

수확후 1-MCP 처리, 저장 방법 및 현지 유통온도가 모의수출 ‘감홍’ 사과의 품질에 미치는 영향 분석

박윤문^{1*} · 윤태명²

¹안동대학교 식품생명공학과, ²경북대학교 원예과학과

Effects of Postharvest 1-MCP Treatment, Storage Method, and Shelf Temperature on Quality Changes of ‘Gamhong’ Apples during Export Simulation

Youn-Moon Park^{1*} and Tae-Myung Yoon²

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

²Department of Horticultural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract. Effects of postharvest 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment, controlled atmosphere (CA) storage, and shelf temperature on quality of ‘Gamhong’ apples were analyzed during export simulation. Fruits were harvested at the optimum maturity for long-term storage, treated with 1 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP for 16 hours, and then stored for 6 months under air and CA conditions at 0°C. Poststorage export procedure was performed by applying additional 2-week refrigerated storage and 7-day shelf-life test at 7 and 20°C, which simulated container shipment and local distribution, respectively. After storage and during export simulation, rates of respiration and ethylene evolution were significantly lower in 1-MCP treated and CA-stored apples. For the reduction of respiration, CA storage was more effective than 1-MCP treatment. Soluble solids content was maintained higher in 1-MCP treated apples, while titratable acidity was maintained better both in the 1-MCP treated and CA-stored apples. Effects of 1-MCP treatment and CA storage were highly significant in maintaining flesh firmness and sensory texture ratings. Additive effects from combined application of 1-MCP treatment and CA storage were occasionally observed. Shelf temperature during the local distribution simulation seemed not to significantly influence quality changes only showing limited effects on flesh firmness. Overall results suggest that storage potential of ‘Gamhong’ apples is shorter than 4 months in control fruit under refrigerated air conditions, whereas the potential can be extended to longer than 6 months by 1-MCP treatment and CA storage. Postharvest program should be provided considering the time of export, i.e. period of storage, and duration of local distribution.

Additional key words: controlled atmosphere storage, ethylene evolution, respiration rate, shelf life, texture

서 언

‘감홍’ 사과는 국립원예특작원에서 1992년 최종 선발한 국내 육성 품종으로 단맛이 강하고 육질이 치밀한 특성을 지니고 있어서 동남아 지역 수출에 적합한 품종으로 유망 시 되고 있다. 그러나 ‘감홍’ 사과의 저장력, 즉 수확 후 품질유지기간에 대한 정확한 평가가 미흡하여 수확 후 품질관리기술의 적

용 방식에 따른 수출 프로그램이 제시되지 못하고 있다.

사과의 수출산업은 수출 대상 국가 다변화를 통한 지역적인 확대와 수출기간 연장을 통해 규모를 키울 수 있으며, 이중 수출 기간의 연장은 수확후 관리기술을 최적화하여 품종이 가지고 있는 저장력을 최대화함으로써 가능하다. 사과에 적용되는 수확후 관리기술은 크게 수확시기 판정, 수확후 처리, 다양한 저장방식 및 유통환경 관리 등 4개 분야로 구

*Corresponding author: park123@andong.ac.kr

※ Received 4 June 2012; Revised 12 September 2012; Accepted 13 September 2012. 본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업 지원에 의해 수행되었음

성되며 각각의 기술 적용 여부에 따라 저장 한계기간, 즉 수출 가능기간이 달라지게 된다. 수확시기 판단은 출하 계획이 세워지면 그에 따라 결정되므로(Park et al., 2005) 선택의 여지가 좁은 반면, 수확후 처리, 저장 및 유통 기술은 계획하는 저장기간 또는 수출시기에 따라 선택적으로 활용할 수 있다.

최근 보편화되고 있는 수확후 처리기술로는 1-methylcyclopropene (1-MCP) 처리는 장기 저장을 목적으로 하는 대부분의 사과 품종에서 품질유지에 뚜렷한 효과가 입증되었다(Blankenship and Dole, 2003; Watkins, 2004). 국내에서는 특히 추석용 품종인 ‘홍로’ 사과의 품질유지와(Lim et al., 2009; Park et al., 2009a) ‘후지’ 사과의 장기저장 및 수출 프로그램 다변화를 위해 폭넓게 연구가 진행되었다(Park et al., 2011).

