 상온으로 식힌 마쇄물은 miracloth(CalbioChem, Lajolla, CA, USA)를 이용하여 200 mL 80% ethanol, 50 mL 100% ethanol, 50 mL 100% acetone으로 차례로 씻어 용해성분을 제거하고 잔사는 모아 상온에서 유기용매를 휘발시킨 다음 50℃에서 건조시켰다.

펙틴 추출은 Cheng과 Huber(1996)의 방법을 수정하여 실시하였다. 즉, EIS 20 mg에 25 mL의 탈이온수를 가하여 12시간 동안 상온에서 shaker를 이용하여 추출하고 원심 분리(15,000 rpm, 10분, 20℃)한 다음 상정액을 모아 수용성펙틴(Water Soluble pectin, WSP)으로 삼았다. 잔사에 20 mM EDTA(pH 6.5, 50mM Na-acatate에 용해) 25 mL를 가하여 다시 12시간 동안 상온에서 shaker를 이용하여 추출하고 전술한 바와 같이 원심 분리한 다음 상정액을 수거하여 EDTA 용해성 펙틴(chelator soluble pectin, CSP)

으로 간주하였다. 계속하여 잔사에 50 mM Na₂CO₃(20 mM NaBH₄ 포함) 25 mL를 넣고 shaker를 이용하여 12시간 추출, 원심 분리하고 상징액을 수거하고 Na₂CO₃ 용해성 펙틴(sodium carbonate soluble pectin, SCP)으로 간주하였다. 펙틴 분석은 Blumenkrantz와 Asboe-Hansen(1973)의 방법을 이용하여 520nm에서 비색 정량하였고 표준당으로는 galacturonic acid(Sigma, USA)를 이용하였다.

5. Calcium 분석

세포벽 결합 칼슘은 전술한 다량의 세포벽을 함유하고 있는 EIS를 시료로 삼아 분석하였다. 즉, EIS 10 mg을 회화로(Dongyang Science CO., Korea)를 이용하여 600°C에서 6시간 동안 회화시켰다. 회화된 시료에 0.1N HCl 10 mL를 가하여 용해시킨 다음 원자흡광분석계(AA-7000, Shimadzu, Japan)로 칼슘을 측정하였다.

6. 효소 분석

Pectate Lyase(PL) 활성은 Collmer 등(1998)의 방법에 따라 조사하였다. 과피를 제거한 5 g의 과육을 0.02M cysteine과 1% Triton X-100를 포함한 0.02M Na-Phosphate buffer(pH 7.0)를 가하여 마쇄한 후 원심분리(15,000 rpm, 15분, 2°C) 하였고 상징액을 조효소액으로 삼았다. 효소 활성은 0.05 M Tris-HCl buffer(pH 8.5)으로 용해한 1 mL 0.36%(w/v) polygalacturonic acid, 0.6 mL 4 mM CaCl₂, 1 mL 조효소, 0.4 mL 탈이온수를 넣고 분광광도계 (Optizen 2120UV, Mecasys Co. Ltd., Korea)를 이용하여 232 nm에서 흡광도를 측정하는 다음, 37°C에서 30분간 반응시킨 후 동일한 파장에서 흡광도를 다시 측정하여 흡광도 변화를 조사하여 측정하였다. 효소활성은 1 absorbance unit·min⁻¹·mg⁻¹protein으로 표시하였다. 단백질 함량은 BCA를 이용하여 측정하였다(Smith et al., 1985).

7. 통계 분석

모든 실험은 특정하지 않는 한 3반복으로 진행하였다. 통계 분석은 SPSS Software package(version 20.0) 프로그램을 이용하였고 Tukey's Multiple range test를 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

