

Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on fruit quality attributes in cold-stored 'Jonathan' apples

Jun-yeun Park¹, Kyoung-ook Kim¹, Jingsi Yoo¹, Nay Myo Win¹, Jinwook Lee²,
Myoung-Gun Choung³, Hee-Young Jung⁴, In-Kyu Kang^{1*}

¹Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Department of Horticultural Science, Mokpo National University, Muan 58554, Korea

³Department of Herbal Medicine Resource, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea

⁴Applied Bioscience, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

수확 후 aminoethoxyvinylglycine(AVG)와 1-methylcyclopropene(1-MCP) 처리가 '홍옥' 사과의 저온저장 중 과실품질에 미치는 영향

박준연¹ · 김경옥¹ · 유진기¹ · 나이묘위¹ · 이진옥² · 정명근³ · 정희영⁴ · 강인규^{1*}

¹경북대학교 원예과학과, ²목포대학교 원예과학과, ³강원대학교 생약자원개발학과, ⁴경북대학교 응용생명과학부

Abstract

'Jonathan' apples are relatively small size which contributes to enhancing fruit consumption and gaining popularity. Thus, this study was carried out to evaluate the effects of AVG (aminoethoxyvinylglycine, ReTain®), sprayable 1-MCP (1-methylcyclopropene, Harvista™), and fumigation 1-MCP (SmartFresh™) applications on fruit quality attributes and storability in 'Jonathan' apple fruits during cold-stored. The Jonathan fruits were dipped with either ReTain (75 mg/L) or Harvista (125 mg/L) solutions for 5 min, or fumigated with SmartFresh (1 mg/L) for 18 hr before storage at 0±1°C for 75 days. Flesh firmness and titratable acidity remained higher in all pre-treated apples than control ones during cold storage period. Flesh firmness was higher for apples treated with ReTain and SmartFresh than samples treated with Harvista, while soluble solid content and respiration rate were not affected by sample pretreatment. Internal ethylene concentration (IEC) of all pretreated apples remained below about 4.5 µL/L during the entire storage period while that of control sample greatly increased to 10.29 µL/L. Ethylene production was much higher in control fruits than in treated ones during cold storage. These results indicated that ReTain and 1-MCP treatments would be considerably effective in retention of fruit quality attributes of 'Jonathan' apple during cold-stored.

Key words : apple, aminoethoxyvinylglycine, 1-methylcyclopropene, ethylene, firmness, titratable acidity

서 론

'홍옥' 사과(*Malus domestica* 'Jonathan')는 1826년 미국

뉴욕에 위치한 한 과수원의 우연실생에서 발견되어 명명되어졌다. 과실의 특성을 보면 과실의 크기는 170~230 g으로 소과에 속하며, 중생종으로 9월 하순에서 10월 상순 사이에 수확된다. 과실의 당도는 13 °Brix, 산도는 0.7% 정도이고, 고온 착색이 양호하며, 조기에 결실이 된다는 장점이 있는 반면, 수확전 낙과와 저장중 홍옥점무늬병이 다발생하고, 저장성이 약한 단점이 있다(1,2).

'홍옥'은 사과의 신품종들이 육성되면서 재배면적이 감소하다가 최근 10년 전부터 그 면적이 차츰 증가하여 현재

*Corresponding author. E-mail : kangik@knu.ac.kr

Phone : 82-53-950-5727, Fax : 82-53-950-5722

Received 23 March 2016; Revised 9 May 2016; Accepted 11 May 2016.

Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

국내 재배면적의 0.3%를 차지하고 있고, 소비자들이 꾸준한 호응을 보이고 있는 품종이다. 그러나 이 품종은 저장성이 낮아 수확 후 단기간에 소비되며 일정기간이 지나면 과실연화로 인하여 공급에 문제점을 가지고 있어 이를 해결할 필요성이 있다.

사과 과실의 저장중 연화는 과실성숙간 생성되는 에틸렌에 의해 세포벽분해효소의 활성이 증가하고 세포벽이 붕괴됨에 따라 진행되며, 과실의 경도감소가 수반되면서 상품성을 저하시키게 된다(3,4). 과실의 수확 후 사용하고 있는 1-methylcyclopropene(1-MCP)는 에틸렌작용억제제로서 저장 시 과실의 경도 및 산 함량 유지와 더불어 에틸렌발생량을 억제하는 등 과실의 품질을 유지하는데 우수한 효과를 나타내고 있다(5-11).