사과의 품질을 장기간 유지시키기 위한 저장기술로는 controlled atmosphere(CA) 방식이 오랜 기간 활용되어 왔다(Lau, 1988; Park et al., 1997, 2006). 국내 육성 품종에 대한 CA 저장 연구에서도 ‘홍로’와 ‘화홍’ 품종의 저장력 증진 효과가 보고되었는데, 저장한계기간이 저온저장에 비해 3개월 이상 연장된다고 하였다(Hong and Lee, 2003). 이에 비해 ‘감홍’ 사과의 저장 품질에 관한 연구는 다른 품종에 비해 극히 제한적이고 저장한계기간에 대한 정확한 평가가 제시되지 못하고 있다. ‘감홍’ 사과의 포장재 적용 및 CA 저장에 관한 연구에서는(Chung et al., 2005), CA 저장에 의해 16주까지 품질유지가 가능한 것으로 보고하고 있다. 그러나 ‘감홍’ 사과는 일반 저온저장에 의해서도 4개월 정도 품질유지가 가능하다는 유통업체의 의견과 다른 국내 육성 품종의 CA 저장 결과를 고려한다면, ‘감홍’ 품종에 적합한 CA 저장 기술을 적용할 경우 7개월까지 품질이 유지될 것이라는 예측이 가능하다.

유통과정에서의 온도관리 역시 원예생산물의 품질변화에 영향을 미치는 요인으로 중요하다. 특히 버섯과 같이 수확 후 생리활성이 높은 품목은 짧은 유통기간 중에도 온도차이에 따라 큰 폭의 품질차이가 나타난다(Park et al., 2009b). 이에 비해 사과는 유통온도의 영향이 비교적 적게 나타나는 것으로 평가된 바 있으나(Park and Yoon, 2006; Park et al.,

2006), 품종과 저장방법, 저장기간에 따라 그 효과는 다를 수 있다고 하였다(Park et al., 2011).

따라서 수출 가능기간 설정 프로그램이 제대로 작성되기 위해서는, 국내 유통 사과의 품질 평가와는 달리, 저장 후 운송기간과 현지 유통 기간 중 온도 조건을 추가적으로 고려하여 평가되어야 한다. 본 연구는 최근까지 저장한계기간이 설정되어 있지 않은 ‘감홍’ 사과의 수확후 1-MCP 처리, CA 저장 및 저온 유통 조건 등 3개 요인의 처리 조합에 따른 저장 후 모의 수출과정에서의 품질차이를 분석하여, 수확후 관리기술의 최적화를 통한 수출가능 한계기간을 설정하고자 수행되었다.

재료 및 방법

과일 재료 및 실험처리

경북 문경 지역에서 재배한 ‘감홍’ 사과를 국내 수확후 관리기술 매뉴얼(Park et al., 2005)에 명시된 요오드 반응 전분지수(미숙 5점 - 숙성 0점)를 기준으로 장기저장에 적합한 성숙도(전분지수 평균 2.8)에 해당하는 10월 중순에 수확하였다(Table 1). 수확 시점에서 과일 내부의 밀증상(water core)은 관찰되지 않았다.

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 + CO_2 2.5kPa의 CA 환경을 6개월간 적용하였다. 저장 후 모의 수출과정에서의 유통온도 처리로는 상온(20°C)과 저온(7°C)의 2개 구간을 설정하였다.

1-MCP 처리는, 사과를 적재한 1m^3 의 밀폐형 텐트 내부에서 미세 캡슐형 시판 발생제제(Smart FreshTM, 유효성분량 3.3%, Rohm and Hass) 70mg을 소량의 물과 섞어 반응 시킴으로써 $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도가 유지되도록 하였다. 20°C 에서 16시간 처리 과정에서는 밀폐공간 내 1-MCP의 고른 확산을 위해 순환형 공기펌프를 가동하였다. 무처리 과일 역시 동일한 조건에서 밀폐형 텐트에 16시간 치상함으로써 짧은 시간이지만 1-MCP 처리 시 나타날 수 있는 밀폐환경의 영

Table 1. Fruit quality and physiological characteristics of ‘Gamhong’ apples at harvest.

Instrumental quality			Physiological characteristics					
SSC ^z (°Bx)	Acidity (%)	Firmness (N/5mm Φ)	Starch index	Respiration (CO ₂ mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)		Ethylene evolution (μL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)		Watercore index
				at 20°C	at 7°C	at 20°C	at 7°C	
15.1 ± 0.2 ^y	0.36 ± 0.02	15.0 ± 0.1	2.8 ± 0.2	7.7 ± 0.6	2.3 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.0 ± 0.0

^zSoluble solids content.

^yMeans ± SE (n = 6).

향이 같이 반영되도록 조치하였다.

저온저장과 CA 저장은 walk-in 규모의 파일렛 저온저장고에서 수행하였다. CA 환경은 1.5kPa O₂ + 2.5kPa CO₂ (balance 가스, 질소) 압축 혼합가스를 하루에 4회 이상 주기적으로 1m³ 밀폐 구조물에 흘려주는 간헐적 공급방식(intermittent flow system)을 사용하여 O₂ 1.4-2.0kPa + CO₂ 2.5-3.0kPa 수준이 유지되도록 조성하였다. 6개월 저장기간 중 저장고 온도는 0°C로 설정하였고 상대습도는 90% 수준을 유지하였다.

