

## 지연 Controlled Atmosphere(CA)저장이 저장 중 '후지' 과실의 품질에 미치는 영향

권헌중<sup>1</sup> · 최동근<sup>2†</sup> · 이진욱<sup>3</sup> · 정희영<sup>4</sup> · 정명근<sup>5</sup> · 강인규<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 사과시험장, <sup>2</sup>전북대학교 원예학과, <sup>3</sup>미국농무성 과수연구실,  
<sup>4</sup>경북대학교 응용생명과학부, <sup>5</sup>강원대학교 생약자원개발학과, <sup>6</sup>경북대학교 원예과학과

## Effects of Delayed CA Treatment on Fruit Quality of 'Fuji' Apples During Storage

Hun-Joong Kweon<sup>1</sup>, Dong Geun Choi<sup>2†</sup>, Jinwook Lee<sup>3</sup>, Hee-Young Jung<sup>4</sup>,  
Myoung-Gun Choung<sup>5</sup>, and In-Kyu Kang<sup>6\*</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>School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>5</sup>Department of Herbal Medicine Resource, Dogye Campus, Kangwon National University, Samcheok 245-907, Korea

<sup>6</sup>Department of Horticultural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

**Abstract.** This study was conducted to investigate the effect of delayed controlled atmosphere (CA) storage on fruit quality and the incidence of storage disorders during CA storage of 'Fuji' apples (*Malus x domestica* Borkh.). In the first year of experiment, 'Fuji' apples showed 40% of watercore disorder at the commercial harvest time (Oct. 22). Twenty days delayed CA storage caused to develop the incidence of flesh browning while 30 days delayed CA storage did not. In the second year of experiment, watercore was increased with delaying harvest time. As the establishment of delayed CA storage was delayed, the incidence of flesh browning increased at 10 to 30 days delayed CA storage but 40 days delayed CA storage did not have any flesh browning incidence. Respiration rate increased with extending the storage duration. Delayed CA storage reduced respiration rate but was not different compared to the rapid CA. Ethylene production rate was lower in delayed CA storage than in cold storage but higher in delayed CA storage, compared to rapid CA storage. Titratable acidity was lower in delayed CA storage as CA storage progressed. Firmness was not different between rapid CA storage and delayed CA storage after 8 months of CA storage. Therefore, the results indicate that delayed CA storage should be a promising approach to reduce the risk development of flesh browning and watercore during CA storage of 'Fuji' apples.

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

## 서 론

CA 저장(Controlled atmosphere storage)이란 저온저장을 기본으로 하여 저장고 내의 산소농도는 낮추고 이산화탄소 농도는 높여줌으로써 저장물의 호흡을 최소화시켜 품질을 유지하는 저장방법으로 일반 저온저장에 비하여 과실의 품질을 유지하는데 우수한 효과가 있다(Chung 등, 2006; Park 등, 2010). 사과는 CA 저장이 가장 많이

적용되는 과실로써 일반적으로 온도 1~3°C, 1.5% 산소와 3% 이산화탄소 조건을 많은 품종에 적용하고 있는데, 최적조건은 품종, 재배환경, 그리고 과실소질 등에 따라 달라진다(Dilley 등, 1989; Meheriuk, 1990). 하지만 우리나라 '후지' 사과는 CA 저장 시 과육의 일부 조직이 갈변하는 저장장해가 많이 발생하여(Hwang 등, 1998, 1998a; Kweon 등, 1998, 2013; Park과 Lee, 1991; Park 등, 1997) CA 저장의 실용화를 가로막는 하나의 요인으로 작용하고 있다. 이러한 갈변장해가 일어나는 원인은 조직의 세포막 조절기능이 상실되어 세포의 액포내에 축적된 페놀화합물이 액포막의 손실에 따른 polyphenol oxidase에 의한 산화현상 뿐만 아니라, 저장 중에 축적된

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

Received June 11, 2013; Revised July 5, 2013;