산소와 이산화탄소 농도를 조절한 controlled atmosphere(CA) 기술은 다양한 작물의 저장성 증진에 효과적인데 딸기는 산소보다는 CO₂ 처리의 효과가 커 15~20%의 CO₂ 처리할 경우 과실 경도를 증가시킨다(Smith and Skog, 1992; Watkins et al., 1999). '매향'은 CO₂ 단기처리에도 정도 증진 반응이 우수한 것으로 보고된 바 있는데(Matsumoto et al., 2010; Hwang et al., 2012) 본 연구에서도 100% CO₂를 12시간 처리 후 딸기의 경도를 측정해본 결과, CO₂ 처리구의 과실 경도가 현저하게 증가하였다(Fig. 1). 즉, 수확 당일의 과실경도는 대조구의 경우 0.89N이었고, 저장 1일에도 0.89N으로 차이가 없었지만 저장 5일에는 0.83N으로 감소하였고 저장 15일에는 29% 감소한 0.60N으로 저장 기간이 길어질수록 경도가 지속적으로 감소하였다. 반면에 100% CO₂ 처리의 경우, 수확 당일의 정도와 비교했을 때 저장 1일에는 1.53N으로 약 71.9% 증가하였으며 조사일에 따라 다소 차이가 있었으나 전 조사기간 동안 대조구보다 정도가 지속적으로 높게 유지되어 저장 15일 후에도 1.08N으로 수확 당일보다 높았다. CO₂ 처리에 의한 정도 증가는 저온으로 인한 펙틴 젤화 작용에 의한 증가(Werner and Frenkel, 1978)와 달리 장기간 유지되는데(Harker et al., 2000; Matsumoto et al., 2010) 본 실험에서도 '매향' 딸기 정도를 기준으로 판단할 때, CO₂ 처리 잔류효과가 15일 이상 유지되는 것으로 판단된다.

CO₂ 처리에 의한 정도 증진 기작을 조사하기 위하여 펙

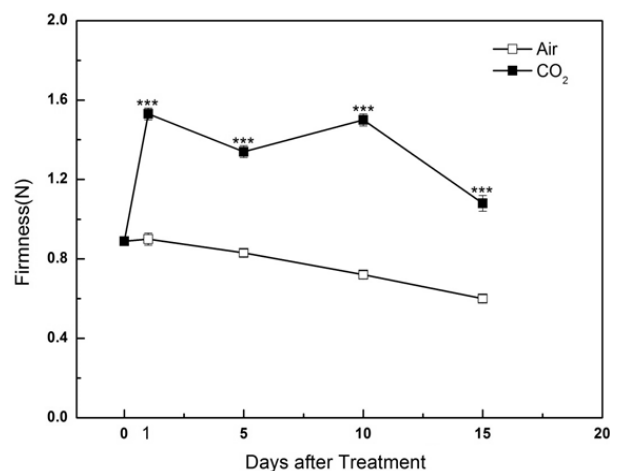


Fig. 1. Effect of short-term treatment of 100% CO₂ on the firmness of 'Maehyang' strawberry fruit during storage at 4°C. ***Significant at p<0.001.

Table 1. Effect of short-term treatment of 100% CO₂ on the content of pectic polymers of 'Maehyang' strawberry fruit during storage at 4°C.

Storage (days)	Treatment ^z	Acid sugars (µg GA·20mg ⁻¹ .EIS)		
		WSP ^y	CSP	SSP
0		91.86±4.20	52.25±3.95	76.69±1.55
1	Air	93.70±2.35	57.71±2.79	82.99±0.84
	CO ₂	75.32±5.62	86.96±5.46	106.63±7.90
5	Air	97.10±9.96	65.64±3.56	88.98±2.93
	CO ₂	70.81±3.77	69.15±1.26	93.24±0.85
10	Air	106.50±0.69	59.05±2.90	87.23±5.71
	CO ₂	65.49±1.35	78.64±2.95	94.97±2.31
15	Air	89.31±8.39	70.26±1.58	93.19±5.36
	CO ₂	68.05±1.57	70.38±4.67	88.04±3.02
Significant				
Storage (A)		NS	NS	NS
Treatment (B)		***	***	**
(A)*(B)		NS	**	**

^zFruit were exposed to air or 100% CO₂ at 4°C for 12 hrs, wrapped using styrofoam tray and stored for 15 days.

^yWSP, CSP and SSP means water soluble, chelator soluble and sodium carbonate soluble pectins, respectively.

