

모의 수출 '후지' 사과의 품질에 미치는 수확후 1-MCP 처리 및 CA저장 효과

박윤문^{1*} · 박효근¹ · 임병선²

¹안동대학교 식품생명공학과, ²국립원예특작과학원 과수과

Analysis of Postharvest 1-MCP Treatment and CA Storage Effects on Quality Changes of 'Fuji' Apples during Export Simulation

Youn-Moon Park^{1*}, Hyo Geun Park¹, and Byung-Sun Lim²

¹Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong 760-749, Korea

²Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

Abstract. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and controlled atmosphere (CA) storage was analyzed for the export quality of 'Fuji' apples after 8-month storage. Apples were harvested from two orchards located in different regions at relatively late stage of maturity for long-term storage. Fruit were treated with 1 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP and then stored in 0°C air or CA with 1.5 kPa O₂ and < 1.0 kPa CO₂ for 8 months. To simulate poststorage export process such as 2-week refrigerated container shipment plus 7-day local distribution, fruit were put in 0°C air storage for additional two weeks and then on the shelf for 7 days at 20°C. Both the 1-MCP treatment and CA storage reduced respiration and ethylene evolution after storage and shipping simulation, and successfully maintained titratable acidity and flesh firmness even after the export process. In 'Fuji' apples harvested after adequate stage of maturity for long-term storage, however, 1-MCP treatment alone seemed not to be satisfactory for the maintenance of sensorial fruit texture for export market. CA storage or 1-MCP treatment/CA storage combination program should be applied for lately harvested 'Fuji' apples exported after eight months storage.

Additional key words: ethylene evolution, flesh firmness, internal browning, *Malus domestica*, respiration, texture

서 언

사과는 현재 '후지' 품종이 주로 대만 등 동남아시아 국가에 수출되고 있는데 앞으로 수출대상국의 확대, 품종의 다양화를 통해 수출량이 점차 증가할 것으로 예측된다(Song and Kim, 2004). 그러나 저온저장 후 수출되는 '후지' 사과는 품질저하로 인해 이듬해 2월부터는 동남아 국가로의 수출이 매우 제한적으로 이루어지고 있다. 또한 일본 사과에 비해 인지도와 가격이 많이 떨어지는데 그 원인 역시 우리나라 사과의 품질이 낮은 것으로 인식되고 있기 때문이다(Song and Kim, 2004). 따라서 국내 사과의 수출시장 확대를 위해서는 조, 중생종 사과의 수출 모델을 개발하고 '후지' 사과의 고품질을 유지하면서 수출기간을 연장하는 수확 후 품질관리기술 적용체계가 필요하다.

사과를 비롯한 과일의 수확후 품질은 크게 수확 시 성숙도, 수확후 처리기술, 저장기술 및 유통환경에 따라 결정된다. 이 중 사과의 품질을 유지하기 위해 적용하는 보편적인 기술로서는 크게 수확후 처리기술의 하나인 1-methylcyclopropene(1-MCP) 적용과 저장기술로서 controlled atmosphere(CA)저장을 들 수 있다.

에틸렌 작용억제제인 1-MCP 처리는 바나나, 사과, 토마토, 자두 등 호흡급등형 과일에 있어 성숙진행 시기를 늦추고 노화를 지연시켜 수확 후 품질변화를 억제하는 효과가 있으며, 처리 후 과일에 잔류하지 않고 권장 처리농도 조건에서는 독성이 매우 낮은 것으로 인정되고 있다(Blankenship and Dole, 2003). 1-MCP 처리에 의한 사과의 품질유지 효과는 조생종과 만생종 품종에서 폭넓게 검토되었는데(Choi, 2005; Kweon et al., 2006; Lim et al., 2007, 2009; Mir et

*Corresponding author: park123@andong.ac.kr

※ Received 27 January 2011; Accepted 31 March 2011. 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

al., 2001; Park et al., 2009; Pre-Aymard et al., 2005), 효과의 정도나 최적 처리조건은 품종에 따라 다른 것으로 나타나고 있다(Watkins et al., 2000). 사과의 1-MCP 처리는 품질유지효과는 물론 생리적 장해를 경감시키는 효과도 있는 것으로 보고되고 있다(Fan et al., 1999; Watkins et al., 2000).

저장 기술의 효과는 저장 중 품질 변화는 물론 저장 후 유통품질에도 큰 영향을 미친다. 사과의 CA저장 기술은 일반 저온저장에 비해 저장기간 중 품질을 장기간 유지시키며(Lau, 1988; Park and Yoon, 2005; Park et al., 2005b, 2006; Saftner et al., 2002), 유통과정에서도 생리활성을 지속적으로 억제하여 품질저하를 지연시킨다고 하였다(Park and Yoon, 1999b; Park et al., 2006). 반면, 유통과정에서의 온도의 영향은 품종, 저장기간 및 방식 그리고 유통시장의 기상조건과 유통기간에 따라 변이가 크고(Park et al., 2010), 다른 수확후 요인에 비해서는 그 효과가 작은 것으로 평가되고 있다(Park and Yoon, 2006; Park et al., 2006).

