

Research Report

‘후지’ 사과의 단기 저온저장 및 모의수출 과정에서 소포장의 천공도 조절 효과

김수정¹, 박윤문^{1,2*}, 윤태명³¹안동대학교 식품생명공학과²안동대학교 농업과학기술연구소³경북대학교 원예학과

Perforation Adjustment of Unit Package for ‘Fuji’ Apples during Short-term Cold Storage and Export Simulation

Su-Jeong Kim¹, Youn-Moon Park^{1,2*}, and Tae-Myung Yoon³¹Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong 760-749, Korea²Institute of Agricultural Science and Technology, Andong National University, Andong 760-749, Korea³Department of Horticultural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract: Various types of unit packaging methods were applied for ‘Fuji’ apples during short-term cold storage and export simulation. Gas tightness of the package was controlled stepwise in the successive two-year experiments using different perforation treatments (none, punch hole, or pinhole) and sealing methods (tie vs. heat seal). Risk of tight packaging and effectiveness of macroperforation on weight loss and quality maintenance were analyzed as related to changes in gas concentration inside the packages. Immediately after harvest, each 5 apple units were packaged in 40 μ m polypropylene (PP) film bags, stored 4 weeks at 0°C, and then put on the shelf for one week at ambient temperature in the preliminary experiment. In the main experiment, export process was imposed after storage simulating 2 week refrigerated container shipment at 0°C plus one week local marketing at ambient temperature. Non-perforated film packaging with relatively high gas tightness induced flesh browning caused by carbon dioxide accumulation regardless of the sealing methods. Among perforated film packaging, in contrast, atmospheric modification was partly established only in the pinhole treatment and flesh browning symptom was not observed in all the treatments. Even the punch hole perforated film packaging without gas tightness effectively reduced the weight loss, whereas had slight benefits for quality maintenance. Reduced perforation using pinhole treatment seemed to improve sensory texture, while effects on physicochemical quality were insignificant. Overall results suggest the need of more minute perforation treatments on the packaging film to ensure modified atmosphere effects on quality maintenance.

Additional key words: flesh browning, modified atmosphere, storage disorder, texture, weight loss

서 언

고분자 플라스틱 필름을 활용하는 농식품의 소단위 포장 을 넓은 의미에서 modified atmosphere 포장(MAP) 기술로 통칭하고 있으며 포장 내부 기체 환경의 변화에 따른 품질 유지(Chung and Lee, 2009; Mattheis and Fellman, 2000)와 증산 억제에 따른 중량 손실 경감(Kader and Watkins, 2000)

이 주목적이라 할 수 있다. 국내 사과의 MAP 연구는 소비유통의 상품화 목적보다는 저장 중 품질관리 차원에서 주로 저장용 박스 단위 규모로 수행되었고 폴리에틸렌(polyethylene: PE) 계열의 필름 포장 효과나(Chung et al., 2005; Park et al., 2007) 기능성 필름의 적용 효과에 초점이 맞추어져 왔다 (Park and Kim, 2000).

최근 소비자의 소포장 구입 선호도가 높아지고 신선편이

*Corresponding author: park123@andong.ac.kr

※ Received 2 September 2013; Revised 14 October 2013; Accepted 19 November 2013. 본 연구는 농림축산식품부 농림기술개발사업 지원에 의해 수행되었음.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

농식품의 수요가 확대되면서 소비 단위에 맞추는 소포장 상품화가 늘어나고 있다(Chung et al., 2008; Yang et al., 2007). 그런데 국내 농식품 시장에서 활용되는 대부분의 소포장 소재는 투명도와 인쇄 적성이 우수하지만 기체 투과도가 상대적으로 낮은 폴리프로필렌(polypropylene: PP) 필름을 주소재로 사용하고 있어서 밀봉 포장을 하게 되면 저산소나 이산화탄소 장해가 발생할 우려가 있고 포장 내부의 고습도와 수분 응결로 인한 조직 붕괴의 위험성이 큰 편이다. 따라서 신선 농식품의 PP 필름 포장 백은 천공 처리를 하고 있는데 대부분 직경이 6-8mm 크기이고 포장 한 쪽 면당 4-6개를 두고 있다. 특히 ‘후지’ 사과는 이산화탄소 장해에 매우 민감한 품종이므로(Argenta et al., 2002; Hwang et al., 1998) 소포장 필름의 가스투과도 또는 밀봉 방식이 부적합하면 저장 또는 수출 과정에서 내부갈변 장해가 발생할 위험성이 높다.

이처럼 천공 포장 필름이 국내에서 보편적으로 사용하고 있음에도 불구하고 농식품 필름 포장 봉지의 천공 정도가 MA 환경 조성 및 수증기 이동의 차단에 의한 증산 억제에 얼마나 기여하는지에 대해서는 기본적인 정보가 매우 적은 편이다. 높은 천공도는 엽채류나 근채류 등 호흡과 증산작용이 많은 작물의 MA 포장 시 발생하는 위험성 감소를 위해서는 부득이한 조치일 수 있으나 비교적 호흡속도가 낮고 증산량이 적은 과일류에도 동일한 천공도를 적용해야 하는지는 체계적인 분석을 통해서 검토되어야 할 것이다.