저장 사과와 2주간 저온컨테이너 운송과 현지유통 7일로 설정한 수출과정은 추가적으로 0°C 저온저장고에 2주 보관하고 상온(20°C)과 저온(7°C)을 유지하는 소규모 온도조절 챔버에 7일 치상하는 것으로 모의 수행하였다.

생리대사 측정

사과의 생리대사는 수확 시, 6개월 저장 후, 모의운송 후 및 유통 후 등 4회에 걸쳐 조사하였다. 품질변화와 연관된 생리대사로서 호흡속도와 에틸렌 발생률은 수확 시에는 20°C와 7°C, 저장 및 모의 운송 직후에는 20°C, 유통 후에는 유통온도 처리를 그대로 반영한 20°C와 7°C의 온도 평형 상태에서 측정하였다. 특히 CA 저장 과일은 일반 대기 환경에서의 온도평형 과정을 거침으로써 CA 환경으로 인해 과일 내부에 높게 축적된 이산화탄소의 초기 확산이 호흡속도에 반영되는 영향을 배제하였다. 온도 평형에 도달한 과일은 가스 샘플용 septum이 부착된 1.9L의 용기에 담아 밀폐하는 이른바 정적 시스템(static state system)에 치상하였고 4시간 동안 증가한 CO₂ 및 C₂H₄의 농도를 측정 후 1kg 과일이 1시간 동안 발생시키는 양을 계산하여 각각 호흡속도 및 에틸렌 발생률을 구하였다. 가스시료는 1.0mL 주사기를 이용하여 용기 내 공기(head space)를 취하여 분석하였다.

CO₂ 농도는 thermal conductivity detector(TCD)와 Porapak Q column이 장착된 가스크로마토그래프(Model 600D, Young Lin Co., Seoul, Korea)를 사용하여 90°C injector, 80°C column, 및 90°C detector의 조건에서 분석하였다. C₂H₄ 농도는 flame ionization detector(FID)와 Porapak Q column이 장착된 가스 크로마토그래프(Model GC-17A, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan)를 사용하여 130°C injector, 130°C column 및 140°C detector의 조건에서 분석하였다.

품질인자 분석 및 관능평가

과일의 품질변화는 수확 시, 6개월 저장 직후, 2주 모의 운송 후 및 7일 모의 유통 후 등 4회에 걸쳐 이화학분석과 관능평가 방식을 병행하여 조사하였다.

이화학 품질인자로서 과육경도는 물성분석기(model EZ-Test/CE, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 직경 5mm 탐침이 2mm·s⁻¹의 속도로 20mm 과육 깊이까지 침투할 때의 저항치(penetration force)를 측정 후 10mm 깊이에서의 강도를 뉴톤(N)으로 표시하였다. 당도와 적정산도는 과일 전체를 믹서로 갈아 광목 천에 거른 과즙을 사용하여 측정하였다. 당도는 디지털 굴절당도계(model PAL-1, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하였고, 적정산도는 과즙 40mL를 0.1N NaOH로 pH 8.1까지 적정한 후 malic acid %로 환산하였다.

관능 품질로서의 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 구매의사 없음, 3점 = 과육이 다소 연화되었지만 다즙성 등 조직감은 양호한 수준, 5점 = 사각사각한 조직감이 매우 우수한 수준 등으로 구분하였다. 저장한계기간 설정의 최저 요구 조직감은 3점을 기준으로 하였다.

내부갈변 장애는 모의 수출(2주 운송 + 7일 유통) 후 최종 소비단계에서 조사하였으며 조사한 전체 과일 수에 대한 장애과의 비율(본 논문에는 상세 데이터를 제시하지 않음)을 구하여 평가하였다.

실험설계 및 데이터 분석

실험은 완전임의배치법에 준하여 2 × 2 × 2(2³) 요인분석을 전제로 설계하였고, 사과 4-6개 batch 단위를 1반복으로 하여 처리 별 4반복을 두었고 생리활성 및 품질조사는 각각 반복 별로 1개 과일을 취하여 조사하였다. 1-MCP 처리, 저장 방법 및 유통온도의 효과분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)의 3원분산분석법을 이용하였으며 (SAS, 1990) 처리 평균 간 유의성 검정은 Duncan의 다중범위검정으로 분석하였다.

결과 및 고찰

‘감홍’ 사과의 수확 시 특성

수확시 요오드 반응 지수는 장기저장에 적합한 것으로 제시된 지수 3.0에 근접하였고(Park et al., 2005), 당도는 15.1°Bx로 사과 품종 특성(Kwon, 2004)에 제시된 당도에 비해 낮았다(Table 1). 호흡속도는 20°C 평형온도에서 7.7mL·kg⁻¹·h⁻¹로 조사되어, 가을에 수확하는 사과의 평균적인 호흡속도, 8.3-13.9 mL·kg⁻¹·h⁻¹(Hardenburg et al., 1986; Watkins, 2004)보다 다소 낮은 수준이었다.