Accepted July 9, 2013

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

에탄올이 무기호흡 과정에서 사과 과실의 내부갈변을 일으키는 것으로 추정하고 있다(Choi, 1997; Lee 등, 2012). 또한 과실내부의 밀병(watercore) 발생정도에 따라(Argenta 등, 2000, 2002; Choi, 1997; Fukuda, 1984; Hwang 등, 1998; Park 등, 1997), 그리고 저산소 및 고이산화탄소 조건 등에서 '후지' 사과의 내부갈변을 일으키는 원인이 되고 있다(Kweon 등, 1998; Park 등, 1997). 특히, 우리나라의 '후지' 과실은 밀병 집적이 많기 때문에 CA 저장 시 과육 내부갈변의 원인으로 작용하고 있으므로 저장 전에 밀병 증상을 감소시키는 것이 내부갈변장해를 억제시키는데 효과적이라고 하였다(Hwang 등, 1998; Kweon 등, 2013). 현재 주요 사과생산국에서는 CA 저장이 실용화되어 있지만 국내에서는 CA 저장이 여러 가지 이유로 실용화되지 못하고 있어 이에 대한 기술개발이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 우리나라 '후지' 사과의 CA 저장을 실용화하기 위하여 수확시기 조만에 따른 과실반응을 알아보고 일정기간 저온저장을 실시한 후 CA 저장을 실시하는 지연 CA 처리가 과실 내부갈변증상과 과실품질에 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험재료

본 시험은 경북 군위 사과시험장 포장의 '후지'(M.9) 8년생 나무를 대상으로 1차년도에는 과실을 10월 22일에 수확하여 지연 CA(delayed CA) 효과를 분석하였고, 2차년도에는 10월 14일, 10월 20일, 10월 27일에 7일간격으로 3회에 걸쳐 과실을 각각 수확시기를 달리하여 지연 CA저장 시험재료로 사용하였다.

### 2. 과실저장

과실저장은 CA 설정시기를 수확 당일에 완료하는 급속 CA(Rapid CA)와 수확 후 저온저장하면서 10일, 20일, 30일 및 40일 후에 각각 CA 환경을 설정하는 지연 CA처리로 구분하였다. 1차년도에는 저온저장, 급속 CA와 저온저장 후 10, 20, 30일 지연 CA 처리구를, 2차년도에는 수확시기별로 급속 CA, 20, 30, 40일 지연 CA 처리를 하였다. 급속 CA 저장은 과실을 수확 후  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ 인 저온저장고에 1일간 두었다가 CA 환경을 설정하였으며, 지연 CA는  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ 인 저온저장고에 보관하다가 각각의 처리 일에 CA 환경을 설정하였다.

저온저장 조건은 온도  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ 와 상대습도 85~95%로 하였고, CA 환경조성은 온도  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도 85~95%, 산소  $2.5 \pm 0.5\%$ , 이산화탄소  $2.5 \pm 0.5\%$ 로 설정되도록 하였고 전 저장기간 동안 이 같은 농도가 유지되

도록 하였다.

### 3. 과실 품질 특성

과실 경도는 직경 8mm plunger를 장착한 물성분석기(Texture Analyzer, Model TA. XT2, England)를 사용하여 과실 적도면에 과피를 제거한 후 과실 당 3회 측정된 값을 평균하여 Newton(N)으로 나타내었다. 산 함량은 과즙 2mL에 증류수 5mL를 희석하여 0.1N NaOH로 적정한 후 사과산으로 환산하여 표시하였다.

### 4. 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 항온기에서 1시간 방치한 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 과심 내 gas 1mL를 채취하여 위와 동일한 방법으로 분석하였다.

### 5. 밀병 및 내부갈변장해 발생률

밀병은 각각 수확 시에 20개의 과실을 1반복으로 하고, 3반복 총 60개 과실의 적도부를 횡단면으로 절단하여 밀병이 발생된 과실을 전체 조사 과실에 대한 백분율로 나타내었다. 그리고 내부갈변장해 발생 정도는 밀병 발생을 조사와 동일한 방법으로 조사하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 Duncan 다중검정으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

본 연구는 우리나라 '후지' 사과의 지연 CA 조건확립을 위하여 1차 년도에는 10월 22일에 과실을 수확하여 밀병 발생율을 조사한 다음 저온저장을 각각 10일, 20일, 30일 동안 실시한 후 지연 CA 저장을 실시하였다. 2차 년도에는 수확시기를 달리하여 각각 20일, 30일, 40일 동안 저온저장을 한 다음 지연 CA 저장을 실시하여 저장 중 내부갈변장해와 과실품질에 미치는 영향을 조사하

**Table 1.** Effects of delayed CA storage on the incidences of watercore and flesh browning in ‘Fuji’ apples in first year.