천공도가 지나치면 기체 조성 변화에 의한 품질유지 효과를 기대할 수 없음은 물론이고 거꾸로 수분 증산에 의한 손실 우려가 커지게 된다. 신선 농식품의 단기 유통 시에는 중량 감소가 크지 않아 별 문제가 없는 듯 보이지만, 소포장 수출 시에는 포장 후에도 4-8주의 저장기간 및 2-4주의 수출 운송과 현지유통 기간이 추가로 경과되면서 중량 감소율의 증가, 조직감과 과피 위축에 의한 품질 저하의 우려가 있다.

본 연구는 PP 필름 소포장의 완전 밀폐 시 위험성을 검토

한 후, 천공 정도를 조절함으로써 장해가 발생하지 않으면서도 중량감소를 최소화하고 품질을 유지할 수 있는 수출용 MAP 소포장에 적합한 천공도를 제시하기 위해 2년에 걸쳐 수행하였다.

재료 및 방법

과일 재료 및 실험처리

포장의 밀폐(gas tightness) 방법에 대한 예비 실험은(1년차) 2011년 11월 12일 청원지역에서 수확한 ‘후지’ 사과를, 천공도 조절을 위한 본 실험은(2년차) 2012년 11월 6일 안동지역에서 수확한 사과를 이용하여 수행하였다. 두 지역의 사과 모두 수확 시점에서의 전분지수는 0.0으로 장기저장에는 적합하지 못한 성숙도를 보였고(Park et al., 2005) 과일 내부의 밀증상(water core)은 관찰되지 않았다(Table 1). 당도는 수확이 지연된 만큼 비교적 높은 수준이었다.

예비 실험에서의 포장 방법으로는, 10kg 골판지 박스 포장 대조군과 PP 필름 소포장 밀폐 처리군으로 대별하였고, 소포장 밀폐 방법은 천공 여부(무천공 또는 Φ 8mm 펀치 홀) 요인과 상부 밀봉 방식(끈 묶음, 열 접착) 요인으로 나누어 총 4개 처리로 세분하였다. 밀폐도 조절을 위한 2년차 본 실험에서는 난좌를 이용하는 수출용 10kg 골판지 박스 포장을 대조군으로 하였으며, 소포장의 밀폐도 조절은 천공의 크기 요인(Φ 0.59mm 펀치 홀, Φ 3mm 펀치 홀, Φ 8mm 펀치 홀)와 밀봉 방식 요인(끈 묶음, 열 접착)을 조합하여 6개 처리로 세분하였다.

모든 실험에서 소포장은 40 μ m 두께의 수축성 PP 필름 봉지(YoulChon Chemical Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 사과 5개(1.4kg \pm 100g)를 포장한 후 봉지의 크기는 폭 23cm \times 길이 30cm로 맞추었고 천공 수는 앞면과 뒷면에 각각 4개씩 처리하여 총 8개가 되도록 하였다. 과일 포장용 봉지에 적합하게 제조된 수축성 PP 필름의 경우, 30 μ m 두께를

Table 1. Fruit quality and physiological characteristics of ‘Fuji’ apples at harvest in the successive two years.

Harvest year and date	Instrumental quality			Physiological characteristics at 20°C			
	SSC ^z (°Brix)	Acidity (%)	Firmness (N/5 mm Φ)	Starch index	Respiration rate (CO ₂ mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	C ₂ H ₄ evolution (μL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	Watercore index
Nov. 12, 2011	16.0 \pm 0.4 ^y	0.33 \pm 0.2	11.4 \pm 0.6	0.0 \pm 0.0	3.8 \pm 0.8	1.3 \pm 1.1	0.0 \pm 0.0
Nov. 6, 2012	15.7 \pm 0.3 ^y	0.39 \pm 0.2	12.4 \pm 0.5	0.0 \pm 0.0	5.3 \pm 0.5	0.3 \pm 0.0	0.5 \pm 0.3

^zSoluble solids content.

^yMeans \pm SE (n = 6).

기준으로 산소 투과도는 120-160, 이산화탄소 투과도는 580-620g·m⁻²·24h⁻¹ 수준을 보인다고 하였다(Chung, 1993).

저장 및 모의 수출과정

포장한 사과는 4주 저온저장 후 모의 수출과정을 거쳤다. 모의 수출은 2주간 0°C 해상운송 및 7일간 현지 유통기간으로 설정하였다. 저온저장과 모의 운송에 해당하는 2주간의 추가적인 저장은 0°C, 80-85% 상대습도 조건에서 수행하였고, 수출 현지에서의 상온유통 모의는 20 ± 5°C, 상대습도 60 ± 10%가 유지되는 실험실의 실험대에 치상하는 것으로 대체하였다.

MA 환경 조사와 생리대사 측정

포장 내 산소, 이산화탄소와 에틸렌 농도는 1mL 주사기로 포장내부 가스 시료를 채취한 후 가스크로마토그래프(gas chromatograph: GC)를 사용하여 조사하였다. 편치 홀이나 핀홀 처리 포장에서는 가스 시료를 채취하는 과정에서의 위치에 따른 변이를 최소화하기 위해 천공과 천공 중간 부위에 가스 샘플링 고무 septum을 부착하였다.