‘후지’ 사과의 장기저장 후 수출품질을 유지하기 위해서는 수확후 처리기술이나 저장기술의 적용에 앞서 수확시기의 판단이 필요하다. 특히 장기저장을 위한 ‘후지’ 사과의 경우, 많은 연구결과를 통해 조기수확의 필요성이 제기되어 왔으나(Argenta et al., 2002; Hwang et al., 1998; Park et al., 1997), 농가에서는 과일의 착색과 당도 향상을 고려하여 이론적인 수확시기보다 늦게 수확하는 것이 보편화되어 있다. 본 연구에서는 다소 수확시기가 늦게 책정되는 현상상황을 고려하여 10월 말에 수확한 ‘후지’ 사과의 수출기간 연장을 위한 수확후 관리기술을 체계화하고자 1-MCP 처리기술과 CA저장의 효과를 분석하였다. 또한 지역 간 성숙도의 차이를 고려하여 같은 날 두 지역에서 생산된 사과를 대상으로 동일한 관리기술 적용효과를 비교검토하였다. 수출현지에서의 품질을 기준으로 수출가능 한계기간을 설정하기 위한 전제조건으로서는, 계획한 수출시기까지의 저장기간 경과 후 2주의 추가적인 저온운송기간과 수출 현지에서의 1주일 상온유통기간을 추가하여 수출과정을 모의하였다.

재료 및 방법

과일 재료 및 실험처리

‘후지’ 사과는 충북 청원지역과 경북 안동지역 과수원에서 2008년도 10월 29일에 장기저장용으로 적합한 성숙도에서 수확하였다. 수확 과일의 성숙 정도를 판단하는 기준으로 전분지수는 국내 수확후 관리기술 매뉴얼(Park et al., 2005a)에 명시된 요오드 반응 정도(미국 5점-숙성 0점)를 기

준으로 판단하였으며 밀 증상(watercore)은 과일 중간을 횡으로 절단한 후 수침증상 발현도에 따라 지수 0점 = 없음, 5점 = 50% 이상, 매우 심함의 기준에 따라 수치화하였다.

실험처리로는 수확후 처리기술로서 수확 직후 무처리 또는 $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP 처리를 수행하였고 각각의 처리에 저장 기술로서 저온저장(air) 및 O_2 1.5kPa + $\text{CO}_2 < 1.0\text{kPa}$ 의 CA 환경을 8개월간 적용하였다. 저장 후 2주간의 저온 컨테이너 수출운송은 0°C 저온저장으로, 현지 7일간의 상온유통과정은 20°C 로 설정한 캐비닛 모양의 항온기를 활용하여 모의하였다.

1-MCP 처리는 시판 1-MCP 발생제제(Smart FreshTM, 유효성분량 3.3%, Rohm and Hass, Seoul, Korea) 70mg을 사용하여 1m^3 의 밀폐형 텐트구조물 내부에 $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도를 유지하면서 20°C 에서 16시간 처리하였고 처리 중 밀폐공간 내 1-MCP의 고른 확산을 위해 밀폐순환형 공기펌프를 가동하였다. 무처리 과일 역시 동일한 조건에서 밀폐형 텐트에 16시간 치상함으로써 1-MCP 처리 시 나타날 수 있는 밀폐 환경의 영향이 같이 반영되도록 조치하였다. 저온저장과 CA 저장은 파일럿 저온저장고에서 수행하였다. CA 환경은 1.6% 산소 + 0% 이산화탄소(balance 가스, 질소) 압축 혼합가스를 하루에 4회 이상 주기적으로 1m^3 밀폐 구조물에 흘려주는 간헐적 공급방식(intermittent flow system)을 사용하여 O_2 1.4-1.6kPa + CO_2 1.0kPa 수준이 유지되도록 조성하였다. 8개월 저장기간 중 저장고 온도는 0°C 로 설정하였고 상대습도는 90% 수준을 유지하였다.

생리대사 측정

호흡속도와 에틸렌 발생률은 시간 당 발생하는 CO_2 및 C_2H_4 의 농도를 측정하여 평가하였다. 생리대사 측정은 수확 시, 저장 8개월 후, 그리고 모의 수출운송 2주 후 등 3회 조사하였으며 측정 시 과일의 온도를 20°C 로 유지하기 위해 저장 및 모의 운송 후에는 24시간 동안 온도 평형을 거쳤다. 온도 평형을 거친 과일은 가스 샘플용 septum을 부착한 1.9L의 용기에 사과를 넣고 밀폐한 후 4시간 동안 치상하였다. 가스시료 분석은 1.0mL 주사기를 이용하여 용기 내 축적된 CO_2 및 C_2H_4 농도를 측정하였다.