CA procedure	Watercore at harvest (%)	Incidence of flesh browning (%)			
		Investigation date			
		Jan. 13	Mar. 12	May 13	Jun. 15
Rapid CA		5 b <sup>z</sup>	4 a	26 a	28 a
10 days delayed CA		23 a	5 a	26 a	26 a
20 days delayed CA	40.0	0 c	5 a	8 b	10 b
30 days delayed CA		0 c	0 b	0 c	0 c
Air storage		0 c	0 b	0 c	0 c

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, *P* = 0.05.

\*Fruits were harvested on Oct. 22.

**Table 2.** Effects of harvest maturity and delayed CA storage on the incidences of watercore and flesh browning in ‘Fuji’ apples in second year.

Harvest maturity	CA procedure	Watercore at harvest (%)	Accumulated incidence of flesh browning (%)			
			Investigation date			
			Feb. 27	Apr. 29	May 27	Jun. 26
Oct. 14	Rapid CA		13 a <sup>z</sup>	15 ab	20 a	20 a
	20 days delayed CA	8.0	0 b	0 c	22 a	22 a
	30 days delayed CA		0 b	0 c	0 c	0 c
	40 days delayed CA		0 b	0 c	0 c	0 c
Oct. 20	Rapid CA			17 a	22 a	26 a
	20 days delayed CA	35.0	0 b	0 c	23 a	23 a
	30 days delayed CA		0 b	0 c	10 b	10 b
	40 days delayed CA		0 b	0 c	0 c	0 c
Oct. 27	Rapid CA			13 a	30 a	35 a
	20 days delayed CA	48.0	0 b	12 b	30 a	30 a
	30 days delayed CA		0 b	12 b	4 bc	5 bc
	40 days delayed CA		0 b	0 c	0 c	0 c

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, *P* = 0.05.

였다.

1차 년도에 CA 저장에 따른 내부갈변장해 발생 정도를 보면(Table 1), ‘후지’ 사과를 수확하였을 때 밀병이 40% 발생하였고, 급속 CA(Rapid CA)와 10일 지연 CA 처리구에서는 저장기간이 증가할수록 내부갈변장해가 증가하였고, 저장 8개월 후에는 28%의 내부갈변장해가 발생하였다. 20일 지연 CA 처리구에서는 내부갈변장해가 10%로 다소 감소되는 경향을 보였으며, 30일 지연 CA 처리구와 저온저장처리구에서는 내부갈변장해가 발생하지 않았다. 이러한 결과는 과실의 밀병(watercore)이 CA 저장 시 내부갈변을 유발하는 주요한 원인임을 시사하고 있다(Argenta 등, 2000, 2002; Choi, 1997; Park 등, 1997). 한편 ‘후지’ 과실을 저온저장하면 저장기간이 길어질수록 과실의 밀병이 점차 감소되었고(Hwang 등, 1998; Kweon 등, 2013), 또한 저온저장 3개월이 지나면 과실내부에 밀병이 흔적만 남을 정도로 소멸되어 CA저장시 내부갈변장해를 억제시킬 수 있었다(Hwang 등, 1998)는 결과와 일치하였다.

