



Effect of application time of 1-methylcyclopropene treatment on fruit quality attributes in 'Fuji' apples during simulated marketing period

Jingi Yoo¹, In-Kyu Kang^{2*}

¹Tree Fruit Research and Extension Center, Washington State University, Wenatchee, WA 98801, USA

²Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

1-Methylcyclopropene 처리시기가 모의유통기간 중 'Fuji' 사과 품질에 미치는 영향

유진기¹ · 강인규^{2*}

¹워싱턴주립대학교 과수연구소, ²경북대학교 원예과학과

Abstract

This study was evaluated the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on fruit quality of 'Fuji' apples during shelf life condition at room temperature (RT) after cold storage. Fruits were treated with 1-MCP at 0, 1st, and 2nd day after harvest, stored at 0°C cold storage for 3 months and assessed after 10, 20, and 30 days in RT shelf life condition after cold storage. After 30 days in RT, flesh firmness of untreated fruits was decreased to 45.8 Newton (N), while all of 1-MCP-treated fruits were maintained at 61.8-64.3 N. Internal ethylene concentration was sharply increased to 177.93 µL/L in untreated fruits, while it was inhibited by all of 1-MCP treatments at 0.74-3.06 µL/L. Titratable acidity (TA) was decreased to 0.19% in untreated fruits and all of 1-MCP treatments slowed the decrease of TA at 0.24-0.28%. The soluble solids content / titratable acidity (SSC/TA) ratio was gradually increased in untreated fruits, but it was not significantly changed in 1-MCP treatments. In addition, lightness of fruit peel color was maintained greater by 1-MCP treatments. Therefore, the results suggested the storability of untreated fruits was limited to 10 days in RT, but 1-MCP treatment extended the storability of 'Fuji' apples up to 30 days in shelf life condition at RT after cold storage.

Key words : apple, 1-methylcyclopropene, internal ethylene concentration, firmness, simulated marketing

서 론

‘후지’(*Malus domestica* Borkh) 사과는 국내 주요 사과품종으로 재배면적과 생산량이 60% 이상을 차지하고 있으며, 과실 특성은 당도는 14-15 °Brix, 산도는 0.3-0.4%로 식미와 저장성이 우수하여 장기저장용 과실로 이용되고 있다. 그러므로 ‘후지’ 사과는 국내에서 수확 후 익년까지 꾸준히 시장에서 유통되고 있는 유일한 사과품종이기도 하다. 그러나 ‘후

지’ 사과는 저장성이 우수하지만, 저온저장 후 상온에서 유통될 경우 품질 저하가 발생하고 있다. 일반적으로 ‘후지’ 사과는 수확 후 3-4개월 정도 저온저장한 후 유통이 되기 시작하며, 이 시기는 3월 정도로 대기의 온도가 상승하게 되므로 과실이 실온에 노출되어 과실의 품질변화가 빠르게 일어난다. 이러한 사과 과실의 품질 저하는 과실로부터 에틸렌 발생량이 증가하는 것이 주 원인으로 알려져 있어, 이를 해결하기 위하여 사과를 수확 후 에틸렌작용 억제제인 1-methylcyclopropene

*Corresponding author. E-mail : kangik@knu.ac.kr, Phone : +82-53-950-5727, Fax : +82-53-950-5722

Received 18 January 2021; Revised 08 March 2021; Accepted 09 March 2021.

Copyright © The Korean Society of Food Preservation.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(1-MCP)를 훈증처리하여 과실의 저장성을 유지시키고 있다 (Park과 Yoon, 2012; Yoo 등, 2019; Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2020b). 그동안 1-MCP는 사과(Lim 등, 2009; Mattheis, 2008; Park 등, 2009; Watkins 등, 2010; Watkins와 Nock, 2012; Yoo 등, 2013; Yoo 등, 2019; Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2020b), 토마토, 바나나, 복숭아, 자두(Blankenship과 Dole, 2003; Watkins, 2006) 등 많은 climacteric형 과실의 에틸렌 발생량과 호흡량을 억제시키며, 과실의 경도 및 산 함량 등을 높게 유지하면서 과실품질을 유지하는 데 우수한 효과를 보이고 있다. 현재까지 과실들에 적용하는 1-MCP 처리는 수확 당일 실시함으로써 그 효과를 검증하고 있으나, 국내의 사과재배 농가들은 수일의 수확기간과 별도의 처리공간 확보의 어려움 등으로 인해 수확 당일 약제처리가 어려운 실정이다. 또한 1-MCP를 처리한 다음 저온저장 후 유통하면서 실온에 노출됨으로써 과실의 품질변화를 초래하게 되는데, 이러한 실온 노출기간에 따른 과실품질 변화에 대한 연구는 미미한 실정이다(Kim 등, 2014). 그러므로 '후지' 사과의 수확 후 1-MCP 처리시기와 저온저장 후 실온유통 기간에 따른 과실의 품질변화에 대한 정보제공을 통하여 그 기준을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 '후지' 과실을 수확한 후 1-MCP를 처리하는 시기와 3개월간 저온저장 후 실온(shelf life)에서 30일 동안 보관하며 발생하는 과실품질 변화를 조사하여 모의유통에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