NS,*,**,** nonsignificant or significant at P<0.05 or 0.01, 0.001, respectively.

틴의 변화를 살폈다. 기존의 연구(Matsumoto et al., 2010)와 마찬가지로 대조구 과실의 WSP는 저장 중 다소 증가하였으나 전반적으로 큰 변화가 없었고 CO₂ 처리구의 WSP는 처리 1일후부터 유의하게 감소하여 대조구의 93.70 µg GA·20mg⁻¹.EIS보다 24.4% 감소한 75.32µg GA·20mg⁻¹.EIS이었으며 이와 같은 유의한 차이가 저장 15일까지 지속되었다(Table 1). 대조구의 CSP는 수확 당일에 비하여 점증하였으나 WSP보다 변화 양상이 적었다. 반면에 CO₂ 처리의 경우, 저장 1일에 반면에 CSP는 처리 1일후에는 대조구의 57.710µg GA·20mg⁻¹.EIS에 비하여 86.960µg GA·20mg⁻¹.EIS으로 50.7% 증가되었으나 저장기간이 길어질수록 그 차이는 감소하여 저장 15일에는 처리간 차이가 없었다. SCP의 경우도 CSP와 유사한 경향을 보여주었으나 처리간 차이는 WSP보다 적었다. 저장 기간 중 가장 큰 변화를 보이는 펙틴 분획은 WSP이었으며 이는 정도 저하와 반비례적인 관계를 보여주었다(Fig. 1과 Table 1). 'Hokowase' 딸기에서 100% CO₂를 20°C에서 24시간 동안 처리하였을 때, WSP가 감소하고 CSP 증가된 것을 Goto 등(1995)이 보고하여 WSP 양적 변화와 정도 사이의 관련성을 시사한 바 있다.

한편 과실의 연화는 펙틴의 용해성 증가와 관련이 있는데 특히 세포벽 중층의 주요 구성분인 펙틴의 용해성이 증가하거나 감소하여 해부학적으로 세포사이 결합을 촉진하

는 중층이 소실되기도 한다(Redgwell et al., 1997). 그러나 딸기 과실의 성숙 진행에 따른 펙틴의 양적 변화를 조사한 연구에서 Lee 등(1998)은 성숙이 진행될수록 총 펙틴 함량에는 뚜렷한 변화가 없지만 WSP는 증가하고 CSP는 완숙기까지 증가하다 과숙기에 감소한다고 보고한 점을 고려할 때, 딸기 과실의 연화와 WSP는 밀접한 관련이 있는 것으로 보이며 연화가 진행되면서 WSP 증가가 되는 것으로 판단된다.

CSP는 칼슘이온과 결합하여 calcium pectate를 형성하므로 세포벽 결합 칼슘 농도와 관련이 있다(Hwang et al., 2012). 본 연구에서는 CO₂ 처리로 CSP 증가와 과실 경도는 밀접한 관련성을 보여주었으며 EIS와 결합한 칼슘 농도가 일정하게 높은 농도로 유지된 것은 아니지만 정도 차이가 컸던 처리 1일 및 10일후의 EIS 결합형 칼슘 농도는 CO₂ 처리구에서 유의하게 높았다(Table 2). 칼슘은 세포의 다양한 대사작용을 조절할 뿐아니라 펙틴 사이의 결합을 증대하여 세포벽을 견고하게 만드는 egg-box 모델이 제시되었는데(Morris et al., 1982), 즉 칼슘은 세포벽 중층에 주로 분포하는 펙틴 다당류의 carboxyl group과 결합하여 세포간의 결속력을 유지시키며(Reddy and Reddy, 2004; Bakshi et al., 2005), 펙틴과 칼슘의 결합이 증가되면 펙틴의 용해도가 감소하고 그로 인해 조직의 연화가 지연된다

Table 2. Effect of short-term treatment of 100% CO₂ on the EIS bound calcium content in ‘Maehyang’ strawberry fruit during storage at 4°C.