1-MCP 처리, 저장방식 및 유통온도가 생리대사에 미치는 영향의 비교 분석

1-MCP 처리와 CA 저장은 6개월 저장 및 모의 수출 과정에서의 호흡속도를 감소시켰다(Table 2). 1-MCP 처리는 저온저장 사과와 비교하여 호흡속도를 1/2 수준으로 크게 저하시키는 효과를 보였지만, CA 저장 사과에 있어서는 처리의 영향이 매우 미미하였다. 저장 방식에 따른 1-MCP 처리효과와의 차이는, CA 저장환경 자체가 저장 중 호흡을 억제하기 때문인 것으로 판단된다.

저온저장과 비교하여 6개월 CA 저장이 저장 직후의 호흡속도에 미치는 영향을 분석해 보면, 1-MCP를 처리하지 않은 사과에 있어서는 1/3 수준으로의 저하효과가 있었고 1-MCP 처리 사과에서는 1/2 수준으로의 저하효과를 보였다(Table 2). 이러한 호흡속도 저하효과는 2주 모의 운송 및 유통과정까지 지속되는 경향을 보였으나 저장 후 시간이 경과하면서 그 효과는 다소 감소하는 경향이였다. 본 실험 결과, CA 저장에 의한 호흡저하 효과는 저장 후 경과 시간에 따라 다소 변화는 있으나 1-MCP 처리에 의한 효과보다 크거나 비슷한 것으로 판단되었다.

유통온도에 따라서는 상온유통 시 호흡속도가 저온유통에 비해 3배 정도 높게 나타났다(Table 2). 13°C 온도 차이에서 호흡속도가 3배 정도 달라지는 대사변화율은 보편적으로 제시되는 원예생산물의 Q₁₀ 이론과(Kader, 1992) 비교적 일치하는 것으로 보여진다.

1-MCP 처리와 CA 저장이 저장 이후의 에틸렌 발생량 억

제에 미치는 영향은 호흡속도에서와 비슷한 경향이었고 그 저하 폭은 더욱 크게 나타났다(Table 3). 1-MCP를 처리하지 않은 저온저장 사과와 비교하여, 20°C 온도평형상태에서 측정된 에틸렌 발생량은 저장 6개월 후, 2주 모의운송 후 및 유통 후 각각 27.4, 38.2 37.0 μL·kg⁻¹·h⁻¹로서 수확 시에 비해 40 배 이상 증가되었다. 이에 비해 1-MCP 처리 또는 CA 저장을 거친 사과에서는 저장 직후는 물론 2주 모의 운송과 유통 후까지 에틸렌 발생량이 수확시점과 유사한 0.5-1.1 μL·kg⁻¹ 수준으로 유지되었다.

유통온도 역시 에틸렌 발생에 영향을 미쳐, 1-MCP를 처리하지 않은 저온저장 사과에서는 상온 유통 시 저온유통에 비해 2.7배 높았고 1-MCP를 처리하거나 CA 저장 사과에서는 2.5-7배의 차이를 보였다. 그러나 1-MCP 처리나 CA 저장 사과에서는 발생량이 매우 낮고 반복 간 오차가 비교적 크게 나타나 통계적인 유의성은 없는 것으로 분석되었다.

‘감홍’ 사과에서 관찰된, 1-MCP 처리와 CA 저장에 의한 생리대사 억제 효과는 ‘후지’ 사과(Park et al., 2011)와 ‘홍로’ 사과(Park et al., 2009a)에서 보고된 결과와 일치하고 있다. 특히 CA 저장 후 상온 유통과정까지 지속되는 호흡속도의 저하 효과는 CA 환경의 잔류효과(residual effect)로 풀이되고 있다(Park and Youn, 1999). 또한 1-MCP 처리와 CA 저장을 병행하여 적용하면 상가효과를 기대할 수 있다고 하였는데(Park et al., 2011) 본 실험에서도 호흡속도 저하에는 다소의 상가적인 효과가 나타나는 것으로 조사되었다.

Table 2. Respiration rates of ‘Gamhong’ apples during export simulation after 6-month storage as influenced by 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature.

1-MCP treatment (ppm)	Storage	Shelf temp (°C)	Respiration rate ^z (CO ₂ mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)		
			After 6 month storage	After 2 week shipping	After 7 day shelf life
0	Air	20	8.4 a ^y	12.2 a	8.1 a
		7			2.8 bc
	CA	20	2.8 c	4.7 b	3.1 bc
		7			1.0 d
1	Air	20	4.4 b	4.0 bc	3.7 b
		7			1.1 d
	CA	20	2.4 c	3.4 c	2.1 c
		7			0.8 d
Significance					
1-MCP			**	**	**
Storage			**	**	*
Shelf temp			-	-	**

^zThe rates were measured at 20°C equilibrium after storage and shipping, whereas, on the shelf, measured at each shelf temperature.