경북 상주시 낙동면 소재의 농가에 재식되어 있는 8년생 '후지'(M.9) 품종을 대상으로 수세가 안정되고 균일한 나무를 선정하여 과실을 10월 25일에 수확하였다. 수확한 과실은 병해충 피해 및 기계적 상처를 입은 것은 모두 제거하고, 과실크기는 평균 300 ± 10 g의 건전한 과실을 선별하여 사용하였다.

1-Methylcyclopropene(1-MCP) 처리 및 저장조건

처리 약제는 1-MCP(3.3%, 상품명: SmartFresh™, AgroFresh, Yakima, WA, USA)를 사용하여 수확 당일 및 수확 1일과 2일 후 각각 처리하였고, 처리 전 과실은 실온($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 조건에 보관하며 시험을 수행하였다. 처리조건은 각각의 과실을 밀폐된 공간에서 $1 \mu\text{L/L}$ 의 농도로 상온에서 18시간 훈증 처리한 후 저장고에 입고하였다. 과실의 저온저장조건은 온도 $0 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도는 90%로 설정하였고, 저온저장 후 유통온도를 가정하여 실온($20 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 보관하며 시험을 수행하였다. 저장기간은 처리 과실을 저온에서 3개월간 저장한 후, 실

온에서 각각 10일, 20일, 30일 동안 보관하면서 과실의 특성을 조사하였다.

과실특성 측정

과실 경도는 직경 11 mm plunger를 장착한 과실 경도계(Fruit Tester, FT327, Alfonsine, Italy)를 사용하여 과실 적도면에 과피를 제거한 후, 과실 당 3회 측정된 값을 평균하여 Newton(N) 값으로 나타내었다. 산 함량은 과즙 5 mL를 0.1 N NaOH로 적정한 후 사과산으로 환산하였고, 가용성 고형물 함량은 디지털당도계(PR-201 α , ATAGO, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 과실의 중량감소율은 저온저장 3개월 후 측정된 과중을 기준으로 실온에서 보관하는 동안 과중의 변화를 백분율로 나타내었고, 과피의 색도는 색차계(CR-210, KONICA MINOLTA, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 과실의 특성은 7개의 과실을 1반복으로 하여 21개의 과실을 사용하였다.

내생 에틸렌 발생량 측정

내생 에틸렌 발생량(internal ethylene concentration, IEC)은 주사기를 과실 꽃받침 부위에 삽입하여 과심에서 1 mL gas 시료를 채취한 뒤 flame ionization detector(FID)를 장착한 gas chromatography(GC2010, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다. 분석조건은 Porapak Q(80/100 2 m, Youngin Frontier, Seoul, Korea) column을 이용하였으며, injector temperature 200°C , oven temperature 90°C , detector temperature 200°C 로 설정하였고, carrier gas는 He, flow rate는 25 mL/min 으로 하였다. 내생 에틸렌 발생량은 7개의 과실을 1반복으로 하여 21개의 과실을 대상으로 실시하였다.

통계분석

조사별 3반복에 대한 결과의 통계분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 20, SPSS Inc., NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 모든 측정 결과는 평균(mean) \pm 표준오차(standard error, SE)를 구하였으며, 각 처리 및 저장기간 동안 평균값 차이는 유의수준 $p < 0.05$ 에서 two-way ANOVA test를 이용하여 검증하였고, 과실 품질 항목별 유의성은 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