Storage (days)	Treatment ^z	Bound calcium (µg·mg ⁻¹ .EIS)
0		2.52±0.12
1	Air	2.96±0.11
	CO ₂	3.80±0.28
5	Air	3.35±0.10
	CO ₂	3.26±0.09
10	Air	3.36±0.14
	CO ₂	4.60±0.45
15	Air	4.08±0.04
	CO ₂	3.95±0.12

Significant

Storage (A)

**

Treatment (B)

**

(A)*(B)

**

^zFruit were exposed to air or 100% CO₂ at 4°C for 12 hrs, wrapped using styrofoam tray and stored for 15 days.

**Significant at P<0.01.

(Lara et al., 2004). 따라서 CO₂ 처리로 인한 경도 증가는 펙틴과 칼슘의 결합을 증가시켜 세포벽을 더욱 견고하게 해 주므로 얻어진 결과로 판단된다.

한편 딸기의 성숙과정에서 세포벽 분해효소 활성을 조사한 연구에서 Figueroa 등(2008)은 딸기는 PG 활성이 매우 낮거나 검출되지 않으며, 급격한 연화 과정에서 PG는 연화에 직접적으로 관여하는 것보다는 pectin 변화를 유도하여 다른 효소의 작용을 용이하게 만들어 주는 역할을 하는 것으로 추정하였다. 그들은 또한 연화가 빠른 칠레야생종 딸기(*Fragaria chiloensis*)에서 PG는 성숙초기에 증가하지만 성숙말기에는 활성이 낮고, 반면에 PL은 노화말기까지 지속적으로 활성이 증가한다고 하여 딸기 과실 연화에 대한 PL의 역할을 강조하였다. 본 연구에서 저장 중 과실 PL 활성을 비교한 결과(Fig. 2), 대조구의 PL 활성은 저장기간이 길어질수록 점증하여 저장 15일에는 수확 당일의 약 두 배 정도로 활성이 증가하였지만 CO₂ 처리구의 PL 활성은 처리 1일 후 처리당일 보다 현저히 낮아졌고 대조구 보다는 더욱 큰 차이를 보였다. 저장 기간 중 처리구의 PL 활성도 점차 증가하였지만 저장 15일에도 수확당일의 활성보다 낮은 수준이었다. Figueroa 등(2008)은 딸기에서 3개의 PL 유전자를 발견하였고 이들 활성이 과실이 완숙할 때까지 증가한다고 하였다. Benítez-Burraco 등(2003)은 PL 유전자 발현은 CO₂ 처리에 의하여 억제된다고 하였고 Draye

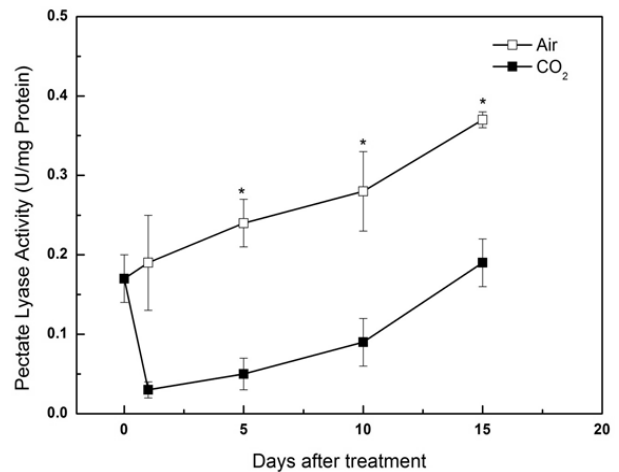


Fig. 2. Effect of short-term treatment of 100% CO₂ on pectate lyase activity of ‘Maehyang’ strawberry fruit during storage at 4°C. *Significant at p<0.05.

와 Cutsem(2008)은 딸기의 PL 유전자 발현을 억제하면 연화를 지연시킬 수 있다고 하여 과실 연화에 대한 PL의 중요성을 강조하였다. 본 연구에서 CO₂ 처리에 의하여 PL 활성이 크게 억제된 점을 고려할 때, CO₂ 처리에 의한 경도 증진은 칼슘 이동에 의한 세포벽 견고성이 증진되는 것과 세포벽 분해효소인 PL은 활성 억제로 얻어진 것으로 생각된다.