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

**Significant at P ≤ 0.05 or 0.01.

Table 3. Ethylene evolution rates of ‘Gamhong’ apples during export simulation after 6-month storage as influenced by 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature.

1-MCP treatment (ppm)	Storage	Shelf temp (°C)	Ethylene evolution ^z (C ₂ H ₄ μL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)		
			After 6 month storage	After 2 week shipping	After 7 day shelf life
0	Air	20	27.4 a ^y	38.2 a	37.0 a
		7			13.6 b
	CA	20	0.5 b	0.7 b	1.1 c
		7			0.2 c
1	Air	20	0.4 b	0.7 b	0.7 c
		7			0.1 c
	CA	20	0.2 b	0.8 b	0.5 c
		7			0.2 c
Significance					
1-MCP			**	**	**
Storage			**	**	**
Shelf temp			-	-	NS

^zThe evolution rates were measured at 20°C equilibrium after storage and shipping, whereas, on the shelf, measured at each shelf temperature.

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

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

Table 4. Soluble solids content of ‘Gamhong’ apples during export simulation after 6-month storage as influenced by 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature.

1-MCP treatment (ppm)	Storage	Shelf temp (°C)	SSC (°Bx)		
			After 6 month storage	After 2 week shipping	After 7 day shelf life
0	Air	20	16.1 a ^z	15.3 b	15.9 b
		7			15.8 b
	CA	20	16.2 a	15.9 ab	15.8 b
		7			15.7 b
1	Air	20	16.2 a	16.0 ab	16.5 ab
		7			16.2 ab
	CA	20	16.4 a	16.3 a	16.3 ab
		7			17.1 a
Significance					
1-MCP			NS	*	**
Storage			NS	NS	NS
Shelf temp			-	-	NS

^zMean 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.

1-MCP 처리, 저장방식 및 유통온도가 품질변화에 미치는 영향

‘감홍’ 사과와 당도는 수확시에 비해 6개월 저장 후 오히려 높아졌고 이후 모의 수출과정에서는 처리에 따라 감소 또는 다소 증가하는 변화를 보였다(Tables 1 and 4). 모의 수출 기간 중 당도는 처리에 따라 상이한 변화양상을 보였는데, 1-MCP를 처리하지 않은 사과에서는 다소 감소하였고, 1-MCP 처리 + 저온저장 사과에서는 큰 변화가 없었

며 1-MCP 처리 + CA 저장 사과에서는 약간 증가함으로써 유의수준에서의 차이가 있는 것으로 나타났다. 저장 방법의 효과는 유의성이 없었으며 모의 유통 온도 역시 당도 차이에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

1-MCP 처리가 사과의 저장 및 유통 후 당도에 미치는 영향은 품종과 성숙도에 따라 차이가 있는 것으로 보인다. 대체로 전분지수가 매우 낮은 시기에 수확되는 ‘홍로’ 사과

에서는 저장 직후 또는 유통 후 당도에 미치는 1-MCP 처리의 효과가 나타나지 않는데 비해(Park et al., 2009a), ‘후지’ 품종의 경우에는 성숙도에 따라 1-MCP 처리의 효과가 다르게 나타나는 것으로 조사되었다(Park et al., 2011). 이러한 연구결과를 종합해 보면, 수확시기의 성숙도가 장기저장에 적합할 경우에는 과일에 남아있는 전분의 당화 현상으로 인해 일정 저장기간이 경과한 후에 1-MCP 처리 효과가 나타나며, 수확시기가 늦은 경우에는 저장 중에도 환원당 성분의 감소와 숙성 진행에 따른 중성당 증가 등이 복합적으로 나타나면서 1-MCP 처리 효과가 당도에는 반영되지 않는 것으로 판단된다(Park and Yoon, 2006; Park and Yoon, 1999). CA 저장 또는 저온유통이 최종 소비시점의 당도에 일관된 영향을 미치지 않는 이유도 숙성과정에서 다양한 당 대사가 진행되는 데다 유통기간이 비교적 짧을 경우에는 당 성분의 변화가 적기 때문인 것으로 해석된다(Park et al., 2006, 2009a, 2010, 2011).

당도와는 달리 적정 산도는 수확후 처리기술이나 저장 방법에 따라 비교적 뚜렷한 차이를 보이는 품질 요인이다(Park and Yoon, 2006; Park et al., 2011). 본 연구에서도 ‘감홍’ 사과의 적정산도는 1-MCP 처리 유무와 저장방법에 따라 모든 조사 시점에서 고도로 유의한 차이를 보였다(Table 5). 1-MCP 처리나 CA 저장의 효과는 비슷한 것으로 분석되었으며 유통온도의 효과는 나타나지 않았다.