호흡속도와 에틸렌 발생량 측정은 1.9L 밀폐 용기에 가스 샘플링 septum을 부착한 측정 용기(respirometer)에 사과를 담고 뚜껑을 닫아 밀폐한 후 4시간 동안 증가하는 이산화탄소와 에틸렌 농도를 측정하여 시간당 발생량으로 환산하여 구하였다. 사과를 측정 용기에 담기 전 일반 대기 조건의 항온기에서 24시간 동안 20°C 평형 상태에 도달하도록 함으로써 동일한 온도 조건을 맞추는 동시에 포장 내부의 이산화탄소나 에틸렌 축적이 과실 내부의 기체 환경에 영향을 미치고 그로 인한 초기 확산이 호흡속도나 에틸렌 발생량 측정에 미칠 수 있는 영향을 배제하였다. 가스 시료는 1mL 주사기로 용기 내부의 공기(headspace)를 취하여 GC 분석에 이용하였다.

이산화탄소 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. 에틸렌 농도는 flame ionization detector(FID)와 Porapak Q column이 장착된 가스 크로마토그래프(Model GC-17A, Shimadzu Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 130°C injector, 130°C column 및 140°C detector의 조건에서 분석하였다.

품질인자 분석 및 관능평가

과일의 이화학적 품질변화는 수확 시, 4주 저장 직후와

모의 수출(2주 모의 운송 + 7일 모의 유통) 후 등 3회에 걸쳐 조사하였고 관능평가는 모의수출과정이 종료되는 시점에서 수행하였다.

이화학 품질인자로서 과육경도는 물성분석기(model EZ-Test/CE, Shimadzu Co., 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 뉴턴(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 1-9점으로 구분하여 점수화하였다. 점수별로는, 1점 = 과육조직이 심하게 연화되고 허벅허벅해져서 구매의사 없음, 5점 = 과육이 다소 연화되었지만 다즙성 등 조직감은 양호한 수준, 9점 = 사각사각한 조직감이 매우 우수한 수준 등으로 구분하였다. 소비자 요구 적합수준의 조직감은 5점을 기준으로 하였다.

중량감소율은 저장 후와 유통 또는 모의 수출 과정을 거친 후에 무게의 측정하여, 포장 직전의 최초 무게 대비 감소한 무게의 % 비율로 구하였다. 내부갈변 장애는 모의 수출(2주 운송 + 7일 유통) 후 최종 소비 단계에서 조사하였으며 조사한 전체 과일 수에 대한 내부갈변과의 비율을 구하여 평가하였다.

실험설계 및 데이터 분석

완전임의배치법에 준하여 1년차 실험은 2 × 2 요인분석, 2년차 실험은 3 × 2 요인분석을 전제로 설계하였다. 5개들이 소포장 단위를 1반복으로 하여 처리별 4반복을 두었고 생리활성 및 품질조사는 각각 반복별로 1개 과일을 취하여 조사하였다. 소포장의 처리 효과 분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)의 2원분산분석법을 이용하였으며(SAS, 1990) 대조구를 포함한 처리 평균간 유의성 검정은 Duncan의 다중범위검정으로 분석하였다.

결과 및 고찰

소포장의 밀폐 방법에 따른 손실 분석(1년차 예비실험)

소포장을 하지 않고 골판지 박스(대조구)에 담아 저장한

사과에서는 4주 저온저장 후 1.6%의 중량감소가 발생한 반면, 펀치 홀 천공 필름 봉지포장 사과는 0.5-0.6%, 무천공 필름 포장 사과는 0.1% 수준에 그쳐 비록 천공도가 높은 필름 소재를 사용해도 봉지 포장한 후에는 수증기의 이동이 억제되어 중량감소를 낮추는 효과가 큰 것으로 나타났다 (Fig. 1). 저온저장 후 상온 유통 7일간의 중량 감소는 골판지 박스 포장 사과의 경우 2.6%, 천공 필름 포장 사과에서는 0.8%, 무천공 필름 포장에서는 0.2% 정도 증가하여, 소포장을 하지 않고 유통하는 사과는 짧은 기간임에도 비교적 큰 감소가 나타났다. 포장 상부를 끈으로 묶는 방식(tie)과 열 접

착을 이용하는 완전 밀폐 방식(heat seal) 간 차이는 미미하였다. 본 연구에서 측정된 저장 중 중량감소율은 기존의 PE 필름 박스 포장 실험에서 조사된 중량감소율(Chung et al., 2005; Park and Kim, 2000)과 대체로 유사한 경향이였다.

4주 저장 및 7일 유통 과정에서의 골판지 박스와 천공 PP 필름 포장 내부의 산소 농도는 21%, 이산화탄소 농도는 0.1% 수준으로 외부 공기의 조성과의 차이가 없었고 밀봉 방식의 영향도 나타나지 않았다(Table 2). 다만 에틸렌 농도는 천공 필름 소포장의 끈 묶음 방식에서는 0.5, 열 접착 방식에서는 $1.5\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 수준까지 다소 높아지는 경향이였다.

이에 비해 무천공 필름 소포장의 경우에는 대기 조성의 변화가 뚜렷하였고 밀봉 방식에 따라 그 양상이 다르게 나타났다(Table 2). 저온저장 중 무천공 + 끈 묶음 소포장 내부의 이산화탄소 농도는 0.9% 수준에 그쳤으나 무천공 필름 + 열 접착 포장에서는 산소가 8% 수준까지 감소하고 이산화탄소는 6.8%로 증가하였다. 상온 유통과정에서는 이러한 변화가 심화되어 무천공 + 끈 묶음 소포장 내부의 산소와 이산화탄소 농도는 각각 18.4, 4.1%, 무천공 + 열 접착 포장에서는 4.0, 14.7%로 나타났다. 에틸렌의 축적도 빠르게 진행되어 4주 저온저장 후 농도는 끈 묶음의 포장에서 $3.1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, 열 접착 포장에서 $6.0\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었으며, 유통 후에는 각각 15.2와 $7.5\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 증가하였다.

