

## Research Report

## Controlled Atmosphere (CA) 환경설정 해제 후 저온저장이 '후지' 과실의 품질에 미치는 영향

권현중<sup>1†</sup>, 최동근<sup>2†</sup>, 이진욱<sup>3</sup>, 강인규<sup>4\*</sup><sup>1</sup>국립원예특작과학원 사과시험장<sup>2</sup>전북대학교 원예학과<sup>3</sup>미국 농무성 과수연구실<sup>4</sup>경북대학교 원예학과

## Fruit Quality Characteristics of 'Fuji' Apple Fruits in Response to Air Storage after CA Storage

Hun-Joong Kweon<sup>1†</sup>, Dong Geun Choi<sup>2†</sup>, Jinwook Lee<sup>3</sup>, and In-Kyu Kang<sup>4\*</sup><sup>1</sup>Apple Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Gunwi 716-810, Korea<sup>2</sup>Department of Horticulture Science, Chonbuk National University, Jeonju 570-752, Korea<sup>3</sup>USDA-ARS, Tree Fruit Research Laboratory, Wenatchee, WA 98801, USA<sup>4</sup>Department of Horticultural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

**Abstract:** This study aimed to evaluate the fruit quality characteristics and incidence of flesh browning in response to air storage at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$  after controlled atmosphere storage (CA condition:  $\text{O}_2$   $2.5 \pm 0.5\%$ ,  $\text{CO}_2$   $1.5 \pm 0.5\%$ ) at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$  in 'Fuji' apples (*Malus domestica* Borkh.). The storage system was performed as followed: air storage for one month, CA storage 4 months + air storage 3 months (CA 4M + Air 3M), CA storage 5 months + air storage 2 months (CA 5M + Air 2M) and CA storage 6 months + air storage 1 months (CA 6M + Air 1M), while the control fruits were stored at CA storage for 8 months right after harvest. The incidence of flesh browning ranged from 17.1% to 30.2% during CA storage but not detected under the treatments of CA 4M + Air 3M and CA 5M + Air 2M. The respiration rate was not affected by storage treatments for 6M while the respiration rate was lower in the treatments of CA 4M + Air 3M and CA 5M + Air 2M than the other storage treatments after 7 months. Ethylene production and internal ethylene concentration were lowest in rapid CA storage and increased with a decreasing CA storage duration. Therefore, the results indicate that CA 5M + Air 2M storage treatment should be recommended to maintain the fruit quality and reduce the risk development of flesh browning rather than typical CA storage in 'Fuji' apples.

**Additional key words:** ethylene, flesh browning, flesh firmness, titratable acidity

## 서 언

사과는 CA 저장(controlled atmosphere storage)이 저온저장에 비하여 신선도 유지 등 품질면에서 우수하고 저장성도 아주 뛰어나지만(Chung et al., 2006; Park et al., 2010) 국내 재배면적과 생산량의 63%를 차지하는 '후지' 사과는 CA 저

장 시 과육의 일부 조직이 갈변하는 저장장해 발생(Hwang et al., 1998a, 1998b; Kweon et al., 1998, 2013; Park and Lee, 1992; Park et al., 1997)으로 인하여 상업적으로 활성화 되지 못하고 있다. 상업적인 CA 저장은 여러 번에 나누어 과실을 출고하게 되고 또는 불가피하게 CA 환경이 해제되었을 경우에 다시 저장고 내 CA환경조성을 실시하여야 한

\*Corresponding author: kangik@knu.ac.kr

<sup>†</sup>These authors contributed equally to this work.

※ Received 17 July 2013; Revised 13 October 2013; Accepted 19 November 2013. 본 연구는 농촌진흥청 연구개발지원금에 의해 수행되었음.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

