

저장방법에 따른 ‘후지’ 사과의 품질 및 향기 특성

박찬완 · 최동수 · 김용훈 · 김진세 · 김승희¹ · 콧용범¹ · 송주희^{1*}
국립농업과학원 수확후관리공학과, ¹국립한국농수산대학교 원예학부

Quality and Aroma Characteristics of ‘Fuji’ Apples According to Storage Method

Chun Wan Park, Dong Soo Choi, Yong Hoon Kim, Jin Se Kim,
Seung Heui Kim¹, Yong Bum Kwack¹, and Ju Hee Song^{1*}

Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Sciences
¹Korea National University of Agriculture and Fisheries

Abstract

To predict the quality of Fuji apples, this study investigated the characteristics and correlations of their fruit quality according to storage method and storage period. Fuji apples were stored in cold storage at 0°C for 250 days with no treatment, with 1-MCP treatment, and under controlled atmosphere (CA) storage. According to the storage method, the weight loss was the lowest in the CA-treated group (3.43%) until 250 days, and the change in fruit firmness was the least in the 1-MCP group. The titratable acidity remained above 0.2% for 1-MCP and CA storage until 250 days and decreased to 0.1% for cold storage. The principal component analysis showed a difference in quality between the 1-MCP group, CA group, and cold storage group after 200 days of storage. Six types of volatile components were commonly detected in all storage methods, while three types of independent components with a low threshold were detected in 1-MCP. Weight loss, titratable acidity, and firmness were highly correlated with physicochemical quality, and CA storage was judged to be a long-term storage technology that satisfies consumers' tastes by maintaining excellent flavor and quality.

Keywords: Fuji apple, CA, 1-MCP, aroma

서 론

사과의 재배면적은 노지 과수 재배면적의 19.8%로 높은 비중을 차지하고 있는 대표 과일이며 2021년 생산량은 515.9천톤이다. 그중 ‘후지’ 사과 재배면적이 약 68%로 가장 많이 재배되고 있는 품종이다(KREI, 2022). ‘후지’ 사과는 저온저장을 통해 5-6개월간 품질이 유지되어 다른 품종 사과에 비해 저장성이 강한편이나 저온저장을 통한 출하시기 조절 등에는 한계가 있다. 이에 에틸렌 작용 억제제인 1-methylcyclopropene (1-MCP)를 수확 후 과실에 훈증처리(Park et al., 2011, Ann et al., 2012)하거나 수확 2-3주 전 수체에 직접 살포(Yoo et al., 2015, Yoo et al., 2018) 함으로 호흡량 및 에틸렌 발생량을 저하시켜 저장기간 및 신선도 유지하는데 효과를 보이고 있다. 또한 최근 일부 대형유통마켓에서만 이용되던 controlled atmosphere

(CA) 저장시스템이 소규모 농가 및 조합단위에 보급되며 화학처리 없이 장기저장 및 유통이 성공적으로 이루어짐에 따라 새로운 장기저장방법으로 각광받고 있다.

CA 저장의 경우 O₂ 및 CO₂의 농도를 조절하여 호흡 및 생리작용을 억제하여 품질을 유지하는 기술로써 산소농도를 2%까지 조절한 후 저장고 개방을 출하시까지 최소화해야 한다(Park et al., 2016). 이러한 장기저장기술의 발달로 인해 수급조절 및 출하시기 조절이 편리해지고 있으나, 저장중인 농산물의 품질을 수시로 파악하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 Park et al. (2016)은 ‘후지’ 사과를 CA 저장하고 저장기간동안 수행한 기체호흡을 및 품질조사 결과를 회귀분석하여 품질예측 하였으며, Kim et al. (2018)은 CA 저장 배추를 이용해 이화학적 품질간의 상관관계를 분석하였다. Kwak et al. (2012)은 저장고의 상대습도변화에 따른 저장기간과 감모율 사이의 상관관계를 분석하여 사과 저장기간을 예측하였고, Park et al. (2017)은 ‘후지’ 사과의 저장기간동안 감모율 예측결과를 통해 Park et al. (2016)의 시험결과를 검증 한 바 있다. 이와 같이 저장에 따른 사과 품질예측에 있어 감모율만이 제한적으로 적용되어 연구되었고, 이화학적 품질특성과 관능에 미치는 영향 등의 상관

*Corresponding author: Ju Hee Song, Korea National University of Agriculture and Fisheries, JeonJu, Jeollabuk-do, 54874, Korea
Tel: +82-63-9166; Fax: +82-63-238-9179
E-mail: Songg11@korea.kr
Received September 28, 2022; revised November 21, 2022; accepted November 23, 2022

관계 분석을 통한 품질예측에 관한 연구는 부족하다. 특히, 사과와 향기 성분은 다른 영양성분에 비해 아주 미량으로 존재하지만 품종(Lee et al., 2000, Koh et al., 2009)이나 저장방법(Choi & Kim, 1999, Lopez et al., 2000) 등에 따라 관능적 평가가 다르며 저장사과를 선택하는 소비자의 구매욕구와 만족도에 영향을 주는 요인 중 하나이다.

본 연구에서는 저온저장, 1-MCP 처리, CA 저장 방법 및 저장기간에 따른 이화학적 품질특성을 파악하고 상관관계를 분석하여 품질예측을 위한 기초자료를 확보하고, 저장방법에 따른 향기성분을 분석함으로써 ‘후지’ 사과의 저장특성을 관찰하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구는 2019년 11월 12일 경상북도 청송에서 적숙기에 수확한 ‘후지’ 사과를 사용하였다. 외관손상이 없는 250-300 g 사이의 사과를 각각 선별하여 HDEP (high-density polyethylene) 박스(525×365×320 mm)에 18-20 kg씩 담았다. 수확 당일 포장한 박스는 저온저장고 및 CA 저장고에 입고하였다.