최근 미국 AgroFresh사에서 과실 수확전 수채살포용 1-MCP로 개발된 Harvista는 미국에서 ‘Scarletspur Delicious’, ‘Cameo’ 품종(12) 및 ‘McIntosh’, ‘Delicious’ 품종에서(13), 또한 우리나라에서는 ‘감홍’, ‘후지’ 품종(14,15)에 Harvista 처리를 통해 저장 시 과실품질을 유지하는데 효과를 보이고 있다. 그리고 aminoethoxyvinylglycine(AVG)는 에틸렌 생합성 억제제로서의 과실의 수확전 나과방지제로서 개발되었지만 AVG가 처리된 과실은 저장 동안 에틸렌 발생량과 호흡량을 감소시키고, 또한 과실의 경도와 산 함량의 감소를 억제시킴으로서 과실의 저장성을 유지시키는데 효과를 나타내고 있다(16-18). 최근 많은 과실들에서 과실의 저장성 유지를 위하여 에틸렌 제어제에 대한 연구가 진행되고 있지만 저장성이 약한 ‘홍옥’ 품종에 대한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 ‘홍옥’ 과실을 수확 후 수용성 1-MCP(Harvista)와 AVG(ReTain) 침지처리 및 1-MCP(SmartFresh) 훈증처리가 ‘홍옥’ 사과의 저온저장중 과실 품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

2015년 대구광역시 북구 경북대학교 소재의 과수원에 재식되어 있는 ‘홍옥/M.9’ 15년생 나무를 대상으로 수세가 안정된 나무에서 9월 15일 과실을 수확하여 건전한 과실을 분류하여 실험재료로 사용하였다.

수용성 1-MCP, AVG 침지 및 1-MCP 훈증처리

처리약제는 수용성 AVG(15%, 상품명: ReTain[®], Valent BioSciences, Libertyville, IL, USA)와 1-MCP(3.8%, 상품명: Harvista[™], AgroFresh, Yakima, WA, USA) 및 훈증처리용 1-MCP(3.3%, 상품명: SmartFresh[™], AgroFresh, Yakima, WA, USA)를 사용하였다.

수확직후 과실을 Harvista와 ReTain은 각각 125, 75 mg/L 농도로 용액을 조제하여 그 용액에 과실을 담구어 5분간 침지처리 후 꺼내어 수분 건조를 위해서 상온에 4시간 방치 후에 저장고에 입고하였으며, SmartFresh는 1 mg/L 농도로 밀폐된 공간에서 18시간 훈증 처리한 후 저온고에 입고하였다. 이때 각 처리별 200과의 과실을 사용하였다.

저장 조건 및 과실 특성 조사

과실의 저장조건은 온도 0±1℃, 상대습도 90%로 설정하였고, 저장기간은 75일간 실시하였다. 과실특성 조사는 15일 간격으로 수확시, 저장 후 15일(9월 30일), 30일(10월 14일), 45일(10월 28일), 60일(11월 11일) 및 75일(11월 23일)에 실시하였다.

과실 경도는 직경 11 mm plunger를 장착한 과실경도계(53205 Digital fruit firmness tester, T.R.Turoni, Forli, Emilia-Romagna, Italy)를 사용하여 1개의 과실을 1반복으로 하여 5개의 과실을 대상으로 과실 적도부의 과피를 제거한 다음 과실 당 3회 측정된 값을 평균하여 Newton(N)으로 나타내었으며, 산 함량은 과즙 5 mL를 0.1 N NaOH로 적정한 후 사과산으로 환산하였고, 가용성 고형물 함량은 디지털당도계(PR-201a, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