CO₂ 처리에 따른 과실 품질 변화를 조사한 결과(Table 3), 저장 1일에 대조구의 가용성 고형물 함량은 8.77 °Bx,

Table 3. Effect of short-term treatment of 100% CO₂ on the contents of soluble solid and acid in 'Maehyang' strawberry fruit during storage at 4°C.

Storage (days)	Treatment ^z	Solids (oBrix)	Acid (%)	Sugar/acid ratio
0		9.88±0.12	0.69±0.01	14.3±0.27
1	Air	8.77±0.07	0.60±0.00	14.7±0.13
	CO ₂	9.37±0.12	0.59±0.01	15.9±0.44
5	Air	9.80±0.06	0.67±0.03	14.7±0.60
	CO ₂	9.60±0.15	0.60±0.01	16.2±0.51
10	Air	9.30±0.05	0.67±0.02	13.9±0.41
	CO ₂	9.97±0.08	0.66±0.01	15.1±0.33
15	Air	8.67±0.18	0.54±0.00	16.1±0.26
	CO ₂	9.77±0.23	0.57±0.01	17.2±0.55
Significant				
Storage (A)		***	***	***
Treatment (B)		**	*	**
(A)*(B)		***	NS	NS

^zFruit were exposed to air or 100% CO₂ at 4°C for 12 hrs, wrapped using styrofoam tray and stored for 15 days.
 NS,*,**,*** nonsignificant or significant at P<0.05 or 0.01, 0.001, respectively.

Table 4. Effect of short-term treatment of 100% CO₂ on the incidence of skin injury and decay of 'Maehyang' strawberry fruit during storage at 4°C.

Disorder ^z	Storage (days)	Treatment ^y	
		Control	CO ₂
Skin Injury (Index)	5	0.11 ^x	0.07
	10	0.28	0.30
	15	0.32	0.31
Decay(%)	5	0	0
	10	1.0	1.0
	15	4.2	3.1

^zSkin injury was determined in the range from 0 (sound) to 3 (severe).

^yFruit were exposed to air or 100% CO₂ at 4°C for 12 hrs, wrapped using styrofoam tray and stored for 15 days.

^xData were collected from the pooled sample of 4 styrofoam trays (500g) without replication.

CO₂ 처리는 9.37 °Bx로 CO₂ 처리에서 대조구에 비해 약 6.84% 높았으며 저장 중에도 대체적으로 이러한 경향이 유지되었다. 적정 산 함량은 처리 간 차이가 없거나 저장기간에 따른 변화도 일정하지 않아 CO₂ 처리의 영향을 크게 받지 않는 것으로 보인다. Smith와 Skog(1992) 또한 15% CO₂ 농도에서는 딸기 과실의 가용성 고형물 함량 및 pH 수준이 영향을 받지 않는다고 하였으며 Hwang 등(1999)은 100% CO₂ 처리에서 가용성 고형물 함량은 큰 영향을 받지 않지만 적정 산의 경우 처리직후 증가하다 감소하는 경향을 보인다고 하여 이들 품질 요인은 CO₂ 처리의 영향을 크

게 받지 않을 것으로 판단된다.

Retamales 등(2003)은 고농도 CO₂ 처리는 *Botrytis cinerea*의 생장을 억제시키며 포도 과실의 부패를 억제한다고 하였고 Tian 등(2001)은 양앵두의 부패도 고농도 CO₂에 의해 억제된다고 하여 본 연구에서도 과실의 부패와 과피 무름 발생을 조사하였다. 과피의 무름 증상은 두 처리 모두 저장 5일부터 관찰되었으며 저장 기간이 길어질수록 정도가 심해졌고(Table 4) 처리 간 무름 장애 발생 정도에 있어서도 큰 차이가 보여주지 않았다. 또한 부패과는 저장 10일에 관찰되기 시작하여 15일에는 대조구의 3.1%에 비하여 처리구

는 4.2%로 처리간 차이가 뚜렷하지 않았다. 이러한 결과는 이는 수확기 과실의 성숙 상태 때문으로 추정되는데 본 연구에서는 90% 정도 착색된 완숙한 과실을 수확하였기 때문에 CO₂ 처리의 효과가 낮았던 것으로 추정된다.