사과의 소비자 관능에 적합한 적정산도는 품종에 따라 다르지만, ‘후지’ 품종의 경우, 0.2% 수준으로 나타나 있다(NFRI, 1985). ‘감홍’ 사과의 소비관능에 적합한 적정산도

는 아직 제시된바 없지만 비교적 높은 당도를 고려하여 ‘후지’ 사과와 같은 수준을 적용한다면, 1-MCP 처리를 하지 않은 저온저장 ‘감홍’ 사과에서도 6개월 저장 및 모의 수출과정에서의 적정 산도가 적합수준에서 유지되는 것으로 평가되었다.

사과의 과육경도는 산함량과 마찬가지로 1-MCP 처리와 저장방법에 따른 효과가 뚜렷하게 반영되는 품질요인이다(Park and Yoon, 2006; Park et al., 2011). ‘감홍’ 사과의 경도에 미치는 1-MCP 처리와 CA 저장의 효과 역시 모든 조사 시점에서 고도의 유의성을 보였고 모의 수출과정에서의 유통온도 역시 유의 수준에서의 효과가 있었다(Table 6). 특히 6개월 저장 직후 조사한 과육 경도는 무처리, CA 저장, 1-MCP 처리, 1-MCP 처리 + CA 저장 순으로 모든 처리에서 유의적인 차이를 보임으로서 단일처리에 비해 2개 처리의 상가적인 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 이러한 효과는 모의 수출과정의 상온 유통 사과에서도 비슷한 경향이 있었다.

‘감홍’ 사과에서 조사된 1-MCP 처리와 CA 저장의 상가 효과와 연관된 연구로써는, 많은 사과 품종에서 1-MCP 처리와 CA 저장 병행 처리가 단독 처리에 비해 물리특성과 관능특성 유지에 보다 효과적인 것으로 보고된 바 있으며(Bai et al., 2005; Watkins et al., 2000), ‘홍로’ 사과와 ‘후지’ 사과에서는 조직감 유지에 상가적인 효과가 있는 것으로 분석된바 있다(Park et al., 2009a, 2011). 이러한 병행처리의 상가적인 효과는 호흡속도의 감소에 미치는 상가적인 영향(Table 2)과 관련된 것으로 추정된다.

Table 5. Titratable juice acidity of ‘Gamhong’ apples during export simulation after 6-month storage as influenced by 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature.

1-MCP treatment (ppm)	Storage	Shelf temp (°C)	TA (%)		
			After 6 month storage	After 2 week shipping	After 7 day shelf life
0	Air	20	0.21 b ^z	0.21 b	0.20 b
		7			0.19 b
	CA	20	0.34 a	0.32 a	0.32 a
		7			0.32 a
1	Air	20	0.34 a	0.36 a	0.32 a
		7			0.32 a
	CA	20	0.33 a	0.36 a	0.33 a
		7			0.35 a
Significance					
1-MCP			**	**	**
Storage			**	**	**
Shelf temp			-	-	NS

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

NS, Nonsignificant or significant at $P \leq 0.01$.

Table 6. Flesh firmness of ‘Gamhong’ apples during export simulation after 6-month storage as influenced by 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature.

1-MCP treatment (ppm)	Storage	Shelf temp (°C)	Firmness (N/5mm Φ)		
			After 6 month storage	After 2 week shipping	After 7 day shelf life
0	Air	20	10.2 d ^z	9.9 b	9.9 c
		7			10.8 c
	CA	20	12.0 c	13.5 a	12.5 b
		7			13.1 ab
1	Air	20	12.8 b	13.3 a	13.4 ab
		7			14.0 a
	CA	20	13.6 a	13.2 a	13.8 a
		7			14.0 a
Significance					
1-MCP			**	**	**
Storage			**	**	**
Shelf temp			-	-	*

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

**Significant at $P \leq 0.05$ or 0.01 .

경도의 경시적인 변화 양상에서는 특이하게도 1-MCP 처리나 CA 저장 사과들의 모의 수출 과정 후 경도가 저장 직후 경도에 비해 높은 증가 양상이 관찰되었다(Table 6). 과육 경도는 1-MCP 처리를 하지 않은 저온저장 사과에서처럼 시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소하는 것이 보편적인 현상으로 볼 수 있다. 본 연구에서 관찰된 저장 또는 유통 과정에서 경도의 증가 현상은 1-MCP 처리 또는 CA 저장한 ‘홍로’ 사과의 2개월 저장 후에도 관찰된 바 있으나(Park et al., 2009a), 그에 대한 명쾌한 설명이 제시되지 못하고 있다. 과일의 개체 변이가 큰 과수원 시료에서는 특정 조사 시점의 시료군에 경도가 높은 사과가 편중될 수도 있겠으나 1-MCP 처리나 CA 저장 사과에서만 나타나는 현상이라면 이에 대한 확인 연구가 보완되어야 할 것이다.