내·외생 에틸렌 발생량 및 호흡량 측정

내·외생 에틸렌 발생량 및 호흡량은 조사 1일전 과실을 저장고에서 꺼내어 실온(20℃)에서 품온을 평형시킨 후 측정하였다. 내생 에틸렌 발생량은 1개의 과실을 1반복으로 하여 5개의 과실을 대상으로 주사기를 과실 꽃받침 부위에 삽입하여 과실에서 1 mL gas 시료를 채취하였고, 외생 에틸렌과 호흡량은 1개의 과실을 1반복으로 하여 5개의 과실을 대상으로 하여 한 개의 과실을 1.6 L 밀폐용기에 넣고 1시간 후 head space에서 1 mL gas 시료를 채취하여 각각 FID(flame ionization detector)와 TCD(thermal conductivity detector)를 장착한 gas chromatography(GC2010, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다. FID 분석조건은 Porapak Q(80/100 2 m, Restek, Bellefonte, PA, USA) column을 이용하였고, injector, oven, detector 온도는 각각 100, 90, 200℃로 설정하였으며, flow rate는 He carrier, H₂, Air를 각각 25, 40, 400 mL/min로 하였다. TCD 분석조건은 Porapak Q(80/100 3 m, Restek, Bellefonte, PA, USA) column을 이용하였고, injector, oven, detector 온도는 각각 100, 90, 100℃로 설정하였으며, He carrier를 15 mL/min로 하였다.

통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 20, SPSS Inc., Armonk, NY, USA)을 이용하여 ANOVA 결과 분석

후 과실 품질 항목별로 Duncan 다중검정으로 분석하였다.

결과 및 고찰

저장기간별 과실 특성

저장기간동안 과실의 경도변화를 보면(Table 1), 무처리구는 수확시 56.2 N이었으나 이후 저장기간이 경과함에 따라 경도가 감소하여 저장 75일에는 45.4 N으로 현저히 감소하였다. 그러나 Harvista와 SmartFresh 처리 과실들은 저장기간이 길어지면서 경도가 약간 감소하기는 하였지만 저장 75일 후에도 52.5 N과 54.6 N으로 높은 경도를 유지하였고, ReTain 처리 과실은 저장 75일 후에도 56.1 N으로 수확시와 유사한 경도를 유지하였다. 따라서 '홍옥' 과실의 경도를 유지하는 효과는 ReTain과 SmartFresh 처리가 가장 우수하였고, Harvista 처리 과실도 우수한 경도유지 효과를 보여 에틸렌 제어제 처리가 경도감소를 억제하는데 유효한 결과를 보였다. 과실의 산 함량 변화를 보면(Table 2), 무처리구는 수확시 0.69%이었으나 저장 75일 후에는 0.52%로 감소하였다. 그러나 Harvista, ReTain 및 SmartFresh 처리구는 저장 75일 후에도 산 함량이 각각 0.62, 0.59, 0.61%로 무처리구(0.52%)에 비하여 산 함량이 높게 유지되어 이들 처리과실의 경도 유지와 동일한 결과를 보여 과실품질이 유지되었다. 저장기간동안 처리별 과실의 가용성 고형물 함량의 변화는 처리간 차이를 보이지 않았다(Table 3). 그리고 저장기간동안 과실의 과피와 과육부분에 저장장해 증상은 보이지 않았다(data not shown).

Table 1. Effects of ReTain, Harvista and SmartFresh treatments on flesh firmness in 'Jonathan' apples during cold storage

Treatment ¹⁾ (mg/L)	Flesh firmness (N)					
	Storage duration (days)					
	At harvest	15	30	45	60	75
Control	56.2±3.10	52.9±2.94 ²⁾	51.9±2.06 ^a	50.7±1.71 ^b	49.4±1.15 ^c	45.4±2.23 ^c
ReTain (75)	56.2±3.10	55.8±1.46 ^a	55.0±3.88 ^a	56.1±2.53 ^a	56.1±1.34 ^a	56.1±0.76 ^a
Harvista (125)	56.2±3.10	54.4±1.84 ^a	51.2±2.90 ^a	52.6±1.28 ^b	52.9±3.95 ^b	52.5±1.27 ^b
SmartFresh (1)	56.2±3.10	55.7±1.64 ^a	55.1±1.66 ^a	54.5±1.94 ^a	55.3±1.24 ^a	54.6±1.84 ^a

¹⁾Retain, AVG; Harvista, sprayable 1-MCP; SmartFresh, fumigation 1-MCP.