저온 및 1-MCP 처리구와 CA 저장 조건

저장시설은 청송에 위치한 영농조합의 저온저장고(99 m²) 및 보급형 CA 저장고(2.5×2.7×7 m)를 이용하였다. 저온저장은 저장창고에 온도를 0-1°C 범위로 제어하였으며, 수분공급을 위해 바닥에 물을 공급해주었다. 1-MCP 처리구는 저온저장 처리구와 동일한 조건에서 입고 10일 후 1-MCP를 처리하였고, 한달간 1일 1시간 환기를 진행했다. CA 저장고는 저온저장과 동일한 온도구간(0-1°C)에서 제어되도록 설정하였으며, 갈변억제를 위한 밀증상 제거를 위해 21일 지연 CA (Park et al., 2016) 후 기체환경을 제어 하였다(Kweon et al., 2014). 지연 CA가 진행되는 동안 기체농도는 O₂ 20-20.9%, CO₂ 0.2-0.5%로 환기를 통한 CO₂ 제어를 했으며, 21일 이후 질소발생기를 이용하여 고농도 질소(95-99%)를 공급해 O₂ 2-2.5%, CO₂ 0.2-0.8% 범위로 제어했다. CA 저장고는 농촌진흥청에서 개발하여 시범보급된 저장고이며, 세부 구성장치는 기체환경 측정을 위한 통합센서(SH-VT-250-O2, Sohatech Co., Seoul, Korea), CA 제어장치(DDC-478 & SM-7000T, Systronics Co., Bucheon, Korea), 기체 정밀제어를 위한 질소발생기(10 Nm³/h, GNG-2n-10, GSA Co., Gwangju, Korea)로 구성되어 있다.

저장 중 ‘후지’ 사과의 품질 변화 분석

저장방법에 따른 ‘후지’ 사과의 품질조사는 저장 0일, 100일, 200일, 250일에 각각 하였다. 품질조사는 선행연구(Kweon et al., 2012; Park et al., 2016)의 조사방법을 바

탕으로 진행하였다. 감모율은 HDPE 박스 단위로 저장된 사과 시료 10박스의 초기의 중량을 디지털저울(PB30, CAS, Yangju, Korea) 측정한 뒤 저장기간 중 감소한 시료의 중량을 초기중량에 대한 백분율로 환산하여 각각 나타냈다. 경도는 Texture Analyzer (TA. XT-plus, Stable micro system Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 penetration test를 수행하였으며, 지름 5 mm puncture probe를 이용해 test speed 2 mm/s와 10 mm/s 깊이로 측정 후 N 값으로 나타냈다. 가용성 고형물 함량은 처리구별로 랜덤하게 선별된 사과를 Blender (MQ31350, BRAUN, Kronberg, Germany)를 이용하여 3분간 각각 균질화 한 뒤 착즙망(Whirl-pak, B01248WA, Nsco, Fort Atkinson, WI, USA)으로 여과 후 디지털 굴절당도계(RX-5000a, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하여 °Brix로 나타냈다. 산도는 균질화 후 여과된 시료 5 mL와 증류수 45 mL를 혼합한 뒤 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.3이 될 때까지 pH meter (TitroLine 5000, SI Analytics, Weihein, Germany)를 이용하여 pH 측정 및 적정 후 사과 주요 유기산인 malic acid 함량(%)으로(Kweon et al., 2012; Park et al., 2016) 계산하였다.

휘발성 향기 성분 분석

휘발성 향기성분 분석은 Seo et al. (2008)가 수행한 향기분석방법 중 SPME 법에 의해 향기성분을 추출하고, 동일한 방법으로 분석 및 정량하였다. 시료는 무작위로 선별한 사과 3개를 균질화 하여 시료 100 g을 취하였다. 동일한 방법으로 처리구당 3회씩 취득한 시료는 내부표준물질로 n-butyl-benzene 1 µL를 첨가한 시료 중 5 g을 Headspace vial에 취하여 50±2°C로 유지한 후 SPME를 수직으로 세워 30분 동안 시료 내의 휘발성 향기성분을 PDMS/DVB fiber (poly-dimethylsiloxance/divinylbenzene 65 µm, Supelco, USA)에 흡착시켰다. 휘발성 향기성분이 포집된 SPME fiber를 GC injector에 주입하여 3분간 휘발성분을 탈착하여 splitless mode로 분석하였다. 휘발성 향기성분의 정량분석은 GC/MS는 HP 5973 Mass selective detector (Agilent technologies Inc., Chandler, AZ, USA)가 연결된 HP 6890 Series gas chromatograph를 사용하였고, GC/MS에 의해 TIC (total ionization chromatogram)에 분리된 각 peak의 성분 분석은 mass spectrum library (Wiley 275&7N, NBS 75K) 등을 비교, 확인하였다. 확인된 휘발성 향기성분의 정량은 내부 표준물질로 첨가된 n-butylbenzene과 동정된 향기성분의 peak area를 이용하여 시료 1 kg에 함유된 휘발성 향기성분을 상대적으로 정량하였고 검출량이 높은 상위 10종을 정량하여 비교하였다.

통계 분석

시료는 처리구당 30개를 임의 선별하여 측정하였으며, 실험 결과는 평균값±표준편차로 나타냈다. 각 저장 처리구

의 평균값 간의 차이는 SPSS (Statistical Package for the Social Science, Version 20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 소프트웨어를 이용하여 일원배치 분산분석법으로 검증하였고 유의적 차이가 있는 경우는 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan의 다중검정 방법으로 사후분석을 실시하였다.