CO_2 농도는 thermal conductivity detector(TCD)와 Porapak Q column이 장착된 gas chromatograph(Model 600D, Young Lin Co., Seoul, Korea)를 사용하여 90°C injector, 80°C column, 및 90°C detector의 조건에서 분석하였다. C_2H_4 농도는 flame ionization detector(FID)와 Porapak Q column이 장착된 gas chromatograph(Model GC-17A, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan)를 사용하여 130°C injector, 130°C column

품질인자 분석 및 관능평가

과일의 품질은 수확 시, 저장 8개월 직후 및 모의 수출과정 경과(2주 저온 운송+7일 상온유통 기간) 후 등 3회 조사하였다. 과육경도는 직경 5mm plunger가 장착된 물성분석기(model EZ-Test/CE, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan)을 이용하여 2mm·s⁻¹의 속도로 20mm 깊이까지의 침투강도를 측정 후 10mm 깊이에서의 강도를 뉴톤(N)으로 표시하였다. 굴절당도와 적정산도는 과육을 믹서로 갈아 과즙을 취해 측정하였다. 당도는 디지털 당도계(model PAL-1, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하였고, 적정산도는 과즙 40mL를 0.1N NaOH로 pH 8.1까지 적정하여 사용된 0.1N NaOH의 양을 malic acid %로 환산하였다.

관능요인으로서 조직감 평가는 1년 이상 사과 관능조사에 참여했던 전문가 그룹 6명을 활용하여 수행하였으며, 과육의 조직감을 1-5점으로 구분하여 점수화하였다. 점수 별로는, 1점 = 과육조직이 심하게 연화되고 허벅허벅해져서 조직감이 매우 나쁨, 3점 = 과육이 다소 연화되었지만 조직감은 양호한 수준, 5점 = 사각사각한 조직감이 매우 우수한 수준 등으로 구분하였다. 저장한계기간 설정의 최저요구 조직감은 3점을 기준으로 하였다.

내부갈변 장애는 모의 수출 후 소비단계에서 조사하였으며 조사한 전체 과일 수에 대한 장애과의 비율과 발생한 과일의 피해 정도로 구분하여 평가하였다. 장애 발생 조사는 과일을 적도면을 따라 절단하여 절단면에 갈변 부위가 나타나는 여부로 판단하였으며 갈변피해 정도는 절단면적 중 갈변증상이 나타난 면적의 비율로 계산하였다.

실험설계 및 데이터 분석

실험은 2 × 2 요인분석을 전제로 설계하였고 각 처리는 과일 1개를 1반복으로 하여 6반복으로 수행하였다. 1-MCP 처리 및 CA저장의 효과분석은 이원분산분석법을 이용하였으며(SAS, 1990) 처리 평균간 유의성 검정은 Duncan의 다중검정법에 준하였다.

‘후지’ 사과의 수확 시 특성

10월 29일 평균 착색도가 50-70%인 사과를 수확한 결과, 평균당도가 두 지역 사과 모두 12.0Bx 이하로 다소 낮은 특성을 보였다(Table 1). 산함량은 안동사과가 0.36%로 청원 사과 0.26%에 비해 뚜렷하게 높았고 경도는 안동사과가 다소 높았다. 사과의 저장기간을 고려한 성숙도 지표인 전분지수는 요오드 반응도에 따라 지수 5.0(미숙과)-0.0(즉시 출하용 과일) 범위로 구분하며, ‘후지’ 사과의 경우 지수 2.0 단계를 장기저장용 과일의 성숙도로 판단하고 있다(Park et al., 2005a). 본 연구에 사용된 청원 사과와 안동 사과의 전분지수는 각각 0.3, 1.3 수준으로 두 지역 사과 모두 장기저장을 위한 수확시기보다 늦은 시점에서 수확되었고 청원 사과가 보다 성숙이 진전된 상태로 판단되었다. 밀증상(watercore)은 오히려 안동지역 사과에서 일부 관찰되었다.