²⁾All values are expressed as mean±SD (n=5). Means separation within a column by Duncan's multiple range test (p=0.05).

사과 과실의 경도와 산 함량은 저장중 과실품질평가의 중요한 요소로 작용하고 있어 국내에서는 '홍로', '감홍', '후지' 사과에(6,9,15), 외국에서는 '엠퍼라이어', '델리셔스' 등의 사과에서(10,11,19) 수확 후 1-MCP를 훈증 처리하였을 때 일정 저장기간이 경과한 후에도 과실의 산 함량과

경도가 높게 유지되었으며, Harvista처리에 따른 사과의 수확 후 저장 과실에서도 동일한 결과를 보였다(14,15). 또한 AVG를 'Scarletspur Delicious', 'Gala', '산사', '쓰가루', '후지' 등의 사과 과실에 처리하였을 때 저장기간동안 과실의 경도와 산 함량의 감소를 억제시키는데 효과적이었고(20-23), 이들 물질의 처리가 가용성 고형물 함량의 변화에 미치는 영향은 없었다고 하였다(13,24). 따라서 본 연구결과에서도 에틸렌 제어제(Harvista, ReTain, SmartFresh)를 '홍옥' 사과에 처리하였을 때 저온저장동안 과실의 경도와 산 함량을 높게 유지시켜 과실품질을 유지시키는 효과를 보였다.

Table 2. Effect of ReTain, Harvista and SmartFresh treatments on titratable acidity in 'Jonathan' apples during cold storage

Treatment ¹⁾ (mg/L)	Titratable acidity (%)					
	Storage duration (days)					
	At harvest	15	30	45	60	75
Control	0.69±0.09	0.66±0.01 ²⁾	0.64±0.03 ^a	0.60±0.01 ^a	0.56±0.02 ^b	0.52±0.02 ^b
ReTain (75)	0.69±0.09	0.64±0.02 ^a	0.67±0.05 ^a	0.63±0.03 ^a	0.62±0.01 ^a	0.59±0.01 ^a
Harvista (125)	0.69±0.09	0.62±0.01 ^a	0.59±0.03 ^a	0.60±0.01 ^a	0.59±0.02 ^b	0.62±0.02 ^a
SmartFresh (1)	0.69±0.09	0.64±0.03 ^a	0.60±0.05 ^a	0.60±0.04 ^a	0.59±0.00 ^b	0.61±0.02 ^a

¹⁾Retain, AVG; Harvista, sprayable 1-MCP; SmartFresh, fumigation 1-MCP.

²⁾All values are expressed as mean±SD (n=5). Means separation within a column by Duncan's multiple range test (p=0.05).

Table 3. Effect of ReTain, Harvista and SmartFresh treatments on soluble solids content in 'Jonathan' apples during cold storage

Treatment ¹⁾ (mg/L)	Soluble solids content (%)					
	Storage duration (days)					
	At harvest	15	30	45	60	75
Control	13.0±0.30	12.9±0.32 ²⁾	12.9±0.64 ^a	13.3±0.80 ^a	12.8±0.20 ^a	13.0±0.66 ^a
ReTain (75)	13.0±0.30	13.2±0.61 ^{ab}	13.2±0.45 ^a	13.2±0.35 ^a	13.3±0.58 ^a	12.5±0.40 ^a
Harvista (125)	13.0±0.30	14.0±0.55 ^a	12.8±0.43 ^a	13.1±1.20 ^a	13.2±0.32 ^a	12.9±0.45 ^a
SmartFresh (1)	13.0±0.30	13.6±0.70 ^{ab}	13.5±0.20 ^a	12.8±0.72 ^a	12.8±0.37 ^a	12.9±0.47 ^a

¹⁾Retain, AVG; Harvista, sprayable 1-MCP; SmartFresh, fumigation 1-MCP.

²⁾All values are expressed as mean±SD (n=5). Means separation within a column by Duncan's multiple range test (p=0.05).