다. 그러나 해제된 CA 환경을 다시 설정한다는 것은 비용적인 측면이나 CA 저장고 운영상에 있어 어려운 점도 있지만 재설정에 따른 저산소 및 고이산화탄소 농도가 사과와 내부갈변을 일으킬 수 있다(Kweon et al., 1998; Park et al., 1997). 일반적으로 사과에서 과실내부의 밀병(watercore) 발생이 많으면 CA 저장 시 내부갈변장해가 증가하게 되지만(Argenta et al., 2000, 2002; Fukuda, 1984; Hwang et al., 1998a, 1998b; Park et al., 1997), CA 저장 전에 일정기간 저온저장을 실시하면 과실 내부갈변장해를 감소시키는데 효과가 있다(Hwang et al., 1998a, 1998b; Kweon et al., 2013). 그러나 국내에서 생산되는 ‘후지’ 사과는 밀병 발생이 많은 특징이 있어 CA 저장 시 내부갈변을 방지하는 데는 한계가 있어 CA저장을 실용화하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 ‘후지’ 사과를 CA 저장한 후 환경설정 해제 기간을 달리한 다음 저온저장처리기간이 과실품질에 미치는 영향을 조사함으로써 국내 실정에 맞는 CA 저장기술을 개발하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 시험은 경북 안동의 농가에서 ‘후지(*Malus domestica* Borkh.)’ 8년생 나무를 대상으로 관행 수확기인 10월 20일에 수확하여 시험재료로 사용하였다.

### 과실 저장처리

수확한 과실은 1개월간  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ 인 저온저장고에 저장한 후 CA 저장을 실시하였다. 저장은 CA 저장 4개월 + 저온저장 3개월(CA 4M + Air 3M), CA 저장 5개월 + 저온저장 2개월(CA 5M + Air 2M), CA 저장 6개월 + 저온저장 1개월(CA 6M+Air 1M) 등 3개 처리로 8개월간 저장하였고, 대조구로는 수확 즉시 실시하는 CA 저장(CA)을 실시하였다. CA 저장 환경조건은 온도는  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ , 산소는  $2.5 \pm 0.5\%$ , 이산화탄소는  $1.5 \pm 0.5\%$ 로 설정하였다.

### 호흡량 및 에틸렌 발생량

호흡량과 에틸렌 발생량을 조사하기 전에 과실을 1일 전에 저장고에서 꺼내어 실온( $25^\circ\text{C}$ )에서 평형을 시킨 후 측정하였다. 호흡량과 에틸렌 발생량은 1.6L 밀폐용기에 한 개의 과실을 넣어 5반복으로 항온기( $25^\circ\text{C}$ )에서 1시간 방

치한 후 head space에서 1mL의 gas 시료를 채취하여 TCD (thermal conductivity detector)와 FID(flame ionization detector)를 장착한 gas chromatography(HP 6890, USA)로 분석하였다. Gas chromatography의 분석 조건은 Porapak Q(80/100 2m, Youngin Frontier, Korea) column을 이용하여 oven temperature  $70^\circ\text{C}$ , detector temperature  $200^\circ\text{C}$ , injector temperature  $100^\circ\text{C}$ 로 설정하였으며, carrier gas는 He를 사용하였고, flow rate는 분당 20mL로 하였다. Internal ethylene은 1개의 과실을 1반복으로 하여 5개의 과실을 대상으로 1mL 주사기를 꽃받침 부위에 삽입하여 과실 내 gas 1mL를 채취하여 위와 동일한 방법으로 분석하였다.

### 과실 품질특성

과실 경도는 직경 8mm plunger를 장착한 물성분석기(Texture Analyzer, Model TA. XT2, England)를 사용하여 과실 적도면에 과피를 제거한 후 과실당 3회 측정된 값을 평균하여 Newton(N)으로 나타내었다. 가용성고형물 함량은 과실을 착즙하여 디지털 굴절 당도계(ATAGO, PR-101, Japan)로, 산 함량은 과즙 2mL에 증류수 5mL를 희석하여 0.1N NaOH로 적정한 후 사과산으로 환산하여 표시하였다. 과실의 착색 정도는 색차계(Konica minolta CR-400, Japan)를 이용하여 과실 당 적도부의 3곳을 측정하여 Hunter a값을 평균값으로 나타내었다.

### 저장장해 발생률

과실의 적도부를 횡단면으로 절단하여 갈변된 과실을 조사과실에 대한 백분율로 나타내었다.