호흡 및 에틸렌 대사

청원지역과 안동지역 ‘후지’ 사과의 수확 후 1-MCP 처리와 CA저장은 저장 후 및 모의 수출운송 후 호흡속도 및 에틸렌 발생을 저하시켰다(Tables 2 and 3). 1-MCP를 처리하지 않고 저온저장한 사과의 호흡속도는 수확 시와 비슷한 수준이 유지되었던데 비해 1-MCP 처리와 CA저장 사과에서는 수확 시보다 감소하는 경향을 보여 청원 사과에서는 대조구에 비해 1/3 수준 이하, 안동 사과에서는 1/2-1/3 수준이었다. 에틸렌 발생률의 경우, 무처리 저온저장 사과에서는 8개월 저장 후 또는 추가적인 2주 모의운송 후 수확 시에 비해 급상승한데 비해 1-MCP 처리 사과나 CA저장 사과에서는 수확 시에 비해 근소한 상승에 그쳤다. 이러한 결과는 1-MCP 처리가 에틸렌 발생을 감소시켜 ‘후지’ 품종의 품질 유지에 효과적이라는 연구(Lim et al., 2007)와 CA 환경이 저장기간과 저장 후 유통과정에 걸쳐 효과적으로 호흡속도와 에틸렌 생성을 억제한다는 기존의 연구결과(Park and Yoon, 2006; Park and Yoon, 1999a, 1999b)와 동일하였다. 생리대사에 미치는 CA저장의 효과는 수확 후 1-MCP 처

Table 1. Quality and metabolic characteristics of ‘Fuji’ apples at harvest in 2008.

Harvest date (region)	Instrumental quality			Physiological property			
	SSC (°Brix)	Acidity (%)	Firmness (N/5 mm Φ)	Starch index	Respiration (CO ₂ mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	Ethylene evolution (μL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	Watercore index
Oct. 29 (Cheongwon)	11.1 ± 0.5 ²	0.26 ± 0.01	15.6 ± 1.0	0.3 ± 0.2	8.4 ± 0.8	0.2 ± 0.1	0.0 ± 0.0
Oct. 29 (Andong)	11.9 ± 0.2	0.36 ± 0.01	16.0 ± 0.7	1.3 ± 0.2	9.5 ± 0.5	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.2

²Mean ± standard error (n = 6).

Table 2. Respiration rates of 'Fuji' apples from two orchards after 8-month cold storage and additional 2-week storage simulating shipping condition as influenced by postharvest 1-MCP treatment and storage method.

1-MCP ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Respiration rate (CO_2 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) at 20°C			
		Cheongwon apple		Andong apple	
		After 8-month storage	After 2-week shipping	After 8-month storage	After 2-week shipping
0	Air	9.4 a ^y	7.1 a	9.8 a	7.0 a
	CA	3.6 b	2.2 b	3.2 b	4.3 b
1	Air	3.0 b	2.2 b	3.9 b	2.5 c
	CA	2.7 b	1.6 b	3.5 b	3.2 bc
Significance					
1-MCP (M)		**	**	**	**
Storage method (S)		**	NS	**	NS
M × S		**	**	**	**

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

^{NS}, **Nonsignificant or significant at $P \leq 0.01$, respectively.

Table 3. Ethylene evolution rates of 'Fuji' apples from two orchards after 8-month cold storage and additional 2-week storage simulating shipping condition as influenced by postharvest 1-MCP treatment and storage method.

1-MCP ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Ethylene evolution (C_2H_4 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) at 20°C			
		Cheongwon apple		Andong apple	
		After 8-month storage	After 2-week shipping	After 8-month storage	After 2-week shipping
0	Air	22.0 a ^y	47.1 a	33.1 a	31.3 a
	CA	1.4 b	0.5 b	0.5 b	0.4 b
1	Air	0.3 b	0.3 b	0.3 b	0.8 b
	CA	0.2 b	0.3 b	0.2 b	1.5 b
Significance					
1-MCP (M)		**	**	**	**
Storage method (S)		**	NS	**	**
M × S		**	**	**	**

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

^{NS}, **Nonsignificant or significant at $P \leq 0.01$, respectively.

리 여부에 따라 그 정도가 큰 차이가 있었다. 즉, 8개월 저장 후와 모의운송 2주 + 현지유통 1일 후 측정된 호흡속도 및 에틸렌 발생률은 1-MCP를 처리하지 않은 사과와 경우 저온 저장에 비해 CA저장 사과에서 현저하게 낮았으나 1-MCP 처리 사과에서는 CA저장의 효과가 거의 나타나지 않았다.

품질인자 분석 및 관능평가

생리대사의 저하는 굴절당도, 적정산도, 경도 등 이화학적 특성과 조직감 유지를 가능케 하는 것으로 조사되었다.

청원지역 사과의 당도는, 무처리 후 저온저장한 사과의 경우 저장 후 및 모의 수출 후까지 수확 시와 같은 11.1°Bx 수준이었으나 CA 처리 사과는 11.5°Bx, 1-MCP 처리사과

는 12.0°Bx 이상 유지되었다(Table 4). 한편, 안동지역 사과의 경우, 장기저장 및 모의수출과정 후 측정된 사과의 당도는 처리 간 유의성이 나타나지는 않았으나 무처리 후 저온 저장한 사과는 수확 시 당도 11.9°Bx에 비해 다소 감소한데 비해 무처리 + CA저장 또는 1-MCP 처리 사과 등 나머지 처리 사과에서는 12.0°Bx 이상의 수준으로 수확 시에 비해 상승하는 경향이였다.