저장 중 과실 경도, 내생 에틸렌 발생량 및 중량감소율의 변화

저장기간에 따른 '후지' 과실의 경도, 내생 에틸렌 발생량, 그리고 중량감소율의 변화를 보면 Fig. 1과 같다. 90일간 저

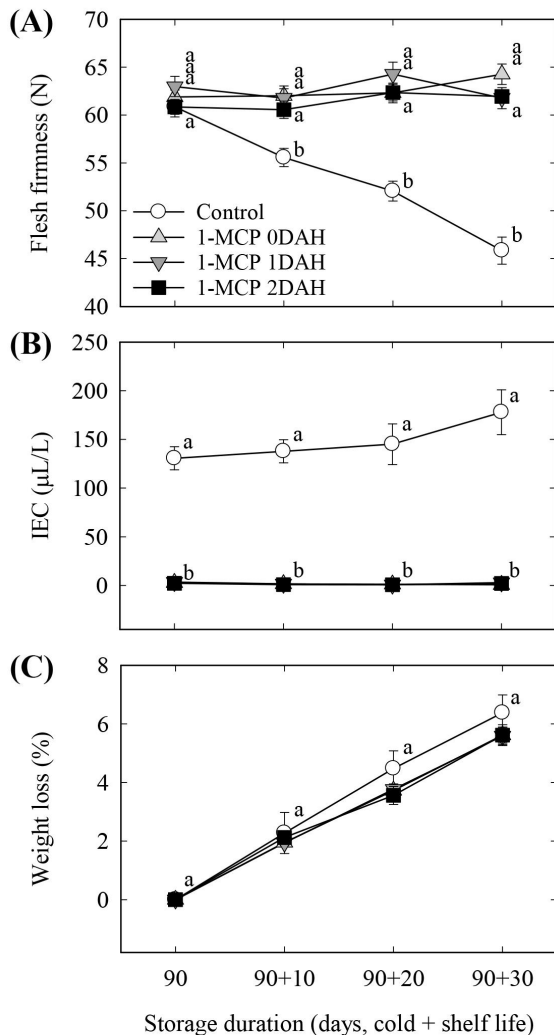


Fig. 1. Effects of different application time of 1-methylcyclopropene treatment on flesh firmness (A), internal ethylene concentration (IEC) (B), and weight loss (C) in 'Fuji' apples during simulated marketing period.

DAH, day after harvest.

All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations. Different superscripts within the column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

온저장에 따른 무처리 과실의 경도는 60.9 N이었고, 저온저장 후 실온저장 10일 후에는 55.6 N으로 감소하기 시작하여 30일 후에는 45.8 N으로 급격히 감소되어 실온유통 시 과실품질이 빠르게 저하되는 것을 확인하였다. 그러나 모든 1-MCP 처리 과실들의 경우, 저온저장 90일 후에는 60.8-63.0 N으로 무처리 과실과 차이를 보이지 않았으나, 저온저장 후 실온저장 30일 후에도 61.8-64.3 N으로 저온저장 직후와 비교하여 경도가 감소하지 않고 과실의 상품성을 유지하였다(Fig. 1A).

과실의 내생 에틸렌 발생량을 보면(Fig. 1B), 무처리 과실

의 경우 저온저장 90일 후에는 130.65 $\mu\text{L/L}$ 로 높은 발생량을 보였고, 이후 실온저장 30일 후에는 177.93 $\mu\text{L/L}$ 로 저장기간이 길어지면서 급격히 증가하였다. 그러나 모든 1-MCP 처리 과실들은 저온저장 후 실온저장 30일까지도 0.74-3.06 $\mu\text{L/L}$ 로 매우 낮은 내생 에틸렌 발생량을 보여 1-MCP가 에틸렌의 발생을 억제하여 과실품질이 유지되는 결과를 보였다. 그리고 과실의 저장기간에 따른 증량감소율은(Fig. 1C) 모든 처리 과실들에서 저장기간이 길어지면서 증가하는 경향을 보였고, 처리에 따른 차이는 보이지 않았지만 무처리 과실에서 다소 높은 증량감소율을 보이는 경향이였다.