무천공 + 끈 묶음 밀봉 방식에서 관찰된 산소와 이산화탄소 농도는 PET 난좌와 PE 필름 커버를 활용하는 박스 단위의 포장 내부 공기조성(Chung and Lee, 2009)과 유사한 수준으로 유지되었다. 반면, 무천공 + 열 접착 완전 밀봉 방식에서는 저온저장 과정에서부터 산소 농도의 감소와 이산화

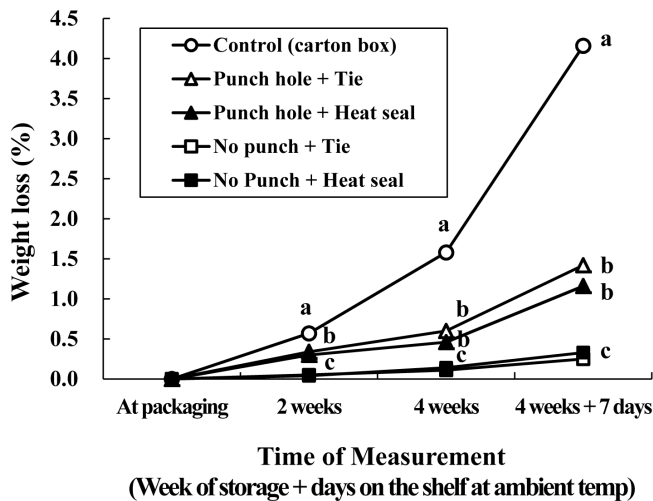


Fig. 1. Changes in weight loss in 'Fuji' apples during storage at 0°C and on the shelf at ambient temperature as influenced by packaging method. Legend alphabets indicate mean separation at $P = 0.05$ by DMRT.

Table 2. Changes in gas concentration inside polymeric film packages of 'Fuji' apples and the incidence of flesh browning as influenced by packaging method.

Package	Sealing	After 4 week storage			After 4 week storage + 7 day shelf life			Incidence of FB ^y (%)
		O ₂ (%)	CO ₂ (%)	C ₂ H ₄ ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	C ₂ H ₄ ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	
Control: no unit packaging 10 kg corrugated cardboard box		Same as external atmosphere			Same as external atmosphere			0 b
Unit packaging: 8 punch holes	Tie	21.0 a ^z	0.1 c	0.0 c	21.0 a	0.0 c	0.5 c	0 b
	Heat	21.0 a	0.1 c	0.0 c	21.0 a	0.1 c	1.5 b	0 b
Unit packaging: no punch holes	Tie	21.0 a	0.9 b	3.1 b	18.4 b	4.1 b	15.2 a	0 b
	Heat	8.3 b	6.8 a	6.0 a	4.0 c	14.7 a	7.5 a	70 a

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

^yFlesh browning symptoms caused by high CO₂.

탄소의 축적이 빠르게 진행되고 모의 수출과정에서 더욱 심화됨으로써 이산화탄소 장해로 판단되는 과육갈변 발생률이 70%에 이르렀다(Table 2). 이러한 MAP 장해는 이산화탄소 장해에 민감한 ‘후지’ 사과뿐 아니라 일반 품종에서도 가스 투과도가 낮은 필름을 사용할 경우 발생하므로(Chung et al., 2005) 천공 처리를 하지 않는 필름 봉지를 사용할 때는 플라스틱 소재의 선택은 물론 두께까지 고려해야 할 것이다.

한편, 상온 유통 7일 후 열 접착 완전 밀봉 포장내부의 에틸렌 농도가 끈 묶음 처리에 비해 낮은 이유는 저산소와 고이산화탄소 조건에서 에틸렌 합성이 저해되었기 때문으로 풀이된다(Park and Youn, 1999).

포장의 밀폐 정도에 따라 처리 간 다소의 대기 조성의 차이가 있었음에도 불구하고 4주 저장 + 1주 유통 후 과일의 당도,

산 함량, 경도 등 품질에 미치는 영향은 통계적 유의성이 없었다(자료 미제시). 이러한 실험 결과로 미루어 볼 때, 4주 저장 및 저장 후 7일 유통 후까지는 포장 방법의 효과가 품질 차이를 유발할 정도로 누적되지 않는 것으로 판단되었다.

천공도 조절 실험(2년차 본 실험)

소포장을 하지 않고 수출용 10kg 골판지 상자에 담아 둔 (대조구)에 사과에서의 중량감소율은 4주 저온저장 후 1.8%, 2주간의 모의 수출 운송 후에는 2.3%를 보이다가 현지 상온 유통 1주일 후에는 4.1%로 증가되었다(Fig. 2). 중량감소율의 변화양상을 분석해 보면, 상온에서 1주일 동안의 변화가 0°C 저장 4주 간의 변화와 같은 정도로 크게 나타났다. 온도 차이에 의한 중량감소율 변화를 동일한 기간의 변화 비율로

Table 3. Atmospheric composition inside polymeric film packages of ‘Fuji’ apples and the incidence of flesh browning as influenced by perforation and sealing treatments.