저장기간에 따른 중량감소율, 가용성고형물, 산도, 경도 변화 및 향기성분의 상관관계는 Pearson 상관분석을 이용하여 분석했으며, 주성분분석(PCA)을 통해 저장방법에 따라 발생한 이화학적 품질특성의 차이를 그룹화하여 그 변화를 관찰하였다.

결과 및 고찰

‘후지’ 사과 저장방법에 따른 품질의 변화

저장 중 사과는 지속적인 생리활동에 의해 무게감소와 이화학적 품질에 변화가 발생한다. 1-MCP는 에틸렌에 의한 후숙 과정을 화학적으로 억제하며(Park et al., 2011, Yoo et al., 2018), CA 저장은 저장고의 산소 및 이산화탄소 농도를 제어하여 생리작용을 억제한다(Park & Yoon, 2006). 각각의 저장방법에 따라 저장기간동안 변화하는 감모율, 경도, 가용성 고형물 함량 그리고 산함량을 Fig. 1-4에 나타냈다. 감모율은 저온저장은 저장 100일부터 250일까지 1.23, 3.50, 4.90%가 감소하였고, 1-MCP 저장에서도 비슷한 수준(1.31, 3.69, 4.41%)으로 감소하였으나, CA 저장의 경우 1.11, 2.24, 3.43%로 비교적 무게감소가 적게 일어났다. 이는 기체환경을 정밀하게 유지하기 위해 CA 저장고의 기밀성이 높게 제작되어 95% 이상의 고습이 유지되어 증산작용이 억제되었기 때문으로 판단된다(Park et

al., 2017). 과일의 경도는 저온저장은 저장 전 13.8N에서 저장 100일부터 250일까지 저장기간이 경과함에 따라 각각 12.3, 11.2, 10.3 N으로 감소가 현저하였다. 반면 1-MCP 저장은 저장 후 250일까지 경도 변화가 거의 없었으며 CA 저장은 저장 100일부터 250일까지 13.5, 13.1 12.6N으로 저온저장에 비해 높은 경도를 유지하였다. 산함량의 변화를 보면 저장 전 0.32%에서 저온저장은 100일부터 250일까지 저장기간이 경과함에 따라 각각 0.22, 0.10, 0.13%로 급격히 감소하였으나 1-MCP 저장과 CA 저장은 저장 100일까지 0.20, 0.22%로 감소하다 이후 250일까지 그 수준을

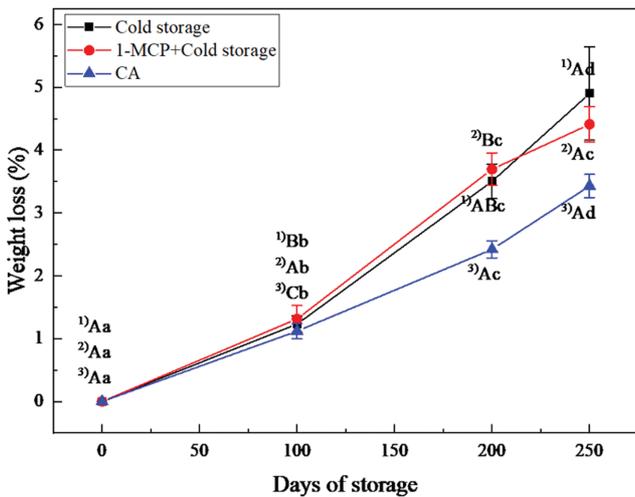


Fig. 1. Changes in the weight loss (%) of ‘Fuji’ apple stored under ¹Cold storage, ²1-MCP+Cold storage and ³CA storage. Means values in the storage method (A-C) or storage days (a-d) followed by different letters are significantly different according to Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$).

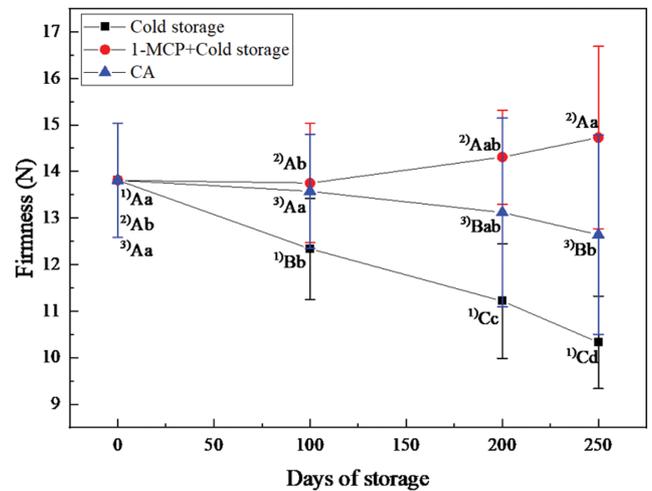


Fig. 2. Changes in the Firmness (N) of ‘Fuji’ apple stored under ¹Cold storage, ²1-MCP+Cold storage and ³CA storage. Means values in the storage method (A-C) or storage days (a-d) followed by different letters are significantly different according to Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$).

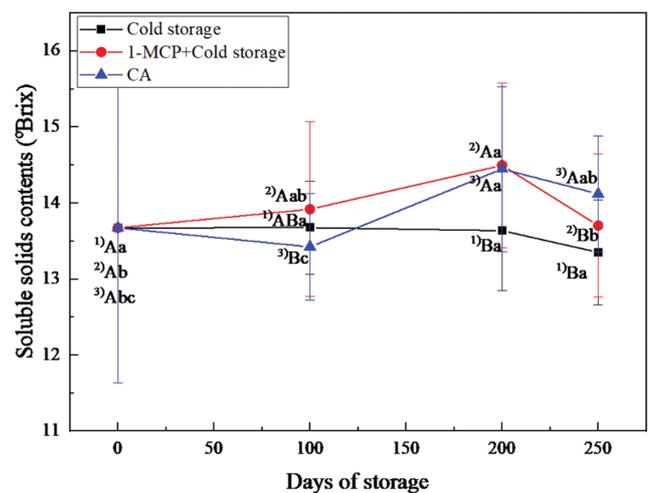


Fig. 3. Changes in the Soluble solids (°Brix) of ‘Fuji’ apple stored under ¹Cold storage, ²1-MCP+Cold storage and ³CA storage. Means values in the storage method (A-B) or storage days (a-c) followed by different letters are significantly different according to Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$).