그동안의 연구결과를 보면 사과 과실의 품종에 따라 에틸렌 생합성 과정에서 *Md-ACS1*과 *Md-ACO1* 유전자가 관련되어 그 활성정도에 따라 에틸렌 발생량에 차이가 있다고 하였다(Kwon 등, 2017). 그리고 멜론 과실에서 1-MCP 처리시 에틸렌의 생합성과 관련된 ACS(ACC synthase)와 ACO(ACC oxidase)를 coding하는 유전자인 *CM-ACS1*과 *CM-ACO1*의 발현량을 현저히 억제시켰다고 하였다(Cha 등, 2006). 사과 과실에 1-MCP 처리는 에틸렌 수용체에 에틸렌과 경쟁적으로 결합함으로써 과실의 에틸렌 작용 억제를 통해 추가적인 에틸렌 발생량을 감소시킴으로써 과실의 경도 감소를 억제하는 데 효과적이었으며(Watkins와 Nock, 2012; Yoo 등, 2018), 또한 저장성이 약한 '홍옥' 사과에서도 1-MCP 처리시 저장기간 동안 무처리과실에 비하여 에틸렌 발생량이 현저히 억제됨으로써 높은 경도와 산 함량을 유지한 결과를 보였다(Park 등, 2016). 그리고 Win 등(2019)도 'Summer King'과 'Green Ball' 사과품종에 1-MCP 처리시 에틸렌 발생량을 현저히 억제함으로써 높은 과실의 경도를 유지하였고, 그 근거로 세포벽 분해효소인 polygalacturonase 등의 활성 억제 및 그와 관련된 유전자의 발현도 억제함으로써 과실의 품질을 유지하였다고 한다. 그리고 저장기간 동안 과실의 증량감소율은 Yoo 등(2020a)의 연구에서 '썸머프린스' 사과를 수확 후 1-MCP 훈증처리하였을 때 무처리구와 비교하여 낮은 증량감소율을 보였으나, '썸머킹' 사과는 1-MCP 처리에 따른 증량감소율의 차이가 없다고 하였다. 그리고 Win 등(2019) 역시 'Summer King' 사과는 1-MCP 처리시 증량감소율의 차이가 없었고, 'Green Ball' 사과는 다소 억제되는 효과를 보여 품종에 따라 증량감소율에 미치는 영향은 다소 차이가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 '후지' 사과에서 무처리 과실은 저온저장 후 실온에 노출되면 10일 후에는 55.6 N으로 어느 정도 경도는 유지되었지만, 20일과 30일 이후에는 각각 52.1 N과 45.8 N으로 감소하고, 내생 에틸렌의 발생량은 145.20 $\mu\text{L/L}$ 와 177.93 $\mu\text{L/L}$ 로 급격히 증가하여 실온저장 10일 정도가 유통한계기라고 판단되었다(Fig. 1). 그러나 1-MCP를 수확후 2일 이내에 처리하고, 90일간 저온저장

후 실온에서 유통될 경우 30일까지도 과실의 경도가 높게 유지되었고, 에틸렌 발생량도 낮게 유지되어 과실의 품질을 유지하는 데 우수한 효과를 보였다(Fig. 1A, B). 그러므로 '후지' 사과에서 1-MCP 처리는 저온저장 후 실온에서 30일까지는 유통에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

저장 중 과실의 가용성 고형물 및 산 함량 변화

가용성 고형물 함량의 변화를 보면(Fig. 2A), 90일간 저온저장 후 무처리 과실은 13.4%였고, 저온저장 후 실온저장 10

일, 20일 후에는 차이가 없다가 30일 후 12.4%로 감소하는 경향을 보였다. 그러나 모든 1-MCP 처리 과실들은 저온저장 90일 후 13.4-13.6%였고, 저온저장 후 실온저장 30일 후 역시 13.6-14.0%로 변화를 보이지 않았다. 산 함량의 변화를 보면(Fig. 2B), 90일간 저온저장에 따른 무처리 과실은 0.24%였고, 저온저장 후 실온저장 10일, 20일, 30일 후에는 각각 0.22%, 0.21%, 0.19%로 점차 감소하였다. 그러나 모든 1-MCP 처리 과실들은 저온저장 90일 후 0.26-0.28%로 무처리 과실과 비교하여 높은 산 함량을 나타내었으며, 저온저장 후 실온저장 30일 후에도 0.24-0.28%로 높은 산 함량을 보여 과실품질이 유지되었다. 당산비의 변화는(Fig. 2C), 무처리 과실은 저온저장 후 실온저장기간이 길어지면서 산 함량 감소로 인하여 지속적으로 증가하였고, 모든 1-MCP 처리 과실들은 저장기간 동안 당산비의 변화가 미미하여 과실의 맛을 유지하는 경향을 보였다. 'McIntosh'와 'Empire' 사과의 경우, 1-MCP를 처리하였을 때 저장 9개월 후 가용성 고형물 함량의 변화는 없었고(DeEll 등, 2016), 국내 사과 품종인 'Summer Prince', 'Summer King'(Yoo 등, 2020a), 그리고 'Hongguem'(Yoo 등, 2020b) 사과 등도 1-MCP를 처리하였을 때 저장기간 동안 가용성 고형물의 함량의 차이가 없었다. 그리고 일반적으로 사과 과실은 수확 후에도 호흡 및 에틸렌 발생과 같은 대사활동이 지속되면서 유기산이 일부 호흡기질로 이용되어 산 함량이 감소하게 되는데, 1-MCP 처리가 에틸렌 발생과 호흡률을 억제하여 산 함량의 감소를 지연시킨다고 하였다(Rupasinghe 등, 2000; Toivonen과 Lu, 2005; Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2020b). 또한 '후지', '홍로', 그리고 '감홍' 사과 역시 수확 후 1-MCP를 처리하였을 때 저장기간 동안 과실의 산 함량과 경도가 높게 유지되는 결과를 보였다(Lim 등, 2007; Lim 등, 2009; Yoo 등, 2013; Yoo 등, 2015). 그리고 '썸머프린스'와 '썸머킹' 사과 역시 무처리 과실은 저장기간 동안 당산비가 증가하였으나, 1-MCP 처리 과실들은 산 함량의 변화를 억제하여 당산비의 변화가 낮아 과실의 신선도가 유지되었다고 하였다(Yoo 등, 2020a). '후지' 사과에서도 1-MCP 처리 과실들은 저장기간이 경과하여도 가용성 고형물과 산 함량의 변화가 거의 없어 과실의 식미가 유지되어 다른 연구와도 동일한 결과를 보였다.