1차년도 결과를 토대로 하여 2차 년도에는 수확시기를 달리하여 지연 CA 저장을 하였을 때 10월 14일 수확에서는(밀병 발생율 8%) 30일과 40일 지연 CA 처리구에서, 10월 20일(밀병 발생율 35%)과 10월 27일 수확(밀병 발생율 48%)에서는 40일 지연 CA 처리구에서 갈변장해가 발생하지 않았다(Table 2). 그리고 급속 CA 처리구에서는 1차년도와 2차년도 모두 수확시기에 관계없이 갈변장해 발생율이 높았다(Table 1, 2). ‘후지’ 사과를 CA 저장하였을 때 저장고 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하게 되면 과실의 내부갈변증상이 유발되고(Park 등, 1997; Kwon 등, 1998), CO<sub>2</sub>에 의한 장해는 저장 초기에 발생하므로 2~6주간의 지연 CA와 4주간의 CO<sub>2</sub> 농도 설정지연이 CO<sub>2</sub> 장해를 감소시킬 수 있다고 하였다(Argenta 등, 2000). 그리고 급속 CA 저장이 사과 품종에서 과실 품질을 유지하는데 효과적이거나(Anderson과 Abbott, 1975; Lau 등, 1983; Sharples와 Munoz, 1974) 이산화탄소 장해 발생이 많다(Bramlage 등, 1977; Colgan 등, 1999; Kwoon 등, 1998)고 하여 본 연구 결과와 일치하는 경향

을 보였다. 따라서 수확 시에 사과 과실의 내부 밀병 발생율이 낮을수록 갈변장해가 감소되며, 밀병 발생율이 다소 높더라도 CA 환경 설정을 지연시키면 저장장해 발생을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

결과적으로 '후지' 사과의 장기저장을 위해서는 밀병 발생이 낮은 시점에 수확하거나 혹은 수확시기가 늦은 경우 최소한 30일 이상 저온저장을 유지하여 밀병을 최소화한 다음 CA 환경을 설정하는 것이 CA 저장에 따른 갈변장해를 억제하는 방법임을 확인할 수 있었다.

호흡량은 저온저장 과실에서는 저장기간이 길어질수록 급격히 증가하였으나, 지연 CA 저장에서는 호흡량이 낮게 유지되었고 급속 CA 저장에 비해서 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 1). 이것은 지연 CA 저장도 수확한 과실을 바로 저온에 보관하여 초기부터 호흡이 억제되었기 때문으로 판단된다. 에틸렌과 내생에틸렌 발생량은 지연

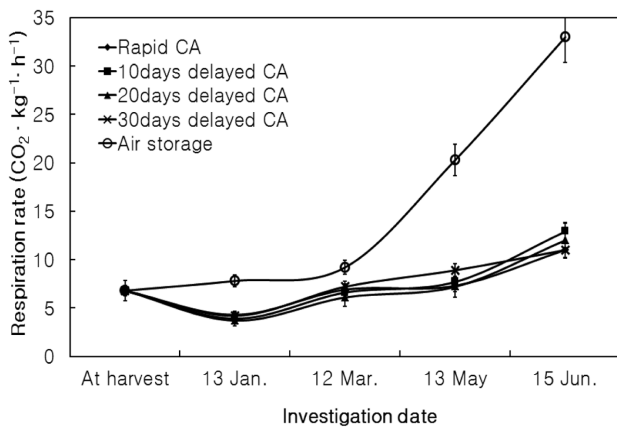


Fig. 1. Effect of delayed CA storage on the respiration rate of 'Fuji' apples in first year. Bars represent standard errors of the means of 5 replications.

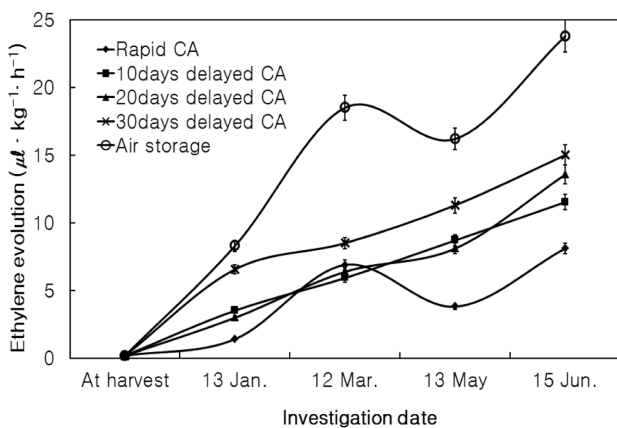


Fig. 2. Effect of delayed CA storage on ethylene evolution of 'Fuji' apples in first year. Bars represent standard errors of the means of 5 replications.