Package perforation	Top sealing	After 4 week storage			After export simulation			Incidence of flesh browning (%)
		O ₂ (%)	CO ₂ (%)	C ₂ H ₄ (μL·L ⁻¹)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	C ₂ H ₄ (μL·L ⁻¹)	
8 pin holes (Φ 0.59 mm)	Tie	20.9 ± 0.1 ^z	0.9 ± 0.0	6.4 ± 0.3	17.4 ± 0.3	4.7 ± 0.3	17.8 ± 0.0	0
	Heat seal	20.5 ± 0.3	1.90 ± 0.0	5.8 ± 0.6	13.3 ± 0.5	8.9 ± 0.4	15.8 ± 1.9	0
8 punch holes (Φ 3 mm)	Tie	Same as external atmosphere		0.7 ± 0.1	Same as external atmosphere		2.7 ± 0.8	0
	Heat seal	Same as external atmosphere		0.5 ± 0.1	Same as external atmosphere		3.4 ± 0.6	0
8 punch holes (Φ 8 mm)	Tie	Same as external atmosphere		0.1 ± 0.0	Same as external atmosphere		0.7 ± 0.2	0
	Heat seal	Same as external atmosphere		0.2 ± 0.0	Same as external atmosphere		0.9 ± 0.3	0

^zMeans ± SE (n = 4).

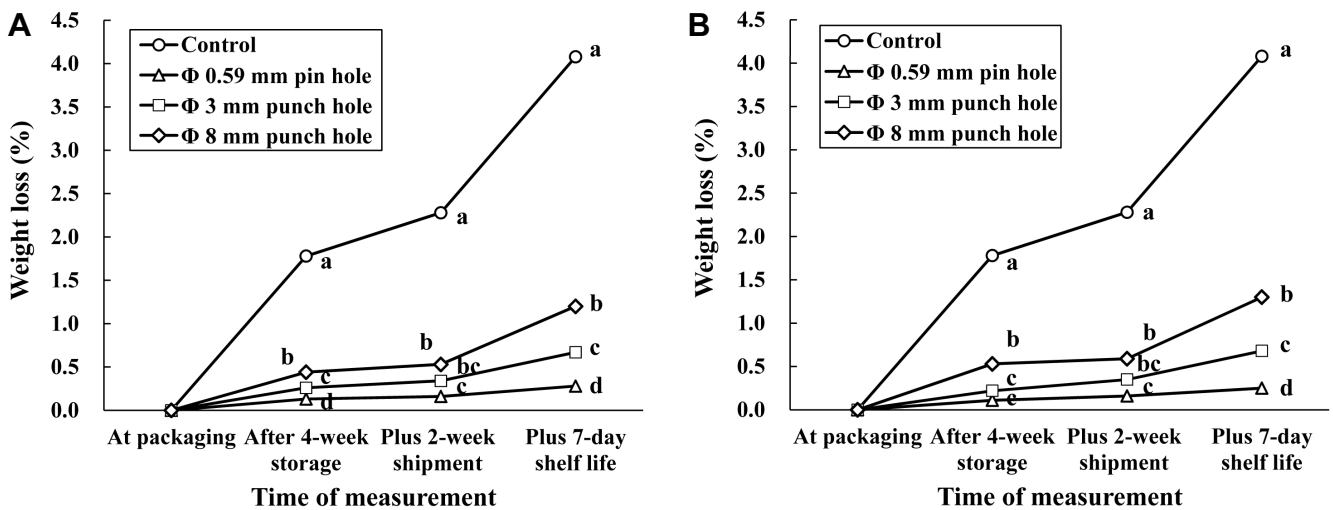


Fig. 2. Weight loss of packaged ‘Fuji’ apples during 4-week storage and export simulation as influenced by perforation treatment on the film bags. Control means cardboard packaging without film bag unit packaging. Legend alphabets indicate mean separation at P = 0.05 by DMRT. A, tie seal; B, heat seal.

환산해 보면 20°C 차이에서 4배로 볼 수 있는데, 이는 신선 원예산물의 Q_{10} 이론치인 7.5배보다는(Kader, 1992) 낮은 것으로 평가되었다.

8mm 천공 처리 소포장에서는 박스 포장 대조구에 비해 중량감소율이 1/3-1/4 수준까지 억제되었고 전체 중량감소율의 반 이상이 1주일 상유통 기간에 발생하여 대조구와 유사한 경향을 보였다(Fig. 2). 펀치 홀의 직경을 3mm로 줄인 소포장은 8mm 천공 포장에 비해 중량감소율이 1/2로 0.59mm 핀홀 소포장에서는 1/4 수준까지 경감되었다.

소포장 적용 시 중량감소율에 미치는 천공도의 효과는 뚜렷한 유의성이 있었으나 끈 묶음 밀봉 처리와(Fig. 2A) 열 접착 밀봉 처리(Fig. 2B) 간에는 유의수준에서의 차이가 나타나지 않았다.

포장 내부의 산소와 이산화탄소 농도는 8mm, 3mm 펀치 홀 소포장 모두에서 저장 및 유통과정 전반을 통해 외기 조성차이가 없었다(Table 3). 이에 비해 핀홀 소포장에서는 저온저장 후에도 이산화탄소의 증가가 관찰되었고 특히 상온유통을 포함한 모의 수출 후에는 큰 증가 폭을 보였다. 밀봉 방식 간에는 끈 묶음 밀봉 포장에 비해 열 접착 밀봉 포장에서 두 배 가까운 농도 변화가 나타나 상온유통이 완료된 시점에서는 산소는 13.3%, 이산화탄소는 8.9% 수준을 보였다.