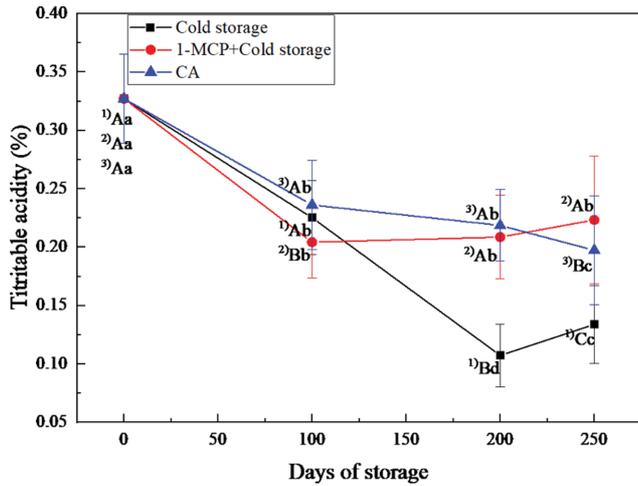


Fig. 4. Changes in the Titratable acidity (%) of ‘Fuji’ apple stored under ¹Cold storage, ²1-MCP+Cold storage and ³CA storage. Means values in the storage method (A-c) or storage days (a-d) followed by different letters are significantly different according to Duncan’s multiple range test ($p<0.05$).

유지하였다. 이는 저장기간 동안 호흡이 억제되어 기질로 쓰이는 유기산의 손실이 적음으로 산함량 감소와 과실이 연화가 억제된다는 결과와 같았다(Yoo et al., 2018). 가용성 고형물 함량은 저장 200일까지 1-MCP와 CA 저장에서 14.5°Brix 내외로 증가하다 이후에는 감소하는 경향을 보인 반면, 저온저장은 13.6°Brix로 유지되다 감소하였다. 이는

1-MCP 처리와 CA 저장 사과에서 수확 시 잔존하는 전분의 당화로 인해 저장 후 가용성고형물이 증가하며 저장 200일 까지 호흡이 극도로 억제됨으로써 당함량 소모는 최소화되어 당함량이 증가된 결과와 유사하며(Park & Youn, 1999, Park et al., 2011), 저온 저장은 지속적인 호흡기질 사용으로 당함량이 감소하는 것으로 해석된다. 이상의 결과로 볼 때 ‘후지’ 사과를 1-MCP 저장과 CA 저장으로 저장 250일까지 품질이 유지되었으며 계획적인 저장과 유통으로 시장에 연중 분산출하가 충분히 가능함을 알 수 있었다.

‘후지’ 사과 저장방법에 따른 품질 상관관계 및 주성분 분석 저장방법에 따라 영향을 받는 사과의 품질 지표들 파악하기 위해 감모율, 경도, 가용성고형물함량, 산함량, 당산비, 생리장해 및 병해의 각 변수 간 상관관계를 분석한 결과가 Table 1과 같다. 저온저장한 사과의 경우 감모율, 경도, 산함량은 가용성고형물 함량과 기타장해를 제외한 모든 품질 조사항목과 유의적인($p<0.01$) 관계를 보이고 있다. 1-MCP 처리구와 CA 저장한 사과는 감모율이 가용성고형물을 제외한 모든 품질조사 항목과 유의적인($p<0.05$ 또는 $p<0.01$) 관계를 보였으며, 적정산도가 당산비 및 저장장해와 유의적인($p<0.01$) 음의 상관관계를 보였다. 한편 가용성 고형물 함량은 각각의 저장방법과 저장기간에 상관없이 공통적으로 낮은 상관성을 보이고 있다. 이와 같이 다양한 저장조건에서 품질에 가장 큰 영향을 미치는 품질항목은 감모율

Table 1. Pearson’s correlation coefficients of weight loss, firmness, soluble solids contents, titratable acidity, SSC-TA ratio, physiological disease and etc. disorder

Treatment	Parameter	Weight loss	Firmness (N/mm)	SSC (°Brix)	TA (%)	SSC/TA	Physiological disease	etc. disorder
Cold storage	Weight loss	1						
	Firmness	-.730**	1					
	SSC	-0.075	0.081	1				
	TA	-.834**	.678**	0.014	1			
	SSC/TA	.697**	-.510**	0.114	-.895**	1		
	Physiological disease	.948**	-.691**	-0.103	-.750**	.649**	1	
	etc. disorder	-0.159	-0.012	0.029	-0.014	-.181*	-.365**	1
1-MCP	Weight loss	1						
	Firmness	.230*	1					
	SSC	0.082	0.121	1				
	TA	-.518**	-0.174	-.179*	1			
	SSC/TA	.451**	.207*	.441**	-.922**	1		
	Physiological disease	.773**	.239**	-0.064	-.323**	.241**	1	
	etc. disorder	.374**	0.052	-0.019	-.609**	.473**	.538**	1
CA storage	Weight loss	1						
	Firmness	-.243**	1					
	SSC	.203*	-0.005	1				
	TA	-.729**	.213*	-0.130	1			
	SSC/TA	.687**	-.203*	.354**	-.917**	1		
	Physiological disease	.646**	-0.161	-0.026	-.615**	.506**	1	
	etc. disorder	.485**	-0.126	-0.086	-.474**	.386**	.968**	1