관능평가를 통해 점수화한 조직감은 무처리 + 저온저장 사과에서는 6개월 저장 직후 이미 1점 수준까지 떨어져 상품성이 없었던 반면, 1-MCP 처리와 CA 저장 사과에서는 저장 6개월 직후는 물론 모의 수출과정을 거친 후까지도 적합수준(3.0)을 유지하였다(Table 7). 유통 온도에 따른 차이는 유의성이 없었다. 처리 간 차이를 분석해 보면, 1-MCP 처리와 CA 저장 사과 간에는 유의적인 차이가 없는데 비해 병행처리는 단독처리에 비해 유의성이 나타나는 상가 효과가 인정되었다. 이러한 효과는 특히 6개월 저장 + 2주 모의 운송 후에 가장 뚜렷하였고 유통 후에는 저온유통 사과에서만 미약하게 나타났다. 과육경도의 경우 저장 6개월 직후와 상온유통 사과에서 상가효과와 나타났던 비교할 때, 관능으로 평가하는 조직감은 물리적 측정치인 온도 차이가 인지되

는 시점이나 시료와는 다소 차이가 있는 것으로 분석되었다.

사과의 관능 조직감은 실제 소비자가 판단하는 품질적합도(consumer acceptability)와 가장 상관관계가 높은 것으로 조사되어 있다(Park et al., 2006). 1-MCP 처리를 하지 않은 저온저장 사과는 4개월 저장 + 모의 수출 후 이미 적합수준 이하로 저하되므로(data 제시되지 않음), ‘감홍’ 수확 다음해 2월 이후까지 수출하기 위해서는 1-MCP 처리나 CA 저장 기술을 개별적으로 처리하거나 병행처리 하는 등 계획 수출 시점에 따라 선별적으로 활용해야 할 것으로 판단되었다.

연구결과를 종합해 보면, ‘감홍’ 사과의 수출품질 유지를 위한 수확후 관리기술 중 1-MCP 처리와 CA 저장의 효과는 뚜렷하였던 데 비해 유통온도의 차이는 그 효과는 제한적인 것으로 나타났다. 특히 당도와 산함량은 유통온도의 영향을 받지 않았는데 일차적인 이유로는 우선 유통기간이 짧거나, 유통온도의 차이가 작기 때문이라는 해석이 가능하다. 또 다른 이유로는 1-MCP 처리나 CA 저장의 효과가 유통과정까지 지속되므로 유통온도의 영향이 상대적으로 낮게 표출되기 때문이라는 추정이 가능하다. 특히 사과에 있어서 CA 저장은 저장 후 과일의 생리대사에 지속적으로 영향을 미치는 잔류효과(residual effect)가 나타난다고 하였다(Park and Youn, 1999), 이러한 잔류효과로 인해 CA 저장 사과는 7일 간의 비교적 짧은 유통과정에서 온도차이의 영향이 크지 않은 것으로 판단된다. 7개월 CA 저장한 ‘후지’ 사과의 20°C 유통 과정에서 소비자 관능 품질지수를 조사한 논문에서는 (Varela et al., 2005), 25% 소비자가 구매의사가 포기하는 수준까지는 17일 정도 소요된다고 하여 CA 저장 사과의 품

Table 7. Texture ratings of ‘Gamhong’ apples during export simulation after 6-month storage as influenced by 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature.

1-MCP treatment (ppm)	Storage	Shelf temp (°C)	Texture rating		
			After 6 month storage	After 2 week shipping	After 7 day shelf life
0	Air	20	1.1 c ^z	1.0 c	1.0 c
		7			1.1 c
	CA	20	3.0 ab	3.0 b	3.0 ab
		7			3.0 ab
1	Air	20	2.9 b	2.9 b	2.9 b
		7			3.0 ab
	CA	20	3.2 a	3.8 a	3.0 ab
		7			3.2 a
Significance					
1-MCP			**	*	**
Storage			**	**	**
Shelf temp			-	-	NS

^zMean 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.

질 변화 속도는 상온에서도 비교적 서서히 진행되는 것임을 뒷받침하고 있다. 그러나 품종별 수확시점의 성숙도나 저장 기간에 따라서는 유통온도의 영향이 저장한계기간 설정에 주요 요인으로 작용할 수도 있으므로(Park et al., 2006, 2010) 상황에 따라 차별적으로 적용될 수 있음을 간과해서는 안될 것이다.