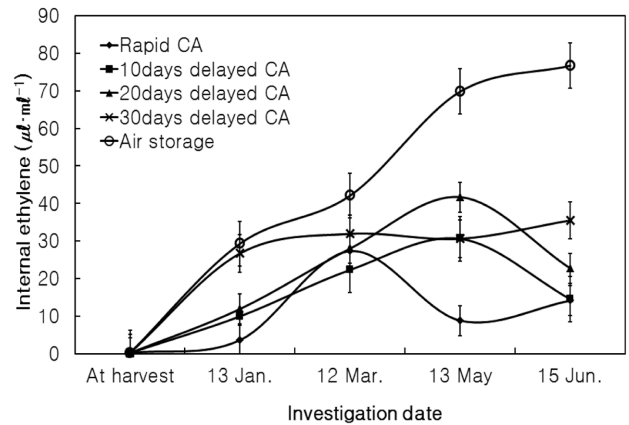


Fig. 3. Effect of delayed CA storage on internal ethylene concentration of 'Fuji' apples in first year. Bars represent standard errors of the means of 5 replications.

CA 저장 과실은 저온저장에 비해서는 감소하였으나, 급속 CA 저장에 비해서는 다소 높은 발생량을 보였다(Fig. 2, 3). 지연 CA 저장에서 에틸렌 발생량은 CA 환경 설정을 지연할수록 증가하는 결과를 보였다. 사과는 수확 후 저온저장시 저장기간이 길어질수록 호흡량과 에틸렌발생량이 증가하지만 CA 저장에서는 수확시와 비슷한 발생량을 나타낸다(Park 등, 2011). 따라서 본 결과도 저온저장시 호흡량과 에틸렌 발생량이 급격히 증가하였고, 급속 CA에서는 수확시와 비슷한 발생량을 나타내었다. 그러나 지연 CA 처리구들에서는 호흡량은 처리간 차이가 없었으나, 에틸렌 발생량은 저온처리 기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보여 기존의 보고(Biale과 Young, 1981, Chung과 Choi, 1999; Park과 Youn, 1999; Park 등, 2011)와 일치하였다.

과실품질에 미치는 영향을 보면, 지연 CA 저장은 급속 CA 저장에 비해 과실의 산 함량이 낮고 저장기간이 길어질수록 감소하였다(Table 3). 특히, 수확시기가 늦어지고 CA 설정이 늦어질수록 산 함량 감소폭이 컸다. 과실의 경도변화를 보면 저장기간이 길어질수록 다소 감소하는 경향을 보였으나 급속 CA 처리구와 지연 CA 처리구간에는 통계적 유의성이 없어 지연 CA 처리가 과실의 경도를 감소시키는 요인으로 작용하지 않았다(Table 4). 다른 연구들에서도 사과 과실에 대한 4~6주 지연 CA 저장과 일반 CA 저장 처리구들에서 높은 경도가 유지된 결과를 보고한 바(Anderson과 Abbott, 1975; Argenta 등, 2000; Lau 등, 1983, 1998; Sharples와 Munoz, 1974)있는데 본 결과에서도 과실 품질을 유지하는데 효과적이었다.