사과와 같이 성숙과정에서 전분이 당으로 전환되는 과일의 저장 중 굴절당도로 측정되는 가용성고형물 함량의 변화는 매우 복잡한 양상을 띠는 것으로 보고되고 있다(Park and Yoon, 2005, 2006; Park et al., 2009). 숙성 시점 이전에 수확하는 저장용 과일은 여전히 전분이 남아 있으므로 저장 중 저온

당화 현상에 의해 당도가 증가하기도 하며(Park and Yoon, 2005) 동시에 호흡에 의한 기질의 감소가 수반되므로 저장 방식에 따른 호흡속도 조절정도에 따라 증가와 감소가 다르게 나타날 수 있다. 또한 장기저장 과정에서 숙성이 진행되면 세포벽 분해에 따른 중성당의 용출로 인해 단맛과는 무관하게 굴절당도가 증가할 수 있다고 하였다(Park and Yoon, 2006). 본 연구에서 관찰된 저온저장 사과들의 당도는 변화가 없거나 조금 감소하였는데, 이는 호흡에 의한 소모가 증가 요인보다 컸기 때문으로 판단된다. 이에 비해 1-MCP 처리와 CA저장 사과에서는 수확 시 잔존한 전분의 당화로 인해 저장 후 당도가 증가한 반면(Park and Yoon, 1999a), 호흡이 극도로 억제됨으로써 당함량 소모가 최소화되어 전체적으로는 당

도의 증가로 표출된 것으로 보인다. 1-MCP 처리사과에서 관찰된 당도의 증가현상은, 1-MCP 처리가 당함량에는 영향을 미치지 않는다(Lim et al., 2007, 2009)는 보고와는 상이한 결과로서 사과의 수확시기, 저장방식 및 저장기간에 따라 가용성 고형물 함량의 변화 양상이 다르기 때문으로 해석된다.

사과의 적정산도 변화는 당도 변화와 유사한 양상을 보여 1-MCP를 처리하지 않고 저온저장한 사과에서만 수출과정 후 소비자 관능 적합수준인 0.20%(NFRI, 1985)보다 낮은 수준으로 감소하였다(Table 5). 한편, 국내 소비자 관능에 적합한 수준으로써 적정산도 0.24%(Park et al., 2006)를 적용할 때, 수출현지 유통 후까지 적정 수준을 유지한 처리로는 청원사과의 경우, 1-MCP + CA 저장 사과뿐이었으며 안

Table 4. Soluble solid content of 'Fuji' apples from two orchards after 8-month cold storage and export simulation, additional 2-week shipment + 7-day shelf life, as influenced by postharvest 1-MCP treatment and storage method.

1-MCP ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Soluble solid content (°Brix)			
		Cheongwon apple		Andong apple	
		After 8-month storage	After export simulation	After 8-month storage	After export simulation
0	Air	11.1 b ^y	11.1 a	11.8 a	11.6 a
	CA	11.5 ab	11.9 a	12.4 a	12.3 a
1	Air	12.7 a	11.9 a	12.1 a	12.5 a
	CA	12.1 ab	12.0 a	12.2 a	12.6 a
Significance					
1-MCP (M)		*	NS	NS	NS
Storage method (S)		NS	NS	NS	NS
M × S		NS	NS	NS	NS

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

^{NS}, *Nonsignificant or significant at $P \leq 0.05$, respectively.

Table 5. Titratable acidity of 'Fuji' apples from two orchards after 8-month cold storage and export simulation, additional 2-week shipment + 7-day shelf life, as influenced by postharvest 1-MCP treatment and storage method.

1-MCP ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Titratable acidity (%)			
		Cheongwon apple		Andong apple	
		After 8-month storage	After export simulation	After 8-month storage	After export simulation
0	Air	0.09 b ^y	0.07 c	0.18 c	0.11 c
	CA	0.25 a	0.22 ab	0.28 ab	0.23 ab
1	Air	0.23 a	0.19 b	0.24 b	0.20 b
	CA	0.26 a	0.24 a	0.30 a	0.30 a
Significance					
1-MCP (M)		**	**	*	**
Storage method (S)		**	**	**	**
M × S		**	**	NS	NS

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

^{NS}, *, **Nonsignificant or significant at $P \leq 0.05$ or 0.01, respectively.