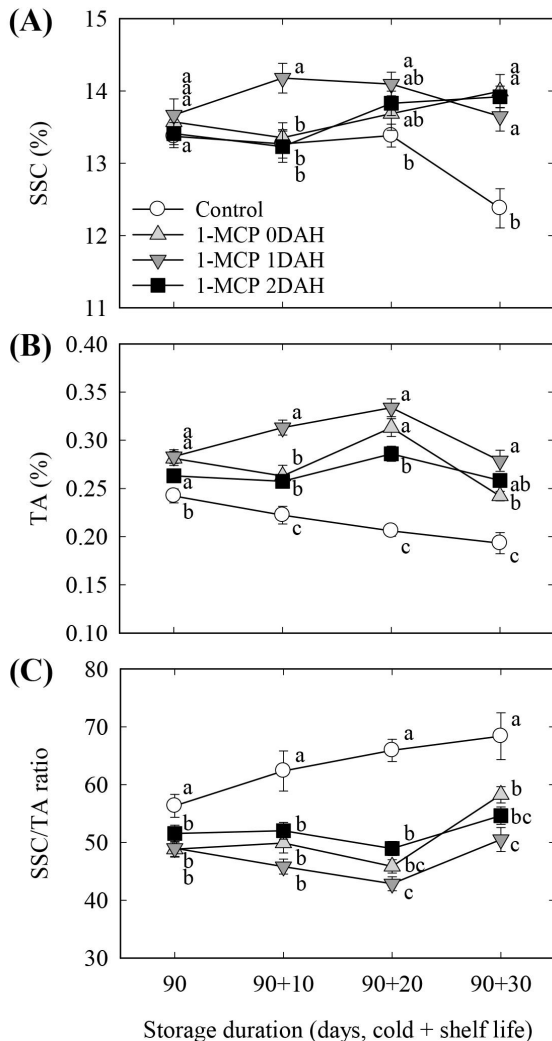


Fig. 2. Effects of different application time of 1-methylcyclopropene treatment on soluble solids content (SSC) (A), and titratable acidity (TA) (B), and SSC/TA ratio (C) in 'Fuji' apples during simulated marketing period.

DAH, day after harvest.

All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations. Different superscripts within the column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

저장 중 사과 과피색 변화

사과 과실들은 저장기간이 길어지고 과실의 연화가 진행되면 과피색에 대한 변화가 발생하는 경우가 있다. 따라서 저장기간 동안 '후지' 과실의 과피 색의 변화를 조사하였다(Fig. 3). 과피의 명도(L^*) 변화는(Fig. 3A), 무처리 과실의 명도는 저온저장 90일 후에 36.2로 1-MCP 처리 과실들에 비하여 낮았고, 저온저장 후 30일간 실온저장하였을 때 역시 37.5