이상의 결과를 종합해 보면 CO<sub>2</sub> 장해에 대한 사과의 감수성은 수확한 후 저장 초기에 높고 저장 후기에는

**Table 3.** Effects of harvest maturity and delayed CA storage on titratable acidity of ‘Fuji’ apples in second year.

Harvest maturity	CA procedure	Titratable acidity (%)				
		Investigation date				
		At harvest	Feb. 27	Apr. 29	May 27	Jun. 26
Oct. 14	Rapid CA	0.33 a <sup>z</sup>	0.33 a	0.28 a	0.28 a	0.22 a
	20 days delayed CA		0.31 a	0.21 b	0.28 a	0.21 a
	30 days delayed CA		0.29 a	0.26 a	0.21 b	0.20 a
	40 days delayed CA		0.27 a	0.19 b	0.20 b	0.19 ab
Oct. 20	Rapid CA	0.33 a	0.26 ab	0.24 ab	0.23 b	0.18 b
	20 days delayed CA		0.24 b	0.22 b	0.23 b	0.19 ab
	30 days delayed CA		0.24 b	0.20 b	0.20 b	0.17 b
	40 days delayed CA		0.19 c	0.20 b	0.18 b	0.15 b
Oct. 27	Rapid CA	0.31 a	0.21 bc	0.21 b	0.22 b	0.23 a
	20 days delayed CA		0.19 c	0.22 b	0.22 b	0.17 b
	30 days delayed CA		0.19 c	0.21 b	0.21 b	0.16 b
	40 days delayed CA		0.18 c	0.19 b	0.21 b	0.16 b

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, *P* = 0.05.

**Table 4.** Effects of harvest maturity and delayed CA storage on flesh firmness of ‘Fuji’ apples in second year.

Harvest maturity	CA procedure	Flesh firmness (N/8 mm $\phi$ )				
		Investigation date				
		At harvest	Feb. 27	Apr. 29	May 27	Jun. 26
Oct. 14	Rapid CA	32.27 a <sup>z</sup>	32.17 a	31.38 a	29.42 a	29.32 a
	20 days delayed CA		33.34 a	31.38 a	30.70 a	28.44 a
	30 days delayed CA		32.76 a	29.52 a	29.72 a	28.93 a
	40 days delayed CA		31.48 a	29.13 a	27.56 a	27.46 a
Oct. 20	Rapid CA	31.09 a	30.50 a	29.62 a	30.79 a	28.64 a
	20 days delayed CA		30.89 a	29.13 a	28.83 a	27.85 a
	30 days delayed CA		30.89 a	28.44 a	26.48 a	26.58 a
	40 days delayed CA		31.48 a	26.58 a	25.11 a	26.18 a
Oct. 27	Rapid CA	30.89 a	31.09 a	30.21 a	29.42 a	28.44 a
	20 days delayed CA		31.09 a	30.60 a	27.85 a	28.44 a
	30 days delayed CA		31.68 a	29.22 a	27.75 a	28.15 a
	40 days delayed CA		30.70 a	28.54 a	26.87 a	26.09 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, *P* = 0.05.

고 이산화탄소에 어느 정도 내성(Argenta 등, 2002; Elgar 등, 1998)을 보이기 때문에 ‘후지’ 사과의 수확을 밀병 발생이 낮은 시기에 실시하고 또한 일정기간의 지연 CA 기간(혹은 저온저장)을 설정한다면 과실품질을 유지 하면서 저장 장해를 회피할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, ‘후지’ 사과의 CO<sub>2</sub>에 대한 감수성은 연도와 과원 및 성숙도 등에 따라 다르기 때문에(Kweon 등, 1998, 2013; Lau, 1998; Park 등, 1997) 지연기간은 과실조질을 고려하여 설정해야 할 것으로 판단된다.

### 적 요

본 연구에서는 ‘후지’ 사과의 CA 저장을 실용화하기 위하여 수확시기와 일정기간 저온저장한 후 CA 환경을

설정하는 지연 CA 처리가 저장 중 내부갈변장해와 과실품질에 미치는 영향을 조사하였다. 1차 년도에 ‘후지’ 사과를 10월 22일에 수확하였을 때 밀병 발생율이 40%였고, CA 환경 조성(O<sub>2</sub> 2.5 ± 0.5% + CO<sub>2</sub> 2.5 ± 0.5%)을 20일 지연 CA 저장하였을 때는 내부갈변이 발생하였으나, 30일 지연 CA 저장에서는 내부갈변이 발생하지 않았다. 2차 년도에는 수확시기가 늦어질수록 밀병 발생율이 높았고, 이러한 과실은 10~30일 지연 CA 처리구에서 내부갈변장해가 발생하였으나, 40일 지연 CA 처리구에서는 내부갈변장해가 발생하지 않았다. 호흡량은 저온 저장 과실에서는 저장기간이 길어질수록 급격히 증가하였으나 지연 CA 저장에서는 호흡량이 낮게 유지되었고, 급속 CA 저장에 비해서 차이를 보이지 않았다. 에틸렌 발생량은 지연 CA 저장한 과실들이 저온저장에 비해서