동사과는 1-MCP 처리와 무관하게 CA저장 사과가 우수한 것으로 조사되었다. 1-MCP 처리와 CA저장 사과의 경우, 1-MCP 처리 + 저온저장 및 무처리 + CA저장 사과에서는 모의수출 과정 후 적정산도가 비교적 큰 폭으로 감소한데 비해 1-MCP + CA저장 사과에서는 그 변화가 매우 적었다. 특히 1-MCP 처리 후 저온저장한 사과의 경우에는 모의수출 종료 후 0.20% 수준까지 감소하면서 1-MCP 처리에만 의존 시 8개월 저장 후에는 품질한계점을 드러냄으로써 적정산도 유지에 미치는 처리 별 효과 강도는 1-MCP 처리에 비해 CA저장이 높은 것으로 평가되었다. 이러한 수확후 관리기술에 의한 적정산도의 변화 양상은, 1-MCP 처리 및 CA 저장이 호흡량과 에틸렌 발생을 저하시켜 과일의 유기산이 호흡기질

로 소모되는 것을 감소시켜 준다는 보고(Park and Yoon, 2006; Rupasinghe et al., 2000)와 일치하는 결과로 판단된다.

8개월 저장 후 및 모의수출 과정 후 ‘후지’ 사과의 경도 변화에 미치는 처리의 효과는 적정산도에서와 같은 경향으로 무처리+저온저장 사과는 11.0N 이하를 보인데 반해, 1-MCP 처리 및 CA저장 사과에서 13.0N 이상이었다(Table 6). 그 중에서도 1-MCP 처리 후 CA 저장한 사과는 모의수출 종료 후에도 14N 이상으로 높은 경도를 유지하였다.

‘후지’ 사과의 경도 특성과 종합식미를 가장 잘 반영하는 조직감 관능평가에서는(Park et al., 2006), 1-MCP 처리를 하지 않고 저온저장한 사과의 모의수출 후 조직감 지수가 2.0 이하로 떨어진 것을 제외하면 나머지 처리에서는 모두

Table 6. Flesh firmness of ‘Fuji’ apples from two orchards after 8-month cold storage and export simulation, additional 2-week shipment + 7-day shelf life, as influenced by postharvest 1-MCP treatment and storage method.

1-MCP ($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Firmness (N/5 mm Φ)			
		Cheongwon apple		Andong apple	
		After 8-month storage	After export simulation	After 8-month storage	After export simulation
0	Air	10.9 b ^y	9.9 b	11.0 b	10.3 c
	CA	13.8 a	13.5 a	13.9 a	13.4 b
1	Air	13.5 a	13.2 a	13.9 a	13.2 b
	CA	14.5 a	14.2 a	14.5 a	14.3 a
Significance					
1-MCP (M)		**	**	**	**
Storage method (S)		**	**	**	**
M × S		**	*	**	**

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at *P* = 0.05.

^{*}, ^{**}Significant at *P* ≤ 0.05 or 0.01, respectively.

Table 7. Texture rating of ‘Fuji’ apples from two orchards after 8-month cold storage and export simulation, additional 2-week shipment + 7-day shelf life, as influenced by postharvest 1-MCP treatment and storage method.

1-MCP ($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Texture rating ^y			
		Cheongwon apple		Andong apple	
		After 8-month storage	After export simulation	After 8-month storage	After export simulation
0	Air	1.7 c ^x	1.3 c	2.2 b	1.5 b
	CA	3.5 ab	3.3 ab	3.3 a	3.3 a
1	Air	3.0 ab	2.8 b	3.5 a	3.5 a
	CA	3.8 a	3.8 a	3.8 a	3.8 a
Significance					
1-MCP (M)		**	**	**	**
Storage method (S)		**	**	**	**
M × S		NS	*	NS	**

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yScore 5 = excellent; 3 = acceptable, 1 = poor.

^xMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at *P* = 0.05.

^{NS}, ^{*}, ^{**} Nonsignificant or significant at *P* ≤ 0.05 or 0.01, respectively.

Table 8. Incidence of internal browning in 'Fuji' apples after 8-month storage and export simulation, additional 2-week shipment + 7-day shelf life, as influenced by postharvest 1-MCP treatment and CA storage.

1-MCP ($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)	Storage method ^z	Incidence of internal browning ^y		% suffered area on cut surface ^x	
		Days on the shelf		Days on the shelf	
		0	7	0	7
0	Air	7/12	10/12	6.5	9.2
	CA	1/12	0/12	2.0	0.0
1	Air	0/12	1/12	0.0	2.0
	CA	0/12	0/12	0.0	0.0

^zAir, refrigerated storage at 0°C; CA, 1.5 kPa O₂ + < 1.0 kPa CO₂.

^yNumber suffered fruit/number of fruit investigated. Pooled data of apples from Cheongwon and Andong orchards.

^xAverage % injured area over total cut surface in suffered fruits.

적합판정수준인 3.0점 수준을 유지하였다(Table 7). 다만 청원사과의 경우에는 수확 후 1-MCP 처리 후 저온저장한 사과가 수출현지 유통 후에는 2.8점의 조직감을 보여 적합 수준인 3.0에는 미치지 못했는데 이는 수확 시 성숙도가 안동사과에 비해 높았기 때문인 것으로 판단되었다(Table 1).