### 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 Duncan 다중범위검정으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 과실내부갈변 발생 정도

CA 저장 후 저온저장처리에 따른 과실의 내부갈변 증상을 보면(Table 1), 대조구인 수확 직후 CA 저장처리구는 4개월 후에 17.1%로 시작하여 저장 7개월 후에는 30.2%로 매우 높은 발생을 보였다. 그러나 CA 저장 4개월 + 저온저장 3개월(CA 4M + Air 3M) 처리구와 CA 저장 5개월 +

**Table 1.** The incidence of flesh browning in 'Fuji' apples stored at CA storage (CA) with  $2.5 \pm 0.5\%$   $O_2$  and  $1.5 \pm 0.5\%$   $CO_2$  at  $0 \pm 1^\circ C$  and subsequent air storage (Air) at  $0 \pm 1^\circ C$ .

Treatment <sup>z</sup>	Incidence of flesh browning (%)			
	Storage duration (months)			
	4	5	6	7
CA	17.1 a <sup>x</sup>	22.0 a	26.5 a	30.2 a
CA 4M + Air 3M <sup>y</sup>	0.0 b	0.0 b	0.0 c	0.0 c
CA 5M + Air 2M	-	0.0 b	0.0 c	0.0 c
CA 6M + Air 1M	-	-	10.0 b	10.0 b

<sup>z</sup>Fruits were stored for 1 month in air storage and then stored CA storage.

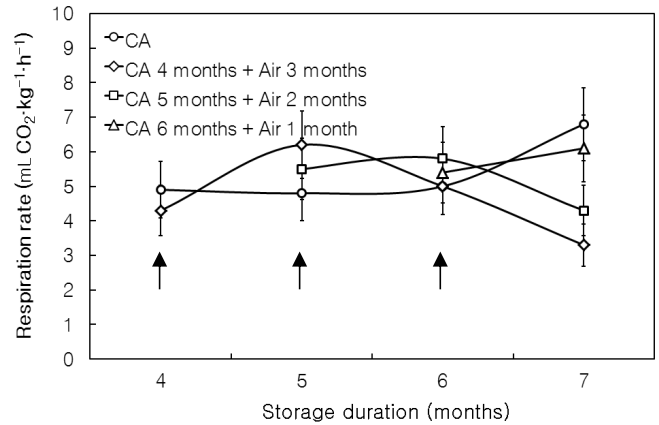
<sup>y</sup>CA 4M + Air 3M: Fruits were stored for 4 months in CA storage and then stored for 3 months in air storage at  $0 \pm 1^\circ C$ .

<sup>x</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

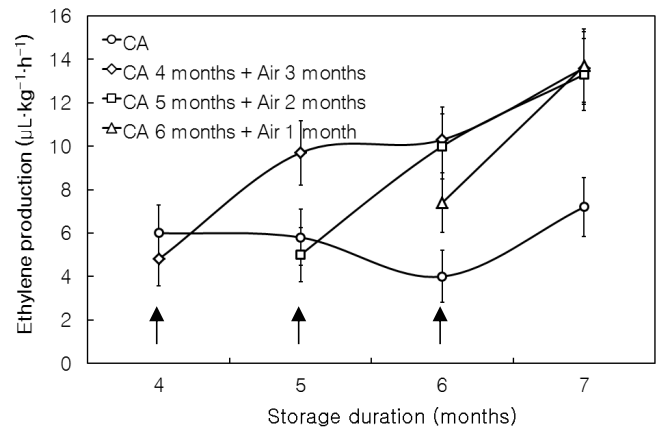
저온저장 2개월(CA 5M + Air 2M) 처리구는 과실 내부갈변 증상이 전혀 나타나지 않았고, CA 저장 6개월 + 저온저장 1개월(CA 6M + Air 1M) 처리구는 저장 7개월 후에 10% 내부갈변증상을 보였다(Table 1). 수확 직후 CA 저장을 할 경우 사과 과실의 품질을 유지하는데 효과적이거나(Anderson and Abbott, 1975; Lau, 1983; Sharples and Munoz, 1974) 이산화탄소 장해 발생이 많아 과실내부갈변 증상이 증가하게 된다(Bramlage et al., 1977; Colgan et al., 1999; Kwoon et al., 1998). 본 결과에서도 '후지' 사과는 수확 직후 CA 저장을 하면 과실내부갈변이 저장 4개월 후부터 발생하게 되지만 저온저장 1개월을 실시하고 CA 저장을 하면 과실 내부갈변이 발생하지 않으나 CA 저장기간이 6개월을 넘어가면 내부갈변증상이 발생됨을 알 수 있었다. 이는 '후지' 사과를 CA 저장할 시 밀병 증상을 감소시키기 위하여 저온저장을 1개월 실시하고 CA 저장을 하면 내부갈변을 감소시키는 효과가 있기 때문에(Hwang et al., 1998a, 1998b; Kwoon et al., 2013) 국내에서 생산되는 '후지' 사과를 CA 저장할 때는 CA 저장 전에 반드시 저온저장 1개월을 실시하고, 또한 CA 환경설정을 5개월 이내에 해제하여 저온저장한다면 과실의 내부갈변증상을 억제할 수 있다고 판단되었다.