내·외생 에틸렌 발생량 및 호흡량

Harvista, ReTain 침지처리 및 SmartFresh 훈증처리가 '홍옥' 과실의 저온 저장중 내생에틸렌 발생량에 미치는 영향을 보면(Fig. 1), 수확시 '홍옥' 과실의 내생에틸렌 발생량은 2.53 $\mu\text{L/L}$ 를 보였다. 무처리 과실의 경우 저장 30일까지는 차이를 보이지 않았고, 저장 45일 후부터 증가하기 시작하여 저장 75일 후에는 10.29 $\mu\text{L/L}$ 로 급격히 증가하는 경향을

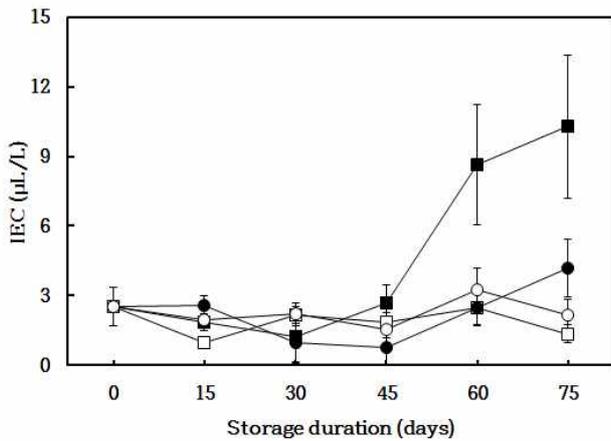


Fig. 1. Effect of ReTain, Harvista and SmartFresh treatments on internal ethylene concentration (IEC) in 'Jonathan' apples during storage at 0±1°C.

■, control; □, ReTain; ●, Harvista; ○, SmartFresh. All values are expressed as mean±SD (n=5). Retain, AVG; Harvista, sprayable 1-MCP; SmartFresh, fumigation 1-MCP.

보였다. 그러나 Harvista, ReTain 침지처리 및 SmartFresh 훈증처리 과실의 경우 저장 75일 후에는 내생에틸렌 발생량이 각각 4.19, 1.34, 2.16 µL/L로 무처리 과실에 비해 현저히 낮았고, 특히 ReTain 침지처리와 SmartFresh 처리 과실들은 수확시와 유사하게 가장 낮은 에틸렌 발생량을 보였다. 그리고 외생에틸렌 발생량은(Fig. 2) 수확 직후 0.87 µL/kg·h이었으며, 무처리 과실은 저장 45일간은 거의 변화가 없었고, 저장 60일 후에는 2.38 µL/kg·h로 증가하였다가 저장 75일 후에는 1.14 µL/kg·h로 다소 감소하는 경향을 보였다. 그러나 ReTain 침지처리구의 경우 저장 45일 후까지 에틸렌 발생량을 보이지 않았으며, 저장 60일 후에는 1.87 µL/kg·h로 증가하였다가 저장 75일 후에는 0.55 µL/kg·

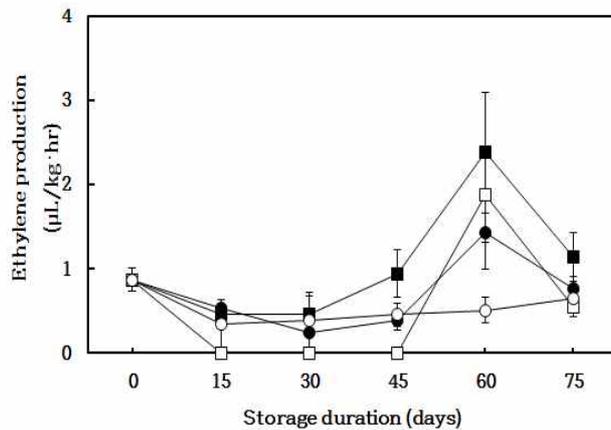


Fig. 2. Effect of ReTain, Harvista and SmartFresh treatments on ethylene production in 'Jonathan' apples during storage at 0±1°C.