Level of significance: ** $p<0.01$, * $p<0.05$

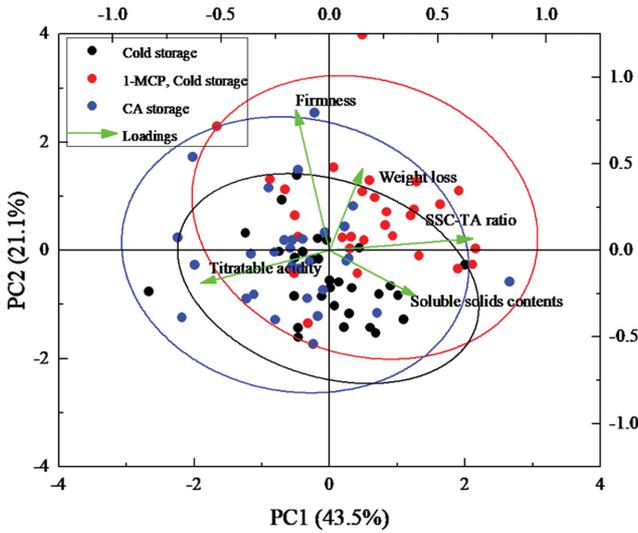


Fig. 5. 100 days after PCA analysis using weight loss, sugar content, acidity, sugar acid ratio, and firmness. Ellipse means 95% confidence in line with storage method.

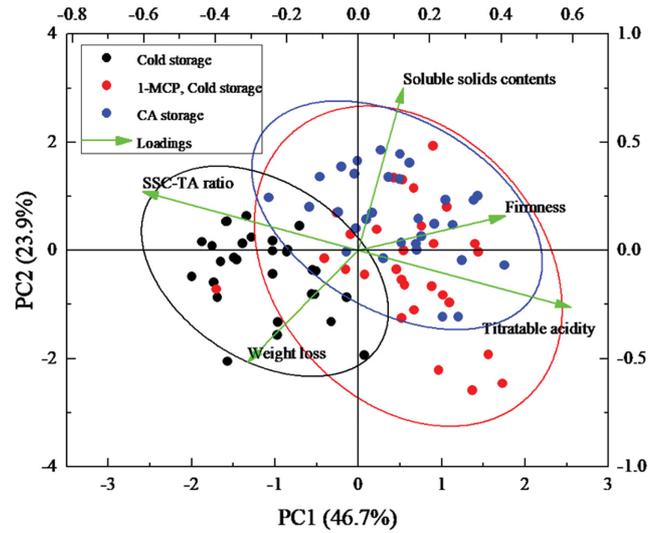


Fig. 7. 250 days after PCA analysis using weight loss, sugar content, acidity, sugar acid ratio, and firmness. Ellipse means 95% confidence in line with storage method.

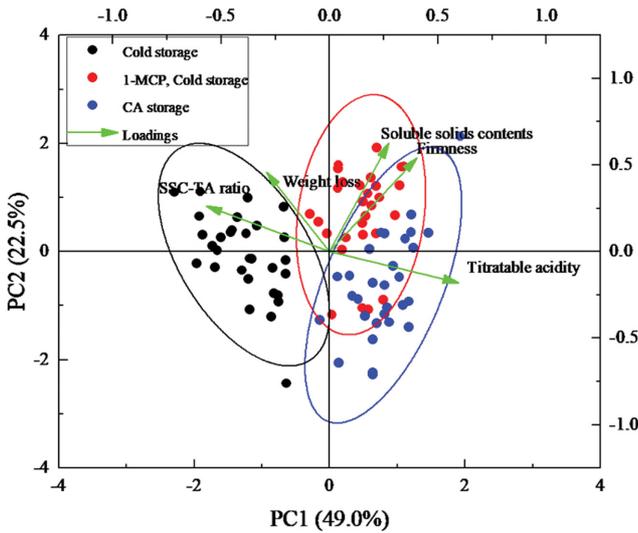


Fig. 6. 200 days after PCA analysis using weight loss, sugar content, acidity, sugar acid ratio, and firmness. Ellipse means 95% confidence in line with storage method.

이였으며, 산함량이 가용성 고형물함량보다 이화학적 품질 및 장해와 상관성이 높게 나타났다.

저장방법에 따라 분석한 ‘후지’ 사과의 감모율, 가용성고형물함량, 경도, 산함량, 당산비 분석 결과를 이용하여 저장일별 주성분분석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 5-7에 나타냈다. 주성분 분석은 많은 변량으로부터 주성분을 추출하고 다변량의 차원을 축소하여 변량들의 변동을 효율적으로 설명하는 통계적 기법이다(Jeon et al., 2020). 즉, 이화학적 품질조사 결과를 표준화한 표준화 변수의 선형결합을 통해 이화학적 품질정보를 가지고 있는 새로운 주성분(PC1, PC2, PC3, PC4, PC5)으로 분석하는 것을 말하며

이때 PC는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(Kim & Kim, 2020). 이때, PC_i는 주성분 i, Z_j는 표준화변수 j, b_{ij}는 주성분 i에 대한 변수 j의 가중값(계수)을 나타낸다. 이후 새롭게 분석된 주성분 PC1, PC2를 가지고 모든 이화학적 품질 특성을 설명할 수 있다면 다양한 분석이 가능해진다.