낮았으나, 급속 CA 저장에 비해서는 다소 높은 발생량을 보였다. 산 함량은 지연 CA 저장이 급속 CA 저장에 비해 저장기간이 길어질수록 감소하는 경향이었고, 경도는 저장 8개월 후에도 급속 CA 처리구와 지연 CA 처리구간에는 차이를 보이지 않았다.

**추가 주제어** : 밀병, 과실내부갈변, 에틸렌, 경도, 산함량

## 사 사

본 연구는 2012년 농촌진흥청 공동연구사업(PJ008451)과 2012년 경북대학교 학술연구보조지원금에 의해 수행되었음.

## Literature Cited

- 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.P. Mattheis. 2000. Delaying establishment of controlled atmosphere of CO<sub>2</sub> exposure reduces 'Fuji' apple CO<sub>2</sub> injury without excessive fruit quality loss. *Postharvest Biol. Technol.* 20:221-229.
- Argenta, L., X. Fan, and J.P. 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, and G.D. Blanpied. 1977. Carbon dioxide treatments for 'McIntosh' apples before CA storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102:658-662.
- Choi, S.J. 1997. Physiological properties related to flesh browning in 'Fuji' apple fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38: 250-254.
- Chung, D.S., Y.P. Hong, and Y.S. Lee. 2006. Effect 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(1):48-55.
- Chung, H.S. and J.U. Choi. 1999. Production of ethylene and carbon dioxide in apples during CA storage. *Kor. J. Postharvest Sci. Technol.* 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 CO<sub>2</sub> injury on 'Bramley's Seedling' apples. *Postharvest Biol. Technol.* 16:223-231.
- Dilley, D.R., E. Lange, and K. Tomala. 1989. Optimizing parameters for controlled atmosphere storage of apples. p. 1-16. In: J.K. Fellman (Editor), *Proceedings of the 5th International CA research Conference.* Wenatchee. Washington. University of Idaho Press, Moscow, Idaho.
- Elgar, H.J., D.M. Burmeister, and C.B. Watkins. 1998. Storage and handling effects on a CO<sub>2</sub>-related internal browning disorder of 'Braeburn' apple. *HortScience* 33:719-722.
- Fukuda, H. 1984. Relationship of watercore and calcium to the incidence of internal storage disorders of 'Fuji' apple fruit. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 53:298-302.
- Hwang, Y.S., I.I. Kim, and J.C. Lee. 1998. 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., J.C. Lee, and Y.A. Kim. 1998. Effect of CA conditions on the incidence of flesh browning in water-cored 'Fuji' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 16(1):164-164.
- 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 response of four apple cultivar 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.
- Lau, O.L., M. Meheriuk, and K.L. Olsen. 1983. Effects of 'rapid CA', high CO<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> treatment on storage behavior of 'Golden Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:230-233.
- Lee, J., D.R. Rudell, P.J. Davies, and C.B. Watkins. 2012. Metabolic changes in 1-methylcyclopropene-treated 'Empire' apple fruit during storage. *Metabolomics* 8:742-753.
- Meheriuk, M. 1990. Controlled atmosphere storage of apples: a survey. *Postharvest New Inf.* 1:51-54.
- Park, Y.M. and S.K. Lee. 1991. 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.* 40:56-69.
- Park, Y.M., H.J. Kweon, H.Y. Kim, and O.H. Ryu. 1997. Pre-harvest 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. Effect of poststorage short-term controlled atmosphere treatment and shelf

- temperature on physiology and quality of cold-stored 'Fuji' apples. Hort. Environ. Biotechnol. 51(4):269-274.
- Park, Y.M., H.G. Park, and B.S. Lim. 2011. Analysis of post-harvest 1-MCP treatment and CA storage effects on quality changes of 'Fuji' apples during export simulation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(3):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.