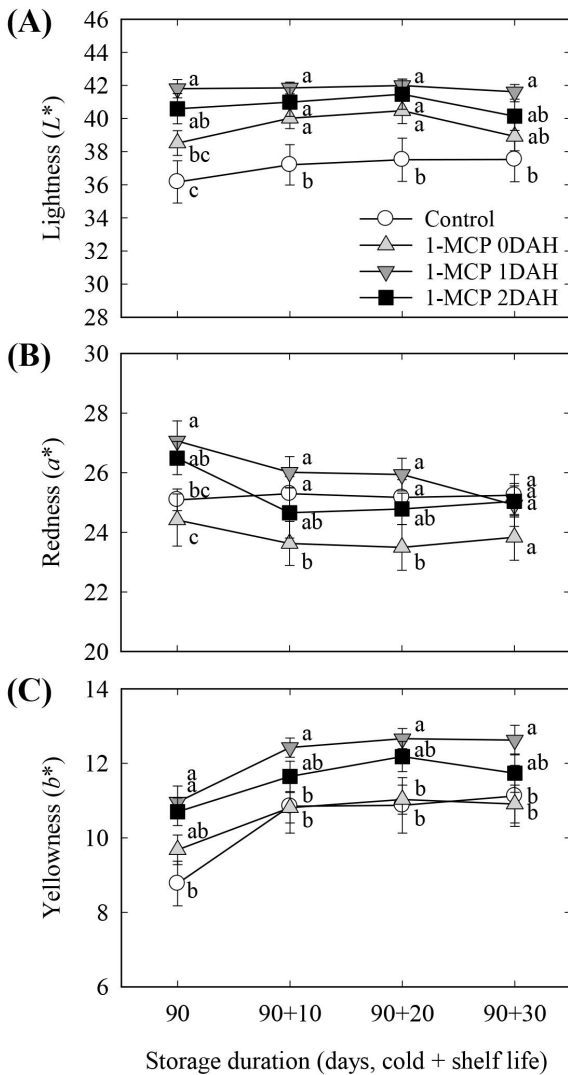


Fig. 3. Effects of different application time of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on peel colour variables (L^* , a^* , b^*) in 'Fuji' apples during simulated marketing period.

A, lightness (L^*); B, redness (a^*); C, yellowness (b^*).

DAH, day after harvest.

All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations. Different superscripts within the column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

로 낮은 명도를 보였다. 그러나 1-MCP 처리 과실들은 저온 저장 90일에도 38.5-41.8로 높은 명도를 보였고, 이후 실온저장 30일 후에도 38.9-41.6으로 높은 명도를 보여 과피 색의 변화가 억제되었다. 과피의 적색도(a^*) 변화를 보면(Fig. 3B), 무처리 과실들은 저장 90일 후부터 실온저장 30일까지 25.1에서 25.2로 변화가 없었고, 1-MCP 처리 과실들 역시 실온저장 30일 후 모든 처리구들에서 차이를 보이지 않았다. 과피의 황색도(b^*) 변화(Fig. 3C)는 모든 처리구의 과실들이 저온

저장 90일에 가장 낮았고, 실온저장기간이 길어지면 다소 증가하는 경향을 보였으나, 실온저장 30일 후에는 1-MCP 수확 1일 후 처리를 제외하고는 차이가 없었다. '썸머킹' 사과와 'HoneyCrisp' 사과 역시 1-MCP 처리시 착색변화에 미치는 영향이 없다고 하였다(Mattheis 등, 2017). 그러나 Blankenship과 Dole(2003)은 사과에 1-MCP를 처리시 과피색의 변화를 지연시키는 경향이 있으나, 품종에 따른 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 '후지' 사과의 경우 1-MCP를 처리하였을 때 저장기간 동안 과실의 명도를 다소 높게 유지함으로써 과피의 변화를 다소 억제하는 효과는 보이지만, 적색도와 황색도의 변화에 미치는 영향은 없는 것으로 판단되었다.

상관관계 분석

'후지' 사과의 1-MCP 처리 및 저온저장 후 실온유통에 따른 과실품질 요인간 상관관계는 Fig. 4와 같다. 사과의 수확

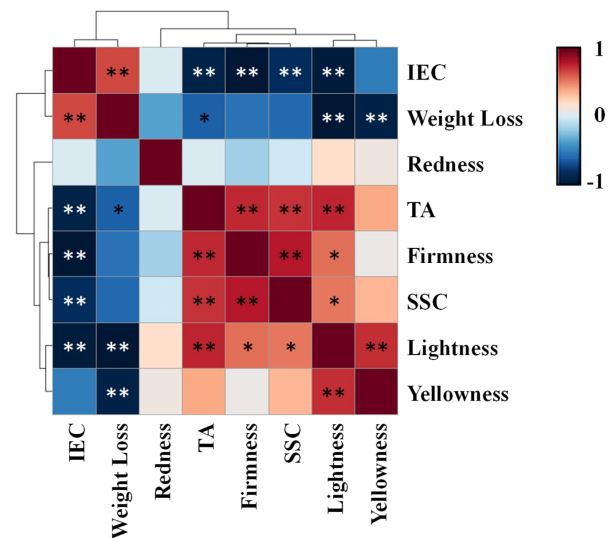


Fig. 4. Correlation coefficients (r) between fruit quality attributes of 'Fuji' apples by different application time of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment during simulated marketing period.

The red and blue colors indicate positive and negative correlations between fruit quality attributes, respectively. TA, titratable acidity; SSC, soluble solids content; IEC, internal ethylene concentration. Asterisks (* or **) indicate statistically significant correlation at $p < 0.05$ or 0.01, respectively.