이상의 결과를 종합해 보면 수확 후 고농도 CO₂ 단기 처리는 '매향' 딸기의 저장성 증진에 효과적인 것으로 평가되는데 이는 주로 과실 경도를 증가시키므로 얻어진 결과로 보인다. CO₂ 처리에 의한 과실 경도는 WSP 감소와 CSP 증가에 의한 결과이며, 한편 과실 연화를 일으키는 PL 활성을 억제시키므로 CO₂ 처리로 증가된 경도 저하를 지연시켜 주기 때문에 판단된다. 그러나 CO₂ 처리는 저장 과실의 외적 품질과 부패를 억제하지 못하여 이를 제어하기 위한 보다 구체적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 2013년 “국내 육성 딸기 신품종 재배기술 개발” 사업 지원에 의하여 수행된 연구 결과의 일부이며, 저자 중 안선은·왕무화·이아연은 논문작성에서 동일하게 기여하였습니다.

참고 문헌

- Agar T, Bangerth F, Strief J, Hyodo H. 1995. Effect of high CO₂ and controlled atmosphere concentrations on the ascorbic acid, dehydroascorbic acid and total vitamin C content of berry fruits. *Acta Horticulturae*. 398:93-100.
- Bakshi P, Masoodi F, Chauhan GS, Shah TA. 2005. Role of calcium in post-harvest life of temperate fruit: A review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 42:1-8.
- Benítez-Burraco A, Blanco-Portales R, Redondo-Nevaldo J, Bellido ML, Moyano E, Caballero JL, Muñoz-Blanco J. 2003. Cloning and characterization of two ripening-related strawberry (*Fragaria X ananassa* cv. Chandler) pectate lyase genes. *Journal of Experimental Botany* 54:633-645.
- Blumenkrantz N, Asboe-Hansen HM. 1973. New method for quantitative determination of uronic acid. *Analytical Biochemistry* 54:484-489.
- Cheng GW, Huber DJ. 1996. Alterations in structural polysaccharides during liquefaction of tomato locule tissue. *Plant Physiology* 111:447-457.
- Chung HD, Kang KY, Yun SJ, Kim BY. 1993. Effect of foliar application of calcium chloride on shelf-life and quality of strawberry fruits. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* 34:7-15. [in Korean]
- Collmer A, Ried JL, Mount MS. 1988. Assay methods for pectic enzymes. *Methods in Enzymology*. 161:329-335.
- Draye M, Van Cutsem P, 2008. Pectin methylesterases induce an abrupt increase of acid pectin during strawberry fruit ripening. *Journal of Plant Physiology* 165:1152-1160.
- El-Kazzaz MK, Somner NF, Fortkage RJ. 1983. Effect of different atmosphere on postharvest decay and quality of fresh strawberries. *Phytopathology* 73:282-285.
- Ferreira MD, Brecht JK, Sargent SA, Aracena JJ. 1994. Physiological responses of strawberry to film wrapping and precooling methods. *Proceeding for Florida State Horticultural Society* 107:265-269.
- Figueroa CR, Pimentel P, Gaete-Eastman C, Moya M, Herrera R, Caligari PDS, Moya-León MA. 2008. Softening rate of the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit reflects the expression of polygalacturonase and pectate lyase genes. *Postharvest Biology and Technology* 49:210-220.
- Goto T, Goto M, Chachin K, Iwata T. 1995. Effect of high carbon dioxide with short-term treatment on quality of strawberry fruits. *Nippon Shokushin Kagaku Kogaku Kaishi*. 42:176-182. (In Japanese with English summary)
- Goto T, Goto M, Chachin K, Iwata T. 1996. The mechanism of the increase of firmness in strawberry fruit treated with 100% CO₂. *Nippon Shokushin Kagaku Kogaku Kaishi*. 43:1158-1162.
- Harker FR, Elgar HJ, Christopher BW, Jackson PJ, Hallett IC. 2000. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biology and Technology* 19:139-146.
- Hwang YS, Kim YA, Lee WS. 1999. Effect of postharvest CO₂ application on the flesh firmness and quality in 'Nyoho' strawberries. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* 40:179-182. [in Korean]
- Hwang YS, Min JH, Kim DY, Kim JG, Huber DJ. 2012. Potential mechanism associated with strawberry fruit firmness increases mediated by elevated pCO₂. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 53:52-59.
- Ke D, Goldstein L, Omahony M, Kader AA. 1991. Effect of short term exposure to low O₂ and high CO₂ atmosphere on quality attributes of strawberries. *Journal of Food Science* 56:50-54.
- Lange DL, Kader AA. 1997. Elevated carbon dioxide exposure alters intracellular pH and energy charge in avocado fruit tissue. *Journal of American Society for Horticultural Science* 122:253-257.
- Lara I, Garcia P, Vendrell M. 2004. Modification in cell wall composition after cold storage of calcium treated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit. *Postharvest Biology Technology* 34:331-339.
- Lee KH, Kim KS, Kim MH, Shin SR, Yoon KY. 1998. Studies on the softening of strawberry during circulation and storage (1) Change of cell wall component, protein and enzymes during ripening. *Journal of Korean Society for Food Science Nutrition* 27:29-34. [in Korean]
- Matsumoto K, Hwang YS, Lee CH, Huber DJ. 2010. Changes