에틸렌 농도는 예비실험에서와 마찬가지로 핀홀은 물론 8mm 펀치 홀 처리 소포장에서도 축적량이 감지되었고 천공이 작을수록 농도가 높았다(Table 3). 펀치 홀 포장의 경우 저온 저장 중에는 모든 처리에서 비교적 낮은 농도를 나타냈으나 유통 후에는 크게 증가하여 천공도가 작은 3mm 펀치 홀에서는 끈 묶음과 열 접착에서 각각 $2.7, 3.4\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었고 8mm 천공 포장에서는 $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하로 3mm 펀치 홀 포장의 1/4 수준에 해당하였다. 핀홀 처리 포장의 에틸렌 농도는 4주 저온저장 후 이미 $6\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 수준까지, 모의 수출 유통 후에는 $15\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로 증가하였다. 비교적 가스교환이 크게 일어나는 천공 처리 소포장에서 에틸렌의 축적이 탐지되는 이유는 과일에서 지속적으로 에틸렌이 생성되어 외부로 확산되기 때문인 것으로 해석된다. 일반 저온저장고에서도 산소 이산화탄소 농도는 외부 공기와 동일한데도 불구하고 에틸렌 농도는 $10\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상 탐지되는 것과(Park and Lee, 2003) 같은 원리인 것으로 판단된다.

천공도를 조절한 모든 소포장 처리에서는 내부갈변 장애가 발생하지 않았다(Table 3). 이러한 결과는, 1차년도에 장애가 발생했던 완전 밀폐처리(무천공 + 열 접착) 조건만 아

나라면 이산화탄소가 어느 수준까지 증가되더라도 내부갈변 장애는 발생하지 않는다는 추정을 가능케 하였다.

현재까지 연구된 ‘후지’ 사과와 내부갈변 장애는 산소 농도가 3% 이하이고 이산화탄소가 1% 이상인 CA 저장 조건에서 관찰되거나(Hwang et al., 1998; Park and Lee, 2001), 동결 피해를 입은 사과에서 저장 초기 이산화탄소 농도가 3% 이상 증가할 때 나타난다고 하였다(Kim and Park, 2008; Park, 2004). 수확 후 저온저장한 사과의 운송 과정에서의 단기 CA 처리 역시 이산화탄소 장애를 유발하는 것으로 조사되었는데(Park et al., 2010), 산소 1.5% + 이산화탄소 농도가 2.5% 환경에서 2주간의 노출만으로도 심한 장애가 발생하였다. 본 소포장 실험의 결과와 기존의 연구 결과를 종합해 보면, ‘후지’ 사과에서 나타나는 내부갈변 장애는 단순한 이산화탄소 장애가 아니라 산소 농도가 동시에 특정 수준 이하로 조성될 때 유기되는 것으로 보여진다. 즉, 단순히 이산화탄소가 1% 이상인 대기환경이 조성되었다고 해도 산소 농도가 높거나, 이전에 동결피해와 같은 조직 이상이 없는 사과에서는 내부갈변 장애로 진행되지 않는 것으로 판단된다.

20°C 온도 평형 상태에서 측정된 호흡속도의 전반적인 변화 양상은 수확 시에 비해 저온저장 및 모의 수출 과정을 거친 후의 측정치가 높은 것으로 나타났다(Tables 1 and 4). 포장 처리 간 차이는 유의성만을 가지고 판단한다면 일관된 경향이 없었으나, 대체적으로 핀홀 포장한 사과에서 낮은 경향이였다. 에틸렌 발생률은 밀폐 정도에 따른 차이가 비교적 크게 나타나, 천공도 처리 간에는 핀홀 처리에서, 밀봉 방식 간에는 열 접착 포장에서 낮았다. 특히 모의 수출 후의 에틸렌 발생률은 소포장을 하지 않은 사과에서 매우 높아 수출 과정, 특히 상온에서의 유통 기간이 길어지면 품질 저하의 우려가 있을 것으로 추정되었다.

수확 후 사과의 저장 과정에서의 호흡속도와 에틸렌 발생률은 포장 여부보다는 수확 시의 성숙도나 측정할 때의 조건에 따라 차이가 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서 20°C 온도평형을 맞춘 후 조사한 ‘후지’ 사과의 호흡속도는 4주 저온저장 후까지는 거의 2배로 증가하다가 모의 수출과정에서는 크게 감소하여 수확 시에 비해 비슷하거나 약간 높은 수준이었다. 플라스틱 용기 포장 실험에서 5°C와 25°C 저장 조건에서 조사한 호흡속도의 변화 역시 증가와 감소가 반복되는 양상을 보였는데(Chung and Lee, 2009), 이러한 변화는 과일의 성숙과 숙성과정에 나타나는 현상인 것으로 추정되고 있다.

Table 4. Rates of respiration and ethylene evolution of 'Fuji' apples after 4-week cold storage and export simulation as influenced by packaging method.