■, control; □, ReTain; ●, Harvista; ○, SmartFresh. All values are expressed as mean±SD (n=5). Retain, AVG; Harvista, sprayable 1-MCP; SmartFresh, fumigation 1-MCP.

h로 가장 낮은 에틸렌 발생량을 보였다. 그리고 Harvista 처리 과실은 무처리와 ReTain 처리 과실과 동일한 에틸렌 발생의 변화 패턴을 보였지만 저장 75일 후에는 0.77 µL/kg·h로 낮은 경향을 보였다. SmartFresh 처리구의 경우 저장기간 동안 낮은 에틸렌 발생량을 보였고, 저장 75일에는 0.66 µL/kg·h이었다. 따라서 '홍옥' 과실에 에틸렌 작용 억제제인 1-MCP의 침지처리와 훈증처리가, 그리고 에틸렌 생합성 억제제인 AVG 침지처리가 과실의 저장기간동안 내생 및 외생에틸렌 발생량을 감소시키는데 효과적인 결과를 보였다. 이러한 결과는 사과(6,9,14,19,27), 복숭아(25), 자두(26) 등에 1-MCP를 처리하였을 때와 AVG를 사과, 복숭아, 자두(21,22,28,29) 등에 처리한 후 저장기간동안 과실의 에틸렌발생이 현저히 억제되었다는 결과와 동일하였다. 1-MCP는 에틸렌 작용억제제로서 '홍옥' 과실에 처리시 에틸렌 발생량이 억제된 것은 climacteric 과실인 멜론에서 에틸렌의 생합성과 관련된 ACS(ACC synthase)와 ACO(ACC oxidase)를 coding하는 유전자인 CM-ACS1과 CM-ACO1의 발현량이 1-MCP 처리시 이들 두 유전자의 발현량이 현저히 낮았고, 특히 CM-ACS1은 저장기간동안 발현양에 거의 변화가 없었고 CM-ACO1의 발현양은 그 증가시점이 1-MCP에 의해 현저히 지연된 결과로 해석된다(30).

'홍옥' 과실의 호흡량 변화를 보면(Fig. 3), 모든 처리구들에서 호흡량의 변화가 나타나지 않았다. '쓰가루' 사과의 경우에도 에틸렌 제어제 처리 후 저장기간이 증가할수록 호흡량이 증가하지 않고 오히려 약간의 감소 경향을 보였고(22), 비교적 저장성이 강한 것으로 알려져 있는 사과 품종인 'Anna' 품종에 1-MCP 처리(31,32) 및 'Gala' 품종에 AVG 처리(33)가 호흡량 발생을 억제시키는 효과가 있다고 보고하였다. 반면 저장성이 약한 품종인 '쓰가루' 사과에 AVG를 처리한 결과 저장기간동안 에틸렌 발생량은 억제시키는

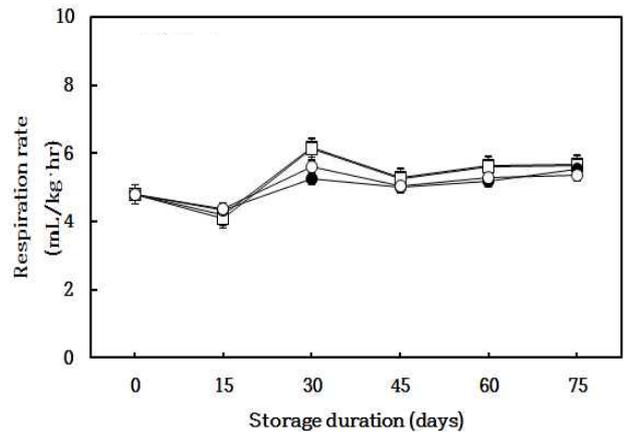


Fig. 3. Effect of ReTain, Harvista and SmartFresh treatments on respiration rate in 'Jonathan' apples during storage at 0±1°C.

■, control; □, ReTain; ●, Harvista; ○, SmartFresh. All values are expressed as mean±SD (n=5). Retain, AVG; Harvista, sprayable 1-MCP; SmartFresh, fumigation 1-MCP.