$$PC_i = b_{i1}Z_1 + b_{i2}Z_2 + \dots + b_{ip}Z_p \quad (1)$$

본 연구에서는 저장일수에 따라 변화된 이화학적 품질의 상대적 차이를 저장방법에 따라 그룹화 하여 상대적 품질 특성차이를 파악하고자 하였다. 저장 100일차에는 그룹간 중복이 높게 나타나고 있으며, PC1 및 PC2는 각각 43.5%, 21.2%로 PC1 및 PC2 2개의 주성분으로 이화학적 품질의 그룹간 차이를 64.6% 설명할 수 있었으며, PC1은 산도와 당산비가 영향력이 높았고 PC2는 경도의 영향력이 높았다. 저장 200일차에는 PC1과 PC2가 각각 49%, 22.5%로 두개의 주성분을 통해 그룹간 차이를 71.9% 설명할 수 있었으며, 저장방법에 따라 품질특성이 구분되는 시점임을 할 수 있다. 일반적으로 ‘후지’ 사과의 저온저장은 5-6개월로 알려져 있으며 CA 저장사과는 8개월 이상 가능한 것으로 보고된다(Park et al., 2011, Kweon et al., 2014, Park et al., 2016). 저온저장한 사과가 1-MCP 및 CA 저장 사과와 그룹간 구분이 시작되는 시점임을 고려할 때 1-MCP 및 CA 저장 사과 대비 저온저장의 이화학적 품질이 나빠지는 시점임을 확인할 수 있다. 특히, 이화학적 품질특성 중 산함량과 당산비가 PC1의 주요영향요인으로 파악되어 ‘후지’ 사과의 품질특성에 산함량이 미치는 영향력이 큰 것으로 파악된다.

‘후지’ 사과 저장방법에 따른 향기 성분의 변화
저장방법에 따른 ‘후지’ 사과의 과실로부터 검출량이 많

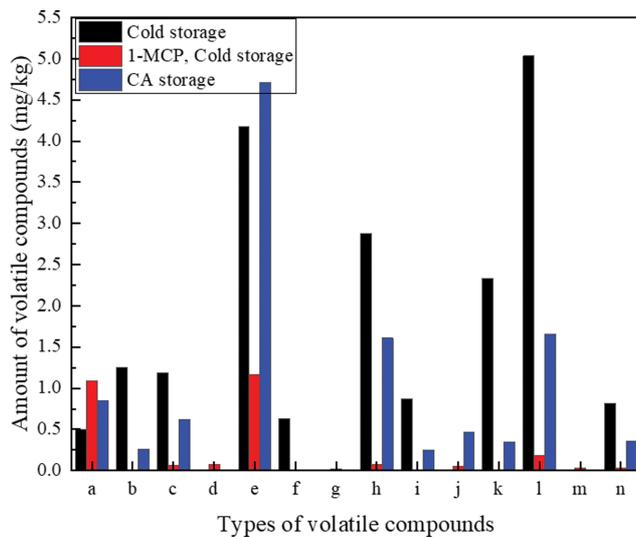


Fig. 8. Total volatile compound according to storage methods. (a) 2-methyl-1-butanol (=active amyl alcohol), (b) butyl acetate, (c) 1-hexanol, (d) 1,3-dimethylbenzene (=m-xylene), (e) 2-methylbutyl acetate, (f) butyl butanoate, (g) 2-methylbutyl propanoate, (h) hexyl acetate, (i) butyl 2-methylbutanoate, (j) 2-methylbutyl 2-methylbutanoate, (k) hexyl butanoate, (l) hexyl 2-methylbutanoate, (m) 2-methylbutyl hexanoate, (n) hexyl hexanoate.

은 상위 10종의 휘발성 향기성분을 분석한 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 총 14종의 휘발성 향기 성분이 분리 동정되었으며, 알콜류 3종과 에스테르 화합물 8종 그 외 성분 2종이었다. 이중 2-methyl-1-butanol 등 6종은 저장방법과 상관없이 모든 처리구에서 동일하게 검출되었고, 저온저장과 CA 저장에서는 9종이 일치하였으며 1-MCP 저장의 경우 3종의 독립된 성분이 검출되었다. 대부분 향기 성분의 역치는 저온저장, CA 저장, 1-MCP 저장 순으로 높았으며, 저온저장에 비해 두 저장방법 모두 향기 성분 생성이 억제되는 것으로 조사되었다. CA 조건에서의 향기 생성 저하는 에틸렌 생성 및 작용의 억제와 관련이 있으며 에틸렌은 지방산의 분해와 합성 및 아미노산의 축적 등과 함께 이들의 향기 성분으로의 전환에 영향을 미친다고(Choi & Kim, 1999) 보고되었다. 이중, 2-methylbutyl acetate, hexyl-2-methylbutanoate, butyl acetate는 저온저장과 CA저장에서는 비교적 높은 역치를 나타냈으나, 1-MCP 저장사과에서는 매우 낮게 또는 검출되지 않았다. 사과의 향기 성분은 품종에 따라 차이는 있지만 일반적으로 butanol과 hexanol이 다량 확인되는 것으로 알려져 있으며 butanol은 달콤한 향을 낸다고 보고되었다(Paillard, 1990, Dixon & Hewett, 2000). 특히 hexyl-2-methylbutanoate는 대표적인 사과향기 성분이며(Seo et al., 2008), 2-methylbutyl acetate는 ‘후지’ 사과의 주요 향기 성분이지만(Lee et al., 2000) 1-MCP 저장 사과에서 아주 낮은 역치가 조사된 것으로 볼 때 1-MCP 저장 사과가 저장 직후 실시한 식미 평가에서 향이 없다는