### 호흡량 및 에틸렌 발생량의 변화

각 처리별 호흡량의 변화를 보면(Fig. 1), 저장 6개월까지는 차이를 보이지 않았으나 저장 7개월 후에는 CA 4M + Air 3M 처리구와 CA 5M + Air 2M 처리구가 낮은 호흡량

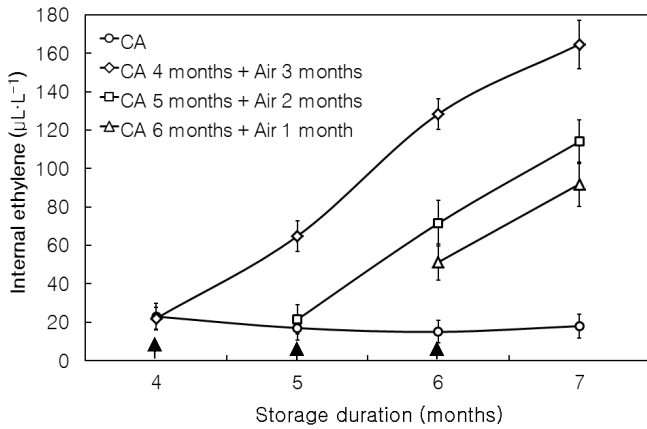


**Fig. 1.** Respiration rate of 'Fuji' apples stored at CA storage (CA) with  $2.5 \pm 0.5\%$   $O_2$  and  $1.5 \pm 0.5\%$   $CO_2$  at  $0 \pm 1^\circ C$  and subsequent air storage (Air) at  $0 \pm 1^\circ C$ . Arrows indicated time of storage environment change from CA storage to air storage. Fruits were stored for 1 month in air storage and then stored CA storage. Bars represent standard errors of the means of 5 replications.



**Fig. 2.** Ethylene production in 'Fuji' apples stored at CA storage (CA) with  $2.5 \pm 0.5\%$   $O_2$  and  $1.5 \pm 0.5\%$   $CO_2$  at  $0 \pm 1^\circ C$  and subsequent air storage (Air) at  $0 \pm 1^\circ C$ . Arrows indicated time of storage environment change from CA storage to air storage. Fruits were stored for 1 month in air storage and then stored CA storage. Bars represent standard errors of the means of 5 replications.

을 보였고, 일반 CA와 CA 6M + Air 1M 처리구가 다소 높은 호흡율을 보였으나 통계적 유의성은 나타나지 않아 수확 직후 CA 저장이나 CA 저장 4, 5, 6개월 후 저온저장을 하여도 호흡량 상승에는 영향을 미치지 않았다. 에틸렌 발생량을 보면(Fig. 2), 저장기간동안 수확 직후 바로 CA 저장 처리구에서 발생량이 낮은 경향으로 특히 저장 7개월째에는  $6.8\mu L \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$  정도로 가장 낮았다. 그리고 CA 환경



**Fig. 3.** Internal ethylene concentration in 'Fuji' apples stored at CA storage (CA) with  $2.5 \pm 0.5\%$  O<sub>2</sub> and  $1.5 \pm 0.5\%$  CO<sub>2</sub> at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$  and subsequent air storage (Air) at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ . Arrows indicated time of storage environment change from CA storage to air storage. Fruits were stored for 1 month in air storage and then stored CA storage. Bars represent standard errors of the means of 5 replications.