사과의 경도와 조직감을 유지하는 수확후 관리기술로서 특히 1-MCP 처리기술이 강조되고 있는데(Mir et al., 2001; Pre-Aymard et al., 2005; Watkins, 2008), 품종에 따라서는 CA저장의 효과가 더욱 뚜렷한 것으로 보고된 바 있다(Park et al., 2009). 본 연구에서도 통계적 유의성은 없으나 단순히 수치만을 비교하면 1-MCP 처리에 비해 CA저장 사과의 경도가 다소 높은 경향이 관찰되었다. 특히 두 가지 수확후 관리기술을 병용한, 1-MCP 처리 후 CA저장 기술을 적용한 사과의 경도와 조직감은 1-MCP 또는 CA저장 단일 처리 사과에 비해 뚜렷하게 높은 경향을 보임으로서 장기저장용으로는 수확시기가 다소 늦은 사과임에도 불구하고 조직감이 우수한 것으로 평가되었다. 본 연구결과 외에도, '홍로' 사과의 저장 및 유통 후 경도와 조직감 유지에 두 기술의 상가효과가 다소 관찰되었던 보고나(Park et al., 2009), CA저장을 하면 1-MCP 처리 사과의 물리특성과 관능특성이 보다 오래 유지된다는 연구결과(Bai et al., 2005; Rupasinghe et al., 2000; Watkins et al., 2000)를 종합하여 고려한다면, 두 기술을 조합하여 '후지' 사과에 적용함으로써 보다 우수한 품질을 유지하면서 수출기간을 연장할 수 있을 것으로 기대된다.

이산화탄소 장해에 민감한 '후지' 사과의 저장-모의수출과정 후 내부갈변증상은 CA저장 사과에서 발견될 것이라는 예측과 달리 1-MCP를 처리하지 않고 8개월 간 저온저장한 사과의 과심 주변부에서 관찰되었으며 특히 상온유통 과일에서 발생률이 높은 경향을 보였다(Table 8). 1-MCP 처리는 저온저장 사과의 내부갈변 증상을 경감시키는 것으로 나타났다. 이처럼 저온저장사과에서 나타나는 내부갈변 증상은 노화성 붕괴장해(senescence breakdown)로 추정되므로(Park

et al., 2010) 8개월 이상 저장 후 수출하는 사과의 경우 품질 유지 목적은 물론 내부 갈변장해 방지를 위해서도 수확 후 1-MCP 처리나 CA저장 방식이 적용되어야 할 것이다.

청원지역과 안동지역에서 장기저장용으로는 다소 늦은 시기(10월 29일)에 수확한 사과의 수확후 1-MCP 처리와 CA저장의 효과를 종합해보면, 전분지수가 1.0 이하로 떨어지는 10월 하순에 수확한 '후지' 사과는 1-MCP 처리만으로 8개월 저장 후 수출 품질을 유지하기에는 다소 미흡한 것으로 판단되었다. 따라서 고당도와 착색도가 우수한 고품질 선호 소비자 시장을 공략하기 위해 수확시기를 다소 늦출 수밖에 없는 상황에서는, 수확 후 1-MCP 처리와 CA저장 기술을 병용하는 수확후 관리 프로그램을 경영적인 관점에서 분석할 필요가 있는 것으로 생각된다. 특히, 경도와 조직감을 품질요인으로 중시하는 나라로 수출할 때는 1-MCP와 CA저장의 병행처리에 따른 상가효과를 활용하는 대책이 필요한 것으로 보인다.

초 록

'후지' 사과의 8개월 장기저장 후 모의수출과정에서 품질에 미치는 수확 후 1-MCP 처리와 CA저장의 효과를 분석하였다. 장기저장용 성숙기로는 다소 늦은 10월 29일에 청원지역과 안동지역 두 과수원에서 수확한 사과를 $1\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 처리를 한 후 8개월 간 0°C 저온저장과 controlled atmosphere (CA) 저장을 수행하였다. 저장 후 2주 저온 컨테이너 운송과 현지유통 7일로 설정한 수출과정은 추가적인 2주 저온저장과 20°C 실온보관 방식으로 모의하였다. 1-MCP 처리 및 CA저장은 저장 및 모의운송 후 호흡과 에틸렌 발생을 억제하였고 모의 수출과정 후까지 적정 산도와 과육경도 유지에 뚜렷한 효과를 보였다. 그러나 장기저장에 적합한 성숙단계 지나 수확한 사과의 경우, 1-MCP 처리만으로는 수출 시장에서 소비자 관능을 만족시키는 조직감 유지에 충분한 효과를 거두기 어려운 것으로 평가되었다. 본 연구 결과, 수확

시기가 지연되는 '후지' 사과 8개월 이상 장기저장 후까지 수출 품질을 유지하기 위해서는 CA저장 혹은 1-MCP 처리/CA저장 병용 프로그램 적용의 필요성이 제시되었다.