Package perforation	Top sealing	Respiration rate, 20°C (CO ₂ mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)		Ethylene evolution, 20°C (μL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	
		After 4 week storage	After export simulation	After 4 week storage	After export simulation
Control: no unit packaging: 10 kg corrugated cardboard box		10.1 ab ^z	6.3 b	5.6 a	26.7 a
8 pin holes (Φ 0.59 mm)	Tie	8.9 b	5.6 b	4.4 a	1.8 de
	Heat seal	9.6 ab	5.4 b	1.9 a	0.7 e
8 punch holes (Φ 3 mm)	Tie	11.5 a	7.0 ab	3.6 a	4.7 cde
	Heat seal	10.2 ab	6.8 ab	2.7 a	9.7 b
8 punch holes (Φ 8 mm)	Tie	11.0 ab	7.9 a	3.7 a	9.2 bc
	Heat seal	10.5 ab	5.7 b	4.4 a	5.9 bcd
Significance					
Package perforation (P)		NS	*	NS	**
Sealing (S)		NS	NS	NS	NS
P × S		NS	NS	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.

호흡속도와 마찬가지로 에틸렌 발생률의 변화 역시 품종, 수확시점의 성숙도, 저장기술에 따라 다를 것으로 생각된다. 본 연구에서도 박스 포장과 펀치 홀 소포장 사과에서는 에틸렌 발생률이 지속적으로 증가한 반면, 핀홀 소포장 사과에서는 저온저장 후까지는 증가하다가 모의 수출 과정 후에는 감소하였다. 조중생종 사과의 포장 실험 결과를 보면, 25°C에 저장한 무포장 사과에서는 수확 후 2-4주까지는 증가하다가 이후 감소하는 보편적인 변화 양상을 보인 반면, 박스 포장 후 1°C에 저장한 사과는 미미한 증가에 그치는 것으로 조사되어 있다(Chung et al., 2005), 저장 후 유통조건에서는 보편적으로 에틸렌 발생률이 증가하는데 그 정도는 저장 기술에 따라 상이하다고 하여(Park and Youn, 1999) 수확 후 관리기술에 따른 에틸렌 대사의 차이가 유통 과정에까지 영향을 미친다고 하였다.

저장 및 모의 수출 과정에서 당도와 산도는 전반적으로 약간 감소하는 경향이었으나 1차년도 실험에서와 마찬가지로 처리 간 차이가 없었다(자료 미제시). 과일의 경도는 4주 저온저장 후까지는 큰 변화가 없다가 모의 수출 과정에서 큰 폭으로 감소하였고 처리 간 유의성이 없었다(Tables 1 and 5). 그럼에도 불구하고 모의 수출 후 조사한 관능 조직감은 대조구에 비해 소포장 처리에서 높았고 특히 밀폐도가

큰 핀홀 처리 사과의 조직감이 다소 좋은 것으로 나타났다.

적합한 MA 포장은 CA 저장과 마찬가지로 원예작물의 경도 감소를 지연시켜 조직감을 유지시키고(Chung et al., 2005; Park et al., 2001) 풍미의 감소를 억제할 수 있다(Mattheis and Fellman, 2000). 특히 두꺼운 플라스틱 필름을 사용하는 박스 포장에서는 사과의 산도가 높게 유지된다고 하였다(Park et al., 2001). 이에 비해 본 연구에서 포장 방법이 이화학적 품질에 미치는 효과가 미미했던 이유는 저장 및 유통 기간이 비교적 짧고, 품질을 유지할 만큼의 MA 환경이 조성되지 못하는 수준의 천공 처리 때문인 것으로 판단되었다.

실험 결과를 종합해 보면, 수확 시점에서 적용하는 천공도 조절 소포장 기술은 단기 저장 후 모의 수출 과정에서 이화학적 과일 품질에 미치는 영향은 미미하였으나 중량 감소를 줄이고 조직감 관능 유지에 효과가 있는 것으로 나타났다. 적정산도와 경도 등 이화학적 품질의 유지를 도모하려면 최적화 수준까지 천공도를 낮추는 연구가 보완되어야 할 것이다. 또한 본 실험은 수확한 직후 소포장을 하고 포장 상태에서 단기저장 및 수출 과정을 연계하여 수행한 결과이므로 장기 저장 후 소포장을 하여 수출 및 유통 과정을 거치는 사과의 품질과 손실 분석에 대해서는 별도의 수확후 관

Table 5. Flesh firmness and texture of ‘Fuji’ apples after 4-week cold storage and export simulation as influenced by packaging method.

Package perforation	Top sealing	Firmness (N/5 mm Φ)		Texture rating ^y	
		After 4 week storage	After export simulation	After 4 week storage	After export simulation
Control: no unit packaging					
10 kg corrugated cardboard box		12.8 a ^z	10.6 a	6.0 a	4.7 b
8 pin holes	Tie	13.1 a	10.3 a	6.7 a	5.9 a
(Φ 0.59 mm)	Heat seal	12.3 a	11.0 a	5.9 b	6.2 a
8 punch holes	Tie	12.4 a	10.5 a	6.0 b	5.4 ab
(Φ 3 mm)	Heat seal	13.2 a	10.2 a	6.0 b	5.7 a
8 punch holes	Tie	12.6 a	10.6 a	6.2 b	6.0 a
(Φ 8 mm)	Heat seal	13.1 a	10.2 a	6.3 b	5.4 ab
Significance					
Package perforation (P)		NS	NS	NS	NS
Sealing (S)		NS	NS	NS	NS
P × S		NS	NS	**	NS

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

^yTexture rating: 1.0, very poor and unacceptable; 5.0, acceptable and critical level for marketing; 9, excellent.