해제기간이 짧을수록 에틸렌 발생량이 높아지는 경향을 보였으나 저장 7개월 후에는  $12\text{--}13\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  정도의 발생량을 보여 차이를 보이지 않았다. 비록 과실을 저장 중 CA 환경을 중간에 해제하는 처리가 지속적으로 CA 저장하는 것에 비하여 에틸렌 발생량이 높았으나 그 차이는 크지 않음을 알 수 있었다. 그리고 내생에틸렌 발생량도(Fig. 3) CA 환경해제기간이 짧을수록 그 발생량은 증가하여 에틸렌 발생량과 동일한 경향을 보였다. 그러나 CA 저장 처리구에 비하여 그 양적인 차이는 에틸렌 발생량보다 크게 나타났다. 사과는 수확 후 저온저장 시 저장기간이 길어질수록 호흡량과 에틸렌 발생량이 증가하게 되고(Park et al., 2011), 또한 일정기간 저온저장을 하고 CA환경설정을 지연시킨 과실들에서는 호흡량은 처리 간 차이가 없었으나, 에틸렌 발생량은 저온처리 기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보여(Biale and Young, 1981; Chung and Choi, 1999; Park and Youn, 1999; Park et al., 2011) 본 결과에서도 동일한 경향을 보여 저온저장이 CA 저장에 비하여 과실의 에틸렌 발생량을 높이는 원인임을 알 수 있었다.

### 과실 특성 변화

저장별 각 처리에 따른 과실의 경도 변화를 보면(Table 2), 일반 CA 저장의 경우 저장 4개월 후에는 31.2N이었고, 저장 7개월 후에는 29.6N으로 경도변화가 거의 없었고, 모든 CA 저장 후 저온저장처리구의 경우도 저장 7개월 후에

**Table 2.** Flesh firmness in 'Fuji' apples stored at CA storage (CA) with  $2.5 \pm 0.5\%$  O<sub>2</sub> and  $1.5 \pm 0.5\%$  CO<sub>2</sub> at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$  and subsequent air storage (Air) at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Treatment <sup>z</sup>	Flesh firmness (N/8 mm $\phi$ )			
	Storage duration (months)			
	4	5	6	7
CA	31.2 a <sup>x</sup>	30.5 a	31.5 a	29.6 a
CA 4M + Air 3M <sup>y</sup>	31.5 a	30.9 a	30.8 a	28.9 a
CA 5M + Air 2M	-	30.6 a	30.1 a	29.9 a
CA 6M + Air 1M	-	-	30.5 a	30.8 a

<sup>z</sup>Fruits were stored for 1 month in air storage and then stored CA storage.

<sup>y</sup>CA 4M + Air 3M: Fruits were stored for 4 months in CA storage and then stored for 3 months in air storage at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ .

<sup>x</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

**Table 3.** Titratable acidity in 'Fuji' apples stored at CA storage (CA) with  $2.5 \pm 0.5\%$  O<sub>2</sub> and  $1.5 \pm 0.5\%$  CO<sub>2</sub> at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$  and subsequent air storage (Air) at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Treatment <sup>z</sup>	Titratable acidity (%)			
	Storage duration (months)			
	4	5	6	7
CA	0.26 a <sup>x</sup>	0.25 a	0.23 a	0.20 a
CA 4M + Air 3M <sup>y</sup>	0.24 a	0.23 a	0.24 a	0.20 a
CA 5M + Air 2M	-	0.25 a	0.24 a	0.21 a
CA 6M + Air 1M	-	-	0.25 a	0.23 a

<sup>z</sup>Fruits were stored for 1 month in air storage and then stored CA storage.

<sup>y</sup>CA 4M + Air 3M: Fruits were stored for 4 months in CA storage and then stored for 3 months in air storage at  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ .