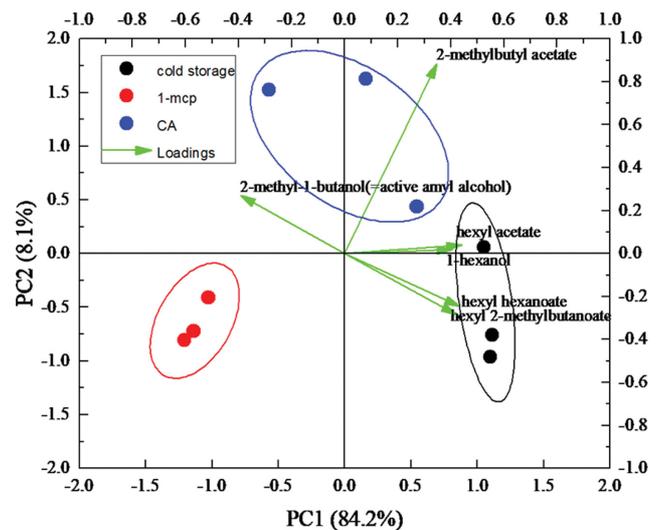


Fig. 9. PCA analysis using volatile compound according to storage methods. Ellipse means 95% confidence in line with storage method.

관능적 평가 결과에 기여한다고 볼 수 있다. 또한 저장방법에 따라 검출된 상위 10종의 휘발성 성분 중 1-MCP 처리구에서 2-methylbutylhexanoate, 2-methylbutyl propanoate가 검출되고 butyl acetate, Hexyl butanoate, butyl 1-methylbutanoate가 미검출 된것은 1-MCP 처리가 특정 향기 성분의 감소에 더 높은 영향을 나타내는 것으로 추측된다.

보통 과실의 세포내 에틸렌 수용체에 결합된 1-MCP는 일반적으로 반감기가 30일 정도이며(Sisler & Serek, 1999) 처리 후 과일에 잔류하지 않고 독성이 매우 낮은 것으로 인정되고 있으나(Blankenship & Dole, 2003), 사과 향기성분으로 검출되지 않은 1,3-dimethylbenzene 성분이 1-MCP 저장 사과에서만 검출된 결과로 볼 때 이에 연관된 연구가 더 필요할 것으로 사료된다(Lee et al., 2000, Echeverria et al., 2003, Seo et al., 2008) 저장방법에 따른 ‘후지’ 사과의 향기성분에 대한 주성분분석 결과 세 처리구는 92.3%의 높은 설명력으로 명확하게 구분되었다(Fig. 9). 따라서 CA 저장을 통한 장기저장기술이 화학적 처리를 통한 장기저장기술보다 향기 성분 전환에 더 유리함과 동시에 사과의 이화학적 품질을 유지할 수 있어 소비자의 식미를 충족하기 위한 장기저장기술로 판단된다. 또한 저장방법에 따른 이화학적 품질변화보다 휘발성 향기성분이 주성분에 대한 설명력이 높게 나타나 품질예측 지표로 활용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

요 약

본 연구에서는 ‘후지’ 사과의 저장방법 및 저장기간에 따른 과실 품질특성을 조사하고, 상관관계를 분석하여 저장사과의 품질예측을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하

였다. 저장방법에 따른 감모율은 저장 250일까지 CA 처리구가 가장 적었으며(3.43%), 과실의 경도는 1-MCP 처리구 변화가 가장 적었다. 산함량은 저장 250일까지 1-MCP와 CA 처리구는 0.2% 이상을 유지하는 반면, 저온저장은 0.1%까지 감소하는 경향을 보였다. 가용성 고형물 함량은 저장 200일까지 1-MCP와 CA 처리구에서 14.5°Brix 내외로 증가하다 이후에는 감소하는 경향을 보인 반면, 저온저장은 13.6°Brix로 유지되다 감소하였다. 저장방법에 따른 이화학적품질간 상관관계는 저온저장 사과의 감모율, 경도, 산함량은 가용성 고형물 함량과 기타장해를 제외한 모든 품질특성간 높은 유의적 상관관계($p < 0.01$)를 보였다. 1-MCP와 CA 처리구는 감모율이 가용성 고형물 함량을 제외한 모든 품질 특성 항목과 유의적 상관관계($p < 0.05$ 또는 $p < 0.01$)를 보였으며, 산함량이 당산비 및 저장장해와 유의적($p < 0.01$) 음의 상관관계를 보였다. 또한, 저장방법과 저장기간에 따른 주성분 분석을 통해 그룹별 과실 품질변화는 저장 100일까지 그룹간 중복이 높게 나타나 그룹간 차이(64.6%)를 확인하기 어려웠으나, 저장 200일에는 그룹간 차이(71.9%)가 나타나 저장방법에 따라 품질특성이 구분되는 시점으로 1-MCP 및 CA 저장 사과에 대비 저온저장 사과의 품질이 나빠지는 시점임을 알 수 있었다. 저장방법에 따른 ‘후지’ 사과의 과실로부터 총 14종의 휘발성 향기 성분이 분리 동정되었으며, 6종은 모든 처리구에서 검출되었고, 저온저장과 CA 저장에서는 9종이 일치하였으며 1-MCP 저장의 경우 3종의 독립된 성분이 검출되었다. 대부분 향기 성분의 역치는 저온저장, CA 저장, 1-MCP 저장 순으로 높았으며, 이중 2-methylbutyl acetate, hexyl-2-methylbutanoate, butyl acetate는 저온저장과 CA 저장에서는 비교적 높은 역치를 나타냈으나, 1-MCP 저장사과에서는 매우 낮게 또는 검출되지 않았다. 저장방법에 따른 ‘후지’ 사과의 향기성분에 대한 주성분분석 결과 세 처리구는 92.3%의 높은 설명력으로 명확하게 구분되었다. 이상의 결과로 볼 때 ‘후지’ 사과의 저장방법과 저장기간에 따른 품질 변화는 감모율, 산함량 그리고 경도가 저장사과의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 사과의 장기저장 중 품질 예측을 위한 영향력이 높은 중요 지표로 판단된다. 또한 CA 저장을 통한 장기저장기술이 화학적 처리를 통한 장기저장기술보다 향기 성분 전환에 더 유리함과 동시에 사과의 이화학적 품질을 유지할 수 있어 소비자의 식미를 충족하기 위한 장기저장기술로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2022년 농촌진흥청 고유연구사업(과제번호: PJ016755022022)의 지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