추가 주요어 : 에틸렌 발생, 과육 경도, 내부갈변, *Malus domestica*, 호흡, 조직감

인용문헌

- 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.
- Bai, J., E.A. Baldwin, K.L. Goodner, J.P. Mattheis, and J.K. Brecht. 2005. Response of four apple cultivars to 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage. *HortScience* 40:1534-1538.
- Blankenship, S.M. and J.M. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28:1-25.
- Choi, S.J. 2005. Comparison of the change in quality and ethylene production between apple and peach fruits treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Kor. J. Food Preserv.* 12:511-515.
- Fan, X., J.P. Mattheis, and S.M. Blankenship. 1999. Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP. *J. Agr. Food Chem.* 47:3063-3068.
- Hwang, Y.S., 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.
- Kweon, H.J., Y.M. Park, I.K. Kang, S.J. Yang, M.Y. Park, G.S. Choi, Y.Y. Song, and J.K. Cheong. 2006. Response of early-season apple cultivars, 'Seokwang' and 'Sunhong' cultivars to 1-MCP treatment and storage temperature. *Proc. 27th Intl. Hort. Congr.*, Seoul, Korea. p. 271. (Abstr.).
- Lau, O.L. 1988. Harvest indices, dessert quality, and storability of 'Jonagold' apples in air and controlled atmosphere storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:564-569.
- Lim, B.S., S.Y. Oh, J.W. Lee, and Y.S. Hwang. 2007. Influence of 1-methylcyclopropene treatment time on the fruit quality in the 'Fuji' apple (*Malus domestica*). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:191-195.
- Lim, B.S., Y.M. Park, Y.S. Hwang, G.R. Do, and K.H. Kim. 2009. Influence of 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of 'Hongro' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:607-611.
- Mir, N.A., E. Curell, N. Khan, M. Whitaker, and R.M. Beaudry. 2001. Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:618-624.
- National Food Research Institute, Japan (NFRI). 1985. Quality evaluation of fruits. NFRI, Tsukuba, p.1.
- Park, H.G., B.S. Lim, and Y.M. Park. 2009. Effects of 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage on poststorage metabolism and quality of 'Hongro' apples. *Hort. Environ. Biotechnol.* 50:313-318.
- Park, Y.M., Y.P. Hong, and H.J. Kweon. 2005a. Postharvest technology manual. p. 10-12. Ministry for Food, Agriculture, Forest and Fisheries. National Agricultural Cooperative Federation, Korea.
- 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. and T.M. Yoon. 2005. Storage potential of 'Tsugaru' apples based on consumer acceptance after marketing simulation. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 46:176-182.
- Park, Y.M. and T.M. Yoon. 2006. Impact of storage method and shelf temperature on quality attributes and physiological metabolism of 'Fuji' apples. *Hort. Environ. Biotechnol.* 47:148-143.
- Park, Y.M., T.M. Yoon, and M.G. Hwang. 2005b. Analysis of storage method and marketing temperature effects on the storage potential of mid-season apple cultivar 'Hongwol'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:49-55.
- Park, Y.M., T.M. Yoon, and M.G. Hwang. 2006. Analysis of storage method and shelf temperature effects in determining storage potential of 'Fuji' apples based on sensory evaluation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:56-63.
- Park, Y.M. and S.W. Yoon. 1999a. Changes in postharvest physiology in relation to the incidence of CA disorders during CA storage of 'Fuji' apples as influenced by harvest maturity and storage procedures. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:56-60.
- Park, Y.M. and S.W. Yoon. 1999b. Poststorage physiology and quality changes of 'Fuji' apples as influenced by harvest maturity and storage procedures. *Food Sci. Biotechnol.* 8:30-33.
- Pre-Aymard, C., E. Fallik, A. Weksler, and S. Lurie. 2005. Sensory analysis and instrumental measurements of 'Anna' apples treated with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 36:135-142.
- Rupasinghe, H.P.V., D.P. Murr, G. Paliyath, and L. Skog. 2000. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75:271-276.
- Saftner, R.A., J.A. Abbott, W.S. Conway, C.L. Barden, and B.T. Vinyard. 2002. Instrumental and sensory quality characteristics of 'Gala' apples in response to prestorage heat, controlled atmosphere, and air storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:1006-1012.
- SAS Institute Inc. 1990. SAS user's guide. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Song, K.H. and B.M. Kim. 2004. A study on the plan for the development of export competitive power of domestic apple to Taiwan. *Korean J. Intl. Agr.* 16:310-318.
- Watkins, C.B. 2008. Overview of 1-MCP trials and uses for edible horticultural crops. *HortScience* 43:86-94.
- Watkins, C.B., J.F. Nock, and B.D. Whitaker. 2000. Response of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 19:17-32.