반면 호흡량의 변화에는 영향을 미치지 않는다고 하였다 (17). 따라서 '홍옥' 사과도 저장성이 약한 품종으로 에틸렌 제어제 처리가 에틸렌발생에는 영향을 미쳤지만 '쓰가루'와 같이 호흡량의 변화에는 영향을 미치지 않는 품종으로 추정할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면, 수확 직후 '홍옥' 사과에 수용성 1-MCP(Harvista), AVG(ReTain) 침지처리 및 1-MCP 혼증처리(SmartFresh)가 저장 75일 이후에도 과실의 경도와 산 함량을 높게 유지시키면서 내·외생에틸렌 발생량을 감소시켜 과실의 저장성을 유지시키는 효과를 보였다. 그리고 본 결과는 과실을 수확 후 에틸렌 제어제 처리에 따른 저장기간동안 품질변화에서 유효한 결과를 보였으므로 수확전 Harvista와 ReTain을 수체살포함에 따른 과실품질변화에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

따라서 저장성이 약한 '홍옥' 과실의 품질을 장기간 유지하면서 유통기한을 연장시키기 위해서는 에틸렌 제어제 처리기술이 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구는 수확 후 수용성 AVG(ReTain), 1-MCP(Harvista) 침지처리 및 1-MCP(SmartFresh) 혼증처리가 저온저장시 '홍옥' 사과의 과실품질과 저장성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. ReTain과 Harvista 침지처리는 각 125 mg/L, 75 mg/L 농도로 5분간 침지처리를 하였고, SmartFresh는 1 mg/L 농도로 18시간 혼증 처리하였다. 처리별 과실은 0±1℃ 조건에서 75일간 저장하였다. 저온저장동안 '홍옥' 사과의 품질변화를 보면 무처리구에 비하여 모든 처리구의 과실들이 경도와 산 함량이 현저히 높게 유지되었으며, 특히 경도에서는 ReTain과 SmartFresh 처리 과실이 가장 높게 유지되었다. 반면에 가용성 고형물과 호흡량은 처리간 차이를 보이지 않았다. 내생 에틸렌 발생량은 ReTain과 SmartFresh 처리 과실이 저장 75일 후에도 다른 처리구들에 비해 1.34~2.16 µL/L로 가장 낮은 반면 무처리 과실들은 저장 75일에는 10.29 µL/L로 증가하였다. 외생 에틸렌 발생량은 저장 75일후의 무처리 과실들은 1.14 µL/kg·h로 높은 반면 에틸렌 제어제 처리 과실은 0.55~0.77 µL/kg·h의 낮은 발생량을 보였다. 따라서 '홍옥' 과실의 저장중 품질유지를 위해서는 에틸렌 제어제 처리기술이 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2015년 농촌진흥청 공동연구사업(PJ01164002)의 지원에 의해 수행되었음.

References

- Huguet C (1980) Effects of the supply of calcium and magnesium on the composition and susceptibility of Golden Delicious apples to physiological and pathological disorders. *Acta Hort*, 92, 93-98
- Lee JC, Kwon OW (1990) Effects of prolong on storage quality and ethylene evolution in 'Jonathan' and 'Fuji' apple fruits. *Kor J Hort Sci Technol*, 31, 247-254
- Johnston JW, Hewett EW, Hertog MLATM, Harker FR (2001) Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. *Postharvest Biol Technol*, 23, 185-196
- Johnston JW, Hewett EW, Hertog MLATM (2002) Postharvest softening of apple (*Malus domestica*) fruit: a review. *New Zeal J Crop Hort Sci*, 30, 145-160
- Sisler EC, Serek M (1997) Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol Plant*, 100, 577-582
- Lim BS, Park YM, Hwang YS, Do GR, Kim KH (2010) Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of 'Hongro' apples. *Kor J Hort Sci Technol*, 27, 607-611
- Mattheis JP (2008) How 1-methylcyclopropene has altered the Washington state apple industry. *HortScience*, 43, 99-101
- Park HG, Lim BS, Park YM (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 YM, Yoon TM (2012) Effects of postharvest 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature on quality changes of 'Gamhong' apples during export simulation. *Kor J Hort Sci Technol*, 30, 725-733
- Watkins CB (2008) Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. *HortScience*, 43, 86-94
- Watkins CB, Nock JF (2012) Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. *Postharvest Biol Technol*, 69, 24-31
- Elfving, DC, Drake SR, Reed AN, Visser DB (2007) Preharvest applications of sprayable 1-methylcyclopropene in the orchard for management of apple harvest and postharvest condition. *HortScience*, 42, 1192-1199
- Watkins CB, James H, Nock JF, Reed N, Oakes RL (2010) Preharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) to control fruit drop of apples, and its effects