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

리 프로그램이 필요할 것이다. 즉, 장기 저장 후 수출을 목표로 하는 수확후 관리 프로그램에서는 1-MCP 처리나 CA 저장 기술을 적용하여 저장 사과와 품질 저하와 부패 발생에 의한 손실 위험을 줄여야만(Park et al., 2009, 2011) 소포장 기술의 적용이 확대될 수 있을 것이다.

초 록

‘후지’ 사과의 단기 저장과 모의 수출 과정에서 소포장 적용이 중량감소와 품질에 미치는 영향을 분석하기 위해 2년에 걸쳐 포장의 밀폐도를 단계적으로 조절하는 실험을 수행하였다. 포장의 밀폐도는 천공 처리 수준(무천공, 펀치 홀, 핀홀)과 밀봉 방식(끈 묶음, 열 접착)을 달리하여 조절하였다. 수확 후 사과를 40 μ m 폴리프로필렌 필름 포장 봉지에 5개씩 담아 0°C에서 4주 저장한 후, 1년차 예비실험에서는 바로 상온유통 과정을 거쳤고 2년차 본 실험에서는 2주간의 냉장 컨테이너 수출 운송과 현지 상온 유통 7일의 모의 수출 과정을 거쳤다. 천공 처리 없이 끈 묶음 혹은 열 접착한, 비교적 높은 수준의 밀폐 소포장에서는 이산화탄소 축적에 의한 내부갈변 증상이 발현되었다. 이에 비해 천공 처리 필름 소포장에서의 MA 환경조성은 핀홀 처리 소포장에서만 관

찰되었고, 모든 처리에서 내부갈변 장애는 발생하지 않았다. 밀폐도가 낮은 펀치 홀 천공 처리 필름 소포장에서도 단기 저장 후 모의 수출 과정에서 중량 감소를 줄이는 효과가 나타났으나 과일의 이화학 품질에 미치는 영향은 미미하였다. 천공도를 낮춘 핀홀 처리 역시 이화학 품질 유지 효과는 없었으나 조직감 관능 유지에 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 사과의 단기저장과 수출과정에 소포장 기술을 적용할 때 MA 조성을 통한 품질유지 효과를 높이기 위해서는 펀치 홀 천공보다는 훨씬 미세한 천공 처리의 필요성이 제시되었다.

추가 주요어 : 내부 갈변, 기체 조성 변화, 저장 장애, 조직감, 중량 감소

인용문헌

Argenta, L.C., X. Fan, and J.P. Mattheis. 2002. Responses of ‘Fuji’ apples to short and long duration exposure to elevated CO₂ concentration. *Postharvest Biol. Technol.* 24:13-24.
 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.
- Chung, D.S. and Y. Lee. 2009. Applications of functional tray form packaging to extend the freshness of high-quality 'Fuji' apples. *Kor. J. Food Preserv.* 16:817-823.
- Chung, H.S., P. Toivonen, and K.D. Moon. 2008. Effect of modified atmosphere packaging in microperforated film on maintenance of the quality of fresh-cut apples. *Kor. J. Food Preserv.* 15:347-351.
- Chung, T.Y. 1993. Characteristics of shrinkable packaging and shrinkage films. *The Monthly Packaging News* 5:101-108.
- Hwang, Y.S., I. Kim, and J.C. Lee. 1998. Effects of harvest maturity and storage environments on the incidence of watercore, flesh browning, and quality in 'Fuji' apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:569-573.
- 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.
- Kader, A.A. and C.B. Watkins. 2000. Modified atmosphere packaging-toward 2000 and beyond. *HortTechnology* 10:483-486.
- Kim, J.J. and Y.M. Park. 2008. Respiratory metabolic changes in 'Fuji' apples during poststorage exposure to freezing temperature and subsequent refrigerated storage as related to the incidence of flesh browning. *Hort. Environ. Biotechnol.* 49:232-238.
- Mattheis, J. and J.K. Fellman. 2000. Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities. *HortTechnology* 10:507-510.
- 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, H.W. and D. Kim. 2000. Effect of functional MA packaging film on freshness extension of 'Fuji' apples. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29:80-84.
- Park, H.W., J.D. Park, D.M. Kim, and J. Choi. 2001. Freshness extension of 'Fuji' apple to packaging materials. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 8:345-350.
- Park, H.W., S.A. Lee, Y.H. Kim, Y.M. Kim, H.S. Cha, and J.D. Park. 2007. Effects of calcium chloride treatment and modified atmosphere packaging on the quality of 'Fuji' apple. *Kor. J. Food Preserv.* 14:457-461.
- Park, Y.M. 2004. Storage response of 'Fuji' apples to postharvest near-freezing temperature exposure and subsequent elevated carbon dioxide atmospheric condition. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 45:31-37.
- 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. and S. 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 S.K. Lee. 2001. Critical regime of controlled atmosphere avoiding internal browning disorder of 'Fuji' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19(Suppl. I):92. (Abstr.)
- Park, Y.M. and S.K. Lee. 2003. Ethylene removal program for quality maintenance of cold-stored 'Fuji' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21:203-208.
- Park, Y.M., Y.P. Hong, and H.J. Kweon. 2005. *Postharvest technology manual*. National Agricultural Cooperative Federation, Ministry for Food, Agriculture, Forest and Fisheries, Korea. p. 10-12.
- Yang, Y.J., Y.S. Hwang, and Y.M. Park. 2007. Modified atmosphere packaging extends freshness of grapes 'Campbell Early' and 'Kyoho'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:138-144.