후 과신품질을 저하시키는 주된 원인으로 작용하는 내생에틸렌 발생량의 경우, 중량감소율과 함께 저장기간 동안 점차 증가하는 높은 정의 상관관계($r=0.692^{**}$)를 나타내었다. 그러나 저장 및 유통과정 중 과실의 상품성을 결정하는 대표적인 요인인 경도 및 산 함량의 경우 저장기간 동안 과신품질이 점차 감소하여 내생에틸렌 발생량과 높은 부의 상관관계(경도 $r=-0.862^{**}$, 산 함량 $r=-0.781^{**}$)를 나타내었다. 또한 과피 명도의 경우, 주요 과신품질 요인과 낮은 상관관계를 나타내었고, 적색도와 황색도의 경우 저장기간 동안 변화가 관찰되지 않아 과신품질 요인들과 상관관계를 나타내지 않았다. 이는 저장기간 동안 에틸렌 발생량과 주요 과신품질들(경도, 산 함량, 중량감소율) 간에 높은 상관관계가 확인되며, 이를 통해 저장기간 동안 과실의 품질변화를 판단하는 주요 지표로 사용될 수 있다는 이전의 연구(Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2020b)와 동일한 결과를 나타내었다.

이상의 결과를 종합해 보면, '후지' 사과와 저온저장 후 시장 유통시 상품성을 유지하기 위해서는 무처리 과실은 90일간 저온저장 후 상온 유통기한은 10일 정도가 한계기라고 판단되었고, 1-MCP 처리 과실은 저온저장 후 상온 유통기한은 30일까지도 상품성이 유지되는 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구는 '후지' 과실을 수확한 후 1-MCP를 수확 당일 및 수확 1일과 2일 후 처리하였다. 그리고 3개월간 저온저장을 한 후 실온에서 10일, 20일, 30일 동안 저장하면서 과신품질 변화 조사를 통하여 유통에 대한 정보를 제공하고자 하였다. 저장기간에 따른 무처리 과실의 경도는 저온저장 후 실온저장 10일 후에는 55.6 N으로 감소하기 시작하여 30일 후에는 45.8 N으로 급격히 감소되었으나, 1-MCP 처리 과실들은 동일 조건에서 61.8-64.3 N으로 높은 경도를 보였다. 내생 에틸렌 발생량은 무처리 과실의 경우, 저온저장 후 실온저장 30일 후에는 177.93 $\mu\text{L/L}$ 로 급격히 증가하였으나, 모든 1-MCP 처리 과실들은 실온저장 30일 후에도 0.74-3.06 $\mu\text{L/L}$ 로 매우 낮은 에틸렌 발생량을 보였다. 산 함량은 무처리 과실의 경우 실온저장 30일 후에는 0.19%로 감소하였으나, 1-MCP 처리 과실들은 실온저장 30일 후에도 0.24-0.28%로 높은 산 함량을 보였다. 당산비는 무처리 과실은 저장기간 동안 점차 증가하였으나, 1-MCP 처리 과실들은 거의 변화가 없었다. 그리고 과피의 명도는 1-MCP 처리 과실에서만 무처리 과실에 비하여 높게 유지되었다. 따라서 '후지' 사과의 무처리구는 90일간 저온저장 후 상온 유통기한은 10일 정도가 한계기이고, 1-MCP 처리 과실은 저온저장 후 상온 유통기한은 30일까지도 상품성이 유지되는 것으로 판단되었다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Jingi Yoo <https://orcid.org/0000-0002-0656-6385>

In-Kyu Kang <https://orcid.org/0000-0003-3851-1546>

References

- Blankenship SM, Dole JM. 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biol Technol*, 28, 1-25 (2003)
- Cha JH, Hwang BH, Lee EJ, Lee GP, Kim JK. Effect of 1-methylcyclopropene treatment on quality and ethylene and ethylene production of musk melon (*Cucumis melo* L. var. *Reticulatus*) fruit. *Kor J Hort Sci Technol*, 24, 452-458 (2006)
- DeEll JR, Lum GB, Ehsani-Moghaddam B. Effects of multiple 1-methylcyclopropene treatments on apple fruit quality and disorders in controlled atmosphere storage. *Postharvest Biol Technol*, 111, 93-98 (2016)
- Kim KO, Yoo J, Lee J, Win NM, Ryu S, Han JS, Jung HY, Choung MG, Kwon YD, Lee DH, Kang IK. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and polyethylene (PE) film liner treatments on the fruit quality of cold-stored 'Gamhong' apples. *Hortic Environ Biotechnol*, 59, 51-57 (2018)
- Kim SJ, Park YM, Yoon TM. Perforation adjustment of unit package for 'Fuji' apples during short-term cold storage and export simulation. *Kor J Hort Sci Technol*, 32, 184-192 (2014)
- Kwon YS, Kwon SI, Kim SA, Kweon HJ, Yoo J, Ryu S, Kang IK, Kim JH. Estimation of storability for Korean apples (*Malus domestica*) using *Md-ACS1* and *Md-ACO1* DNA marker. *Korean J Food Preserv*, 24, 891-897 (2017)
- Lim BS, Oh SY, Lee JW, Hwang YS. Influence of 1-methylcyclopropene treatment time on the fruit quality in the 'Fuji' apple (*Malus domestica*). *Kor J Hort Sci Technol*, 25, 191-195 (2007)
- Lim BS, Park YM, Hwang YS, Do GR, Kim KH. Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of 'Hongro' apples. *Kor J Hort Sci*