- on postharvest quality. *Acta Horti*, 877, 365-374
14. Yoo JG, Kim DH, Lee JW, Choi DG, Han JS, Kwon SI, Kweon HJ, Kang IK (2013) Effect of preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on fruit quality attributes in cold stored 'Gamhong' apples. *Protected Horti Plant Factory*, 22, 279-283
 15. 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
 16. Argenta LC, Vieira MJ, Krammes JG, Petri L, Basso C (2006) AVG and 1-MCP effects on maturity and quality of apple fruit at harvest and after storage. *Acta Horti*, 727, 495-504
 17. Park MY, Kweon HJ, Kang IK, Byun JK (1999) Effects of AVG application on harvest time extension and storability improvement in 'Tsugaru' apples. *Kor J Hort Sci Technol*, 40, 577-580
 18. Park YM, Youn SW (1999) Changes in postharvest physiology in relation to the incidence of CA disorders during CA storage of 'Fuji' apples. *J Kor Soc Hort Sci*, 40, 56-60
 19. Watkins CB, Nock JF (2005) Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene treatment, and temperature during treatment, on ripening of air-stored and controlled-atmosphere-stored apples. *HortScience*, 40, 2096-2101
 20. Drake SR, Elfving DC, Drake MA, Eisele TA, Drake SL, Visser DB (2006) Effects of aminoethoxyvinylglycine, ethephon, and 1-methylcyclopropene on apple fruit quality at harvest and after storage. *HortTechnology* 16, 16-23
 21. Kang IK, Park MY, Byun JK (2002) Effects of the AVG application on preharvest fruit drop by typhoon, harvest date extension and fruit quality improvement in 'Sansa' apple fruits. *J Kor Soc Hort Sci*, 43, 191-194
 22. Kang IK, Byun JK (2002) Effect of aminoethoxyvinylglycine dipping treatment on storability of 'Tsugaru' apple fruit. *J Kor Soc Hort Sci*, 43, 306-308
 23. Kweon HJ, Kim MJ, Lee JW, Choi C, Yoon TM, Kang IK (2012) Effects of aminoethoxyvinylglycine application and heat treatment on fruit quality of 'Fuji' apples during CA storage. *Kor J Hort Sci Technol*, 30, 527-533
 24. Lim BS, Oh SY, Lee JW, Hwang YS (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
 25. Choi SJ (2005) Comparison of the change in quality and ethylene production between apple and peach fruits treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Korean J Food Preserv*, 12, 511-515
 26. Oh SY, Lim BS, Lee JW, Do KR (2007) 1-Methylcyclopropene increases the shelf-life of 'Ooishiwase' plums (*Prunus salicina* L.). *Kor J Hort Sci Technol*, 25, 369-374
 27. Yuan R, Li J (2008) Effect of sprayable 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Delicious' apples. *HortScience*, 43, 1454-1460
 28. Cetinbas M, Butar S, Onursal CE, Koyuncu MA (2012) The effects of pre-harvest ReTain [aminoethoxyvinylglycine (AVG)] application on quality change of 'Monroe' peach during normal and controlled atmosphere storage. *Sci Horti*, 147, 1-7
 29. Kucuker E, Ozturk B, Yildiz K, Ozkan Y (2015) Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on the quality of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindell cv. Fortune) fruits. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*, 14, 3-17
 30. Cha JH, Hwang BH, Lee EJ, Lee GP, Kim JK (2006). Effect of 1-methylcyclopropene treatment on quality and ethylene production of Muskmelon (*Cucumis melo* L. cv. Reticulatus) fruit. *Kor J Hort Sci Technol*, 24, 452-458
 31. Fan X, Blankenship SM, Mattheis JP (1999) 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J Amer Soc Hort Sci*, 124, 690-695
 32. Pre-Aymard C, Weksler A, Lurie S (2003) Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol Technol*, 27, 163-170
 33. Brackmann A, Waclawovsky AJ (2001) Responses of 'Gala' apples to preharvest treatment with AVG and low-ethylene CA storage. *Acta Horti*, 553, 155-158