References

- Ann SW, Jung JH, Kim YC. 2012. Effects of 1-methylcyclopropane on storage life and fruit qualities of “Fuji” Apple fruit. *J. Environ. Sci. Int.* 21: 83-88.
- Blankenship SM, Dole JM. 2003. 1-Methylcyclopropane: a review. *Postharvest Biol. Tec.* 28: 1-25.
- Choi SJ, Kim JE. 1999. The Change in aroma production of ‘Fuji’ apple fruits as influenced by CA storage. *Hortic. Environ. Biote.* 40: 61-64.
- Dixon J, Hewett EW. 2000. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A review. *New Zeal. J. Crop. Hort.* 28: 155-173.
- Echeverria G, Fuentes MT, Graell J, Lopez ML. 2003. Relationships between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of Fuji apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. *J. Sci. Food Agr.* 84: 5-20.
- Jeon JS, Joo HE, Lee SH, Choi YM, Choung MG. 2020. Vitamin B1, B2, and B3 contents of grape cultivated in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 49: 814-821.
- Kim MN, Park SH, Park CW, Choi SY, Choi DS, Kim JS, Kim YH, Lee SJ. 2018. Quality estimation of winter chinese cabbage stored in purge type of controlled atmosphere storage. *Food Eng. Prog.* 22: 59-66.
- Kim SH, Kim JP. 2020. Analysis of the patent competitiveness of major Korean companies using PCA. *J. Industrial Innovation* 36: 213-241.
- Koh JT, Yu YJ, Kim MG. 2009. Analysis and evaluation of degrees of contribution of aroma components in hongro apples. *Korean J. Food Sci. Technol.* 41: 603-608.
- KREI. 2022. Agricultural Outlook 2022 Korea. KOREA RURAL ECONOMIC INSTITUTE (E04-2022), Naju-si, Korea, pp. 601-603.
- Kwak YS, Lee JY, Cho MA, Kim HJ, Shin HJ, Song SK. 2012. A study on the quality measurement and environment monitoring for farm products based on sensor network. *Kor. Inst. Inform. Tech.* 11: 159-164.
- Kweon HJ, Choi DG, Lee JW, Kang IK. 2014. Fruit quality characteristics of ‘Fuji’ apple fruits in response to air storage after CA storage. *Hortic. Sci. Technol.* 32: 178-183.
- Lee HJ, Park ER, Kim KS. 2000. Volatile flavor components in various varieties of apple (*Malus pumila* M.). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 597-605.
- Lopez ML, Lavilla MT, Recasens I, Graell J, Vendrell M. 2000. Changes in aroma quality of ‘Golden Delicious’ apples after storage at different oxygen and carbon dioxide concentrations. *J. Sci. Food Agr.* 80: 311-324.
- Paillard NMM. 1990. The flavour of apples, pears and quinces, in food flavours: Part C. Flavour Fruits. Morton ID, Macleod AJ, eds. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. pp. 1-13.
- Park CW, Park SH, Kim JS, Choi DS, Kim YH, Lee SJ. 2017. Weight loss prediction by operating conditions of CA storage. *Food Eng. Prog.* 21: 312-317.
- Park SH, Park CW, Park JW, Cho DSi, Kim JS, Kim YH, Choi SR, Lee SJ. 2016. Prediction for storage life and quality of Fuji apple stored in a controlled atmosphere container. *Food Eng. Prog.* 20: 373-378.
- Park YM, Park HG, Lim BS. 2011. Analysis of postharvest 1-

- MCP treatment and CA storage effects on quality changes of 'Fuji' apples during export simulation. *Hortic. Sci. Technol.* 29: 224-231.
- Park YM, Yoon TM. 2006. Impact of storage method and shelf temperature on quality attributes and physiological metabolism of 'Fuji' apples. *Hortic. Environ. Biote.* 47: 138-143.
- Park YM, Youn SW. 1999. Poststorage physiology and quality changes of 'Fuji' apples as influenced by harvest maturity and storage procedures. *Food Sci. Biotechnol.* 8: 30-33.
- Seo HY, Lee HC, Kim YS, Choi IW, Park YK, Shin DB, Kim KS, Choi HD. 2008. Characteristics of volatile flavor compounds of Fuji apples by different extraction methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 1615-1621.
- Sisler EC, Serek M. 1999. Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot. Bull. Acad. Sinica.* 40: 1-7.
- Yoo JG, Kang BK, Lee JW, Kim DH, Lee DH, Jung HY, Choi DG, Choung MG, Choi IM, Kang IK. 2015. Effect of preharvest and postharvest 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on fruit quality attributes in cold-stored 'Fuji' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33: 542-549.
- Yoo JG, Suk YJ, Lee JW, Jung HY, Choung MG, Park KI, Han JS, Cho YJ, Lee DH, Kang IK. 2018. Preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) effects on fruit quality attributes and cell wall metabolism in cold stored 'Fuji' apples. *Hortic. Sci. Technol.* 36: 853-862.

Author Information

- 박천완: 국립농업과학원 수확후관리공학과 전문연구원
 최동수: 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사
 김용훈: 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사
 김진세: 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사
 김승희: 한국농수산대학교 원예학부 부교수
 광용범: 한국농수산대학교 원예학부 부교수
 송주희: 한국농수산대학교 원예학부 실습교수