<sup>x</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

도 28.9-30.8N으로 일반 CA 저장 처리구와 차이가 없었다. 그리고 산 함량의 변화를 보면(Table 3), CA 저장 4개월 후에는 CA 처리구와 CA 4M + Air 3M 처리구는 0.24%와 0.26%였고, 저장 7개월 후에는 모든 처리구의 산 함량은 0.20-0.23%로 다소 감소하는 경향을 보였지만 처리 간 차이를 보이지 않았다. 따라서 일반 CA 저장에 비하여 CA 저장 4, 5, 6개월 후 저온저장처리가 과실품질 저하에 미치는 영향이 없음을 알 수 있었다. 다른 연구결과들에서도 사과 과실의 CA 저장 시 4-6주 지연 CA 저장과 일반 CA 저장 처리구들에서 과실의 경도와 산 함량에서는 차이가 없었고

(Anderson and Abbott, 1975; Argenta et al., 2000; Lau, 1983, 1998; Sharples and Munoz, 1974) 본 연구에서도 CA 저장 후 저온저장이 과실의 갈변방지 및 품질을 유지하는데 우수한 효과를 보였다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 국내의 ‘후지’ 사과는 재배 시 밀병 발생이 많아 CA 저장 시 과육의 일부 조직이 갈변하는 저장장애 발생으로 인하여 실용화되지 못하고 있어 일괄적인 CA 저장방법보다는 변형된 CA 저장기술을 개발할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서 실시한 수확 후 1개월 저온저장을 한 후 CA 저장 4개월과 5개월 정도 실시하고 그 이후로 저온저장을 할 경우 과실 내부갈변발생이 없었고, 호흡량, 과실 경도, 산 함량이 일반 CA 저장과 차이가 없이 과실품질이 유지되는 결과를 확인하였으므로 본 연구 결과가 국내에서 CA 저장방법을 개선할 수 있는 실용화 기술이라고 판단된다.

## 초 록

본 연구는 ‘후지’ 과실을 대상으로 저온저장(온도:  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ )을 1개월 처리한 후 CA 저장(CA 저장 조건:  $\text{O}_2$   $2.5 \pm 0.5\%$ ,  $\text{CO}_2$   $1.5 \pm 0.5\%$ , 온도:  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ ) 4개월 + 저온저장 3개월(CA 4M + Air 3M), CA 저장 5개월 + 저온저장 2개월(CA 5M + Air 2M), CA 저장 6개월 + 저온저장 1개월(CA 6M + Air 1M)로 처리하였고, CA 저장은 수확 후 즉시 처리한 다음 저장기간에 따라 과실 내부갈변증상과 과실품질에 미치는 영향을 조사하였다.

과실의 내부갈변 증상은 일반 CA 저장에서는 저장 4개월 후에 17.1%로 시작하여 저장 7개월 후에는 30.2%로 매우 높은 발생을 보였다. 그러나 CA 4M + Air 3M 처리구와 CA 5M + Air 2M 처리구는 과실 내부갈변증상이 전혀 나타나지 않았다. 각 처리별 호흡량의 변화는 저장 6개월까지는 차이가 없었고, 저장 7개월 후에는 CA 4M + Air 3M 처리구와 CA 5M + Air 2M 처리구가 낮은 호흡량을 보였다. 에틸렌 및 내생 에틸렌 발생량은 일반 CA 저장에서는 가장 낮았고, CA 환경해제기간이 빠를수록 다소 높은 발생량을 보였다. 과실품질에서 처리별 경도와 산 함량의 변화를 보면 일반 CA 저장에 비하여 CA 저장 4, 5, 6개월 후 저온저장처리구에는 차이가 없었다. 따라서 과실의 저장력 향상을 위하여 지속적인 CA 저장을 하기보다는 CA 저장 5개월 후에 환경설정을 해제하고 저온저장을 유지하여도 과실 품질을 유지할 수 있었다.