소비자 관능에 의한 조직감을 기준으로 한 ‘감홍’ 사과 수출을 전제로 한 품질유지기간은 1-MCP 처리나 CA 저장 기술을 개별적으로 적용하면 6개월 내외, 1-MCP 처리 + CA 저장 + 저온유통을 체계적으로 적용하면 6개월 이상 가능할 것으로 판단된다. 이러한 연구결과를 적용하여 국내 사과 품종의 수출 프로그램을 작성한다면, 다음해 4월까지 ‘감홍’ 사과를 수출하여 해외의 국내 사과시장을 다변화하고 5월 이후 수출은 8개월 장기저장 후 수출과정에서도 품질이 우수한 것으로 평가된 ‘후지’ 사과(Park et al., 2011) 위주의 수출전략을 세워야 할 것이다.

초 록

‘감홍’ 사과의 수확후 1-MCP 처리, CA 저장 및 유통온도가 모의 수출과정 중 품질유지에 미치는 효과를 분석하였다. 사과는 장기저장에 적합한 성숙도에서 수확하여 $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도의 1-MCP 처리 후 0°C 저온(air)과 O_2 1.5kPa + CO_2 2.5kPa CA 환경에서 각각 6개월간 저장하였다. 저장 후 모의 수출과정은 0°C에서 2주간의 해상 운송 모의 과정을 거쳤으며 현지 유통과정은 저온(7°C) 과 상온(18-22°C)에서 7

일로 설정하였다. 20°C 온도 평형 후 측정된 저장 직후 및 모의 운송 후 호흡속도와 에틸렌 발생률은 1-MCP 처리와 CA 저장 사과에서 유의적으로 낮았고 호흡속도의 경우 CA 저장의 효과가 보다 뚜렷하였다. 모의 수출과정 후 당도는 1-MCP 처리에서 산함량은 1-MCP 및 CA 저장 사과에서 뚜렷하게 높았다. 1-MCP 처리와 CA 저장은 모든 시점에서 과육 경도 및 조직감 유지에 뚜렷한 효과를 보였으며, 조사 시점에 따라 상가효과가 있는 것으로 분석되었다. 현지에서의 저온유통은 과육 경도 유지에 효과적이었던 반면, 당도나 산함량에는 유의적인 영향을 미치지 않았다. 본 실험결과를 종합해보면, 수출을 목적으로 하는 ‘감홍’ 사과의 저장한계기간은 무처리 사과의 저온저장 시 4개월 이내, 1-MCP 처리 후 CA 저장 시에는 6개월 이상까지 가능한 것으로 나타나, 국내 저장기간과 현지 유통기간에 따라 차별화된 수확 후관리기술 프로그램이 적용되어야 할 것으로 판단되었다.

추가 주요어 : CA 저장, 에틸렌 발생률, 호흡 속도, 유통기한, 조직감

인용문헌

- 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.

- Chung, D.S., Y.P. Hong, J.W. Choi, J.S. Lee, and Y.S. Lee. 2005. Effects of packaging film application and CA storage on changes of quality characteristics in 'Hongro' and 'Gamhong' apples. *Kor. J. Food Preserv.* 12:424-431.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada, and C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *USDA Handbook No. 66*. p. 41-42.
- Hong, Y.P. and S.K. Lee. 2003. Optimum CA condition for four apple cultivars grown in Korea. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21:316-320.
- Kader, A.A. 1992. Postharvest biology and technology: An overview, p. 15-20. In: A.A. Kader (ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. Publ. Univ. California, Oakland, CA.
- Kwon, S.I. 2004. Apple cultivars: 'Gamhong'. National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon, Korea.
- 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., 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.
- National Food Research Institute (NFRI). 1985. Quality evaluation of fruits. NFRI, Tsukuba, Japan.
- Park, H.G., B.S. Lim, and Y.M. Park. 2009a. 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., C.J. Lee, and C.S. Jhune. 2009b. Marketability of *Agaricus bisporus* mushrooms influenced by controlled atmosphere storage and shelf temperature conditions. *Hort. Environ. Biotechnol.* 50:127-131.
- 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.
- 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. and S.W. Youn. 1999. Poststorage physiology and quality changes of 'Fuji' apples as influenced by harvest maturity and storage procedures. *Food Sci. Biotechnol.* 8:30-33.
- 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. 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., Y.P. Hong, and H.J. Kweon. 2005. Postharvest technology manual. Ministry for Food, Agriculture, Forest and Fisheries, National Agricultural Cooperative Federation, Gwacheon, Korea p. 10-12.
- SAS Institute, Inc. 1990. SAS user's guide. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Varela, P., A. Salvador, and S. Fiszman. 2005. Shelf-life estimation of 'Fuji' apples: Sensory characteristics and consumer acceptability. *Postharvest Biol. Technol.* 38:18-24.
- Watkins, C.B. 2004. Apple, In: K.C. Gross, C.Y. Wang, and M. Saltveit (eds.). *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. *Agr. Handbook No. 66*. (Website version, Revised April 2004). USDA-ARS, Beltsville, MD.
- 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.