- Technol, 27, 607-611 (2009)
- Mattheis JP, Rudell DR, Hanrahan I. Impacts of 1-methylcyclopropene and controlled atmosphere established during conditioning on development of bitter pit in 'Honeycrisp' apples. HortScience, 52, 132-137 (2017)
- Mattheis JP. How 1-methylcyclopropene has altered the Washington State apple industry. HortScience, 43, 99-101 (2008)
- Park HG, Lim BS, Park YM. Effects of 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage on poststorage metabolism and quality of 'Hongro' apples. Hort Environ Biotechnol, 50, 313-318 (2009)
- Park JY, Kim KO, Yoo J, Win NM, Lee J, Choung MG, Jung HY, Kang IK. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on fruit quality attributes in cold-stored 'Jonathan' apples. Korean J Food Preserv, 23, 453-458 (2016)
- Park YM, Yoon TM. 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 (2012)
- Rupasinghe HPV, Murr DP, Paliyath G, Skog L. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apple. J Hort Sci Biotechnol, 75, 271-276 (2000)
- Toivonen PMA, Lu L. Studies on elevated temperature, short-term storage of 'Sunrise' summer apples using 1-MCP to maintain quality. J Hort Sci Biotechnol, 80, 439-446 (2005)
- Watkins CB, James H, Nock JF, Reed N, Oakes RL. Preharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) to control fruit drop of apples, and its effects on postharvest quality. Acta Hort, 877, 365-374 (2010)
- Watkins CB, Nock JF. Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. Postharvest Biol Technol, 69, 24-31 (2012)
- Watkins CB. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. Biotechnol Adv, 24, 389-409 (2006)
- Win NM, Yoo J, Kwon SI, Watkins CB, Kang IK. Characterization of fruit quality attributes and cell wall metabolism in 1-methylcyclopropene (1-MCP) treated 'Summer King' and 'Green Ball' apples during cold storage. Front Plant Sci, 10, 1513 (2019)
- Yoo J, Jung H, Win NM, Kwon JG, Cho YJ, Jung HY, Lee DH, Kang IK. Changes in fruit quality attributes, cell wall materials, and related hydrolases activities in 1-methylcyclopropene (1-MCP)-treated 'Honggeum' apples during cold storage. Hort Sci Technol, 38, 870-879 (2020b)
- Yoo J, Kang BK, Lee JW, Kim DH, Lee DH, Jung HY, Choi DG, Choung MG, Choi IM, Kang IK. 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 (2015)
- Yoo J, Kim DH, Lee J, Choi DG, Han JS, Kwon SI, Kweon HJ, Kang IK. Effect of preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on fruit quality attributes in cold stored 'Gamhong' apples. Protected Horticulture and Plant Factory, 22, 279-283 (2013)
- Yoo J, Kim SH, Kwon JG, Cho YJ, Kang IK. Effects of 1-methylcyclopropene treatments on fruit quality attributes and cell wall metabolism in cold stored 'Summer Prince' and 'Summer King' apples. Hort Sci Technol, 38, 660-674 (2020a)
- Yoo J, Ryu S, Park C, Win NM, Choi HW, Lee J, Yun HK, Jung HY, Choung MG, Cho YJ, Kang IK. Effects of preharvest and postharvest 1-methylcyclopropene treatments on fruit quality attributes and cell wall metabolism during short-term cold storage in 'Hetsal-Haunkeybee' peaches. Hort Sci Technol, 37, 609-617 (2019)
- Yoo J, Suk YJ, Lee JW, Jung HY, Choung MG, Park KI, Han JS, Cho YJ, Lee DH, Kang IK. Preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) effects on fruit quality attributes and cell wall metabolism in cold stored 'Fuji' apples. Hort Sci Technol, 36, 853-862 (2018)