**추가 주요어 :** 에틸렌, 과실내부갈변, 과실 경도, 산함량

## 인용문헌

- Anderson, R.E. and J.A. Abbott. 1975. Apple quality after storage in air, delayed CA or rapid CA. *HortScience* 10:255-257.
- Argenta, L., X. Fan, and J. Mattheis. 2000. Delaying establishment of controlled atmosphere or  $\text{CO}_2$  exposure reduces ‘Fuji’ apple  $\text{CO}_2$  injury without excessive fruit quality loss. *Postharvest Biol. Technol.* 20:221-229.
- Argenta, L., X. Fan, and J. Mattheis. 2002. Impact of watercore on gas permeance and incidence of internal disorders in ‘Fuji’ apples. *Postharvest Biol. Technol.* 24:113-122.
- Biale, J.B. and R.E. Young. 1981. Respiration and ripening in fruits-retrospect and prospect, p. 1-39. In: J. Friend and M.J.C. Rhodes (eds.). *Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables*. Academic Press, New York, NY.
- Bramlage, W.J., P.H. Bareford, G.D. Blanpied, D.H. Dewey, S. Taylor, S.W. Porritt, E.C. Loughheed, W.H. Smith, and F.S. McNicholas. 1977. Carbon dioxide treatments for ‘McIntosh’ apples before CA storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102:658-662.
- Chung, D.S., Y.P. Hong, and Y.S. Lee. 2006. Effects of modified atmosphere film packaging application and controlled atmosphere storage on changes of quality characteristics in ‘Hongro’ and ‘Gamhong’ apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:48-55.
- Chung, H.S. and J.U. Choi. 1999. Production of ethylene and carbon dioxide in apples during CA storage. *Kor. J. Food Preserv.* 6:153-160.
- Colgan, R.J., C.J. Dover, D.S. Johnson, and K. Pearson. 1999. Delay CA and oxygen at 1 kPa or less control superficial scald without  $\text{CO}_2$  injury on Bramley’s seedling apples. *Postharvest Biol. Technol.* 16:223-231.
- Fukuda, H. 1984. Relationship of watercore and calcium to the incidence of internal storage disorders of ‘Fuji’ apple fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 53:298-302.
- Hwang, Y.S., I. Kim, and J.C. Lee. 1998a. Effects of harvest maturity and storage environment on the incidence of watercore, flesh browning, and quality in ‘Fuji’ apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:569-573.
- Hwang, Y.S., Y.A. Kim, and J.C. Lee. 1998b. Effect of CA conditions on the incidence of flesh browning in water-cored ‘Fuji’ apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 16:164. (Abstr.)
- Kweon, H.J., H.Y. Kim, O.H. Ryu, and Y.M. Park. 1998. Effects of CA storage procedures and storage factors on the quality and the incidence of physiological disorders of ‘Fuji’ apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:35-39.

- Kweon, H.J., I.K. Kang, M.J. Kim, J. Lee, Y.S. Moon, C. Choi, D.G. Choi, and C.B. Watkins. 2013. Fruit maturity, controlled atmosphere delays and storage temperature affect fruit quality and incidence of storage disorders of 'Fuji' apples. *Sci. Hort.* 157:60-64.
- Lau, O.L. 1983. Storage responses of four apple cultivars to a 'rapid CA' procedure in commercial controlled-atmosphere facilities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:530-533.
- Lau, O.L. 1998. Effect of growing season, harvest maturity, waxing, low O<sub>2</sub> and elevated CO<sub>2</sub> on flesh browning disorders in 'Braeburn' apples. *Postharvest Biol. Technol.* 14:131-141.
- Park, Y.M. and S.K. Lee. 1992. Susceptibility of 'Fuji' apples to low-oxygen injury and high-carbon dioxide injury during CA storage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 33:38-43.
- Park, Y.M. and S.W. Youn. 1999. Changes in postharvest physiology in relation to the incidence of CA disorders during CA storage of 'Fuji' apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:56-60.
- Park, Y.M., H.J. Kweon, H.Y. Kim, and O.H. Ryu. 1997. Preharvest factors affecting the incidence of physiological disorders during CA storage of 'Fuji' apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:725-729.
- Park, Y.M., H.G. Park, and B.S. Lim. 2010. Effects of poststorage short-term controlled atmosphere treatment and shelf temperature on physiology and quality of cold-stored 'Fuji' apples. *Hort. Environ. Biotechnol.* 51:269-274.
- Park, Y.M., H.G. Park, and B.S. Lim. 2011. Analysis of postharvest 1-MCP treatment and CA storage effects on quality changes of 'Fuji' apples during export simulation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:224-231.
- Sharples, R.O. and G.C. Munoz. 1974. The effects of delays in the period taken to cool and establish low O<sub>2</sub> conditions on the quality of stored 'Cox's Orange Pippin' apples. *J. Hort. Sci.* 49:277-286.