- of firmness and pectic polysaccharide solubility in three cultivars of strawberry fruit following short-term exposure to high pCO₂. *Journal of Food Quality*. 33:312-328.
- Morris ER, Powell DA, Gidley MJ, Rees DA. 1982. Conformations and interactions of pectins: I. Polymorphism between gel and solid states of calcium polygalacturonate. *Journal of Molecular Biology* 155:507-516.
- Nunes MCN, Brecht JK, Morais AMMB, Sargent SA. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. *Postharvest Biology and Technology* 6:17-28.
- Reddy VS, Reddy ASN. 2004. Proteomics of calcium-signaling components in plants. *Phytochemistry* 65:1745-1776.
- Redgwell RJ, MacRae E, Hallett I, Fisher M, Harker JP. 1997. In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening. *Planta* 203:162-173.
- Retamales J, Defilippi BG, Arias M, Castillo P, Manriquez D. 2003. High-CO₂ controlled atmosphere reduce decay incidence in Thompson Seedless and Red Globe table grapes. *Postharvest Biology and Technology* 29:177-182.
- Smith BJ, Gupton CL. 1993. Calcium applications before harvest affect the severity of anthracnose fruit rot of greenhouse grown strawberries. *Acta Horticulturae* 348:477-482.
- Smith PK, Krohn RI, Hermanson GT, Mallia AK, Gartener FH, Provenzano MD, Fujimoto EK, Goekel NM, Olson BJ, Klenk DC. 1985. Measurement of protein using bicinchoninic acid. *Analytical Biochemistry*. 150:76-85.
- Smith RB, Skog LJ. 1992. Postharvest carbon dioxide treatment enhances firmness of several cultivars of strawberry. *HortScience* 27:420-421.
- Tian S, Fan Q, Xu Y, Wang Y, Jian A. 2001. Evaluation of the use of high CO₂ concentrations and cold storage to control *Monilinia fructicola* on sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*. 33:53-60.
- Ueda Y, Bai JH. 1993. Effect of short-term exposure of elevated CO₂ on flesh firmness and ester production of strawberry. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* 62:457-464.
- Vicente AR, Martínez GA, Civello PM, Chaves AR. 2002. Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology* 25:59-71.
- Watkins CB, Manzano-Mendez JE, Nock JF, Zhang J, Maloney KE. 1999. Cultivar variation in response of strawberry fruit to high carbon dioxide treatments. *Journal of Food Science and Agriculture* 79: 886-890.
- Werner RA, Frenkel C. 1978. Rapid changes in the firmness of peaches as influenced by temperature. *HortScience* 13:470-471.