



Research Article

Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on the maintenance of fruit quality of *RubyS* apples during cold storage

‘루비에스’ 사과의 저온저장 중 과실품질 유지를 위한 1-methylcyclopropene 처리 효과

Jingi Yoo¹, Hwajong Yoo¹, Nay Myo Win², Hee-Young Jung³, Young-Je Cho⁴, In-Kyu Kang^{1*}
 유진기¹ · 유화종¹ · 나이묘윈² · 정희영³ · 조영재⁴ · 강인규^{1*}

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

²Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Gumwi 39000, Korea

³School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

⁴School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

¹경북대학교 원예과학과, ²국립원예특작과학원 사과연구소,

³경북대학교 응용생명과학부, ⁴경북대학교 식품공학부

Abstract This study was conducted to evaluate the effect of different 1-methylcyclopropene (1-MCP) concentrations on fruit quality of small-sized *RubyS* apples during cold storage. After harvesting, the fruits were treated with 1-MCP at 0.5 or 1 $\mu\text{L/L}$ concentrations and, subsequently, stored at 0°C for 6 months. After 6 months, the flesh firmness of untreated fruits, which was 85.4 N at harvest, had gradually decreased to 46.5 N; however, that of 1-MCP-treated fruits was maintained at 59.1 and 59.5 N. Titratable acidity (TA) of untreated fruits had also decreased from 0.42 to 0.24%, whereas that of 1-MCP-treated fruits was maintained at 0.26 and 0.27%. Soluble solids content (SSC) did not differ in all fruits. However, the 1-MCP-treated fruits had lower levels of SSC/TA ratio than untreated fruits. Moreover, after 6 months, the ethylene production had increased to 47.0 $\mu\text{L/kg/h}$ in the untreated fruits, whereas 1-MCP blocked the ethylene production at 1.4 and 1.7 $\mu\text{L/kg/h}$. The weight loss and peel color variables remained unaffected by 1-MCP treatments. Thus, these results indicated that, for *RubyS* apples, the storability was only 2 months at 0°C without treatment, which can be extended to 6 months with 1-MCP treatments. The application of 1-MCP at 0.5 $\mu\text{L/L}$ concentration is effectively and economically sufficient to maintain the quality of *RubyS* apples.

Keywords *Malus domestica* Borkh, small-sized apple, fruit firmness, titratable acidity, ethylene

OPEN ACCESS

Citation: Yoo J, Yoo H, Win NM, Jung HY, Cho YJ, Kang IK. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on the maintenance of fruit quality of *RubyS* apples during cold storage. Korean J Food Preserv, 30(1), 78-87 (2023)

Received: January 13, 2023
Revised: February 03, 2023
Accepted: February 10, 2023

***Corresponding author**
 In-Kyu Kang
 Tel: +82-53-950-5727
 E-mail: kangik@knu.ac.kr

Copyright © 2023 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. 서론

국내 사과 산업은 최근 약 33,000 ha의 면적에서 약 500,000톤의 사과를 생산하고 있으며 ‘후지’, ‘홍로’ 등과 같은 대과종의 적색 사과가 대부분을 구성하고 있다(Statistics Korea, 2019).

그러나 국내에서는 최근 2인 가구 또는 단일가구로 가족 구성형태가 변해감에 따라 소비자의 과실 구매형태 또한 후대가 편의하고 과실품질이 우수한 중소과를 선호하는 형태로 변화하고 있다(Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2020b). 특히, 소과종 사과품종의 경우 어린이들도 부담 없이 한 번에 섭취할 수 있어 학교, 유치원, 어린이집 등 급식용으로 보급이 가능하며, 그 외에 제빵용 및 간편식 등으로 이용할 수 있는 'snack-size'라고 불리는 미니형 소과종 사과의 시장성이 점차 증가하고 있다(Kwon 등, 2019). 이에 적합한 RubyS (루비에스) 사과는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소에서 '알프스오펜메' × '산사'를 교배하여 2014년 육성된 소과종 품종이다(Kwon 등, 2019). 과실특성을 보면, 성숙기는 8월 중순이고 과피색은 홍색으로 밝은 광택을 나타내며, 과중은 약 70.0 g 정도, 당도는 13.0 °Brix, 산도는 0.42%로 감미가 우수한 것으로 평가를 받고 있다. 그럼에도 불구하고 '루비에스' 사과는 국내의 사과품종 시장을 다양화하면서도 장기간 공급할 수 있는 수확 후 장기저장에 대한 연구가 부족하여 단기저장을 통해 유통·판매시키고 있는 실정이다.

사과에서 에틸렌 발생량은 수확 후 과실의 성숙과 노화에 관여하여 품질변화에 영향을 미치는 것으로 알려져 있어 에틸렌을 효율적으로 조절하는 것이 중요하다(Abeles 등, 1992; Saltveit, 1999; Yoo 등, 2020b). 이러한 에틸렌의 발생 및 작용을 효율적으로 억제하기 위하여 에틸렌 작용억제제인 1-methylcyclopropene(1-MCP)이 적용되고 있다(Watkins, 2006). 그동안 연구결과에서는 1-MCP는 에틸렌 작용과 발생을 억제하지만, 과실품종과 저장 형태 및 저장 기간에 따라 그 효과는 차이를 보인다고 하였다(Fan과 Mattheis, 1999; Mattheis 등, 2005; Saftner 등, 2003; Watkins 등, 2000; Watkins와 Nock, 2005). 특히, 1-MCP의 처리농도는 과실 종류 및 품종, 그리고 약제처리 시 과실의 성숙 단계에 따라 효과에 차이가 있으며, 농도에 따라 약해가 유발될 수도 있어 적합한 농도로 처리하는 것이 매우 중요하다고 하였다(Pre-Aymard 등, 2003; Rupasinghe 등, 2000; Watkins 등, 2000). 그러나 변화하고 있는 국내 사과 재배품종들에 대한 1-MCP 적정 처리농도 연구는 최근 일부 품종을 대상으로 시작되었을 뿐(Kwon 등, 2021;

Kwon 등, 2022; Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2020b), 여전히 대부분의 사과에 적용되고 있는 1-MCP는 1 $\mu\text{L/L}$ 의 농도로 일관되게 적용하고 있어 처리농도에 관한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 소과종 '루비에스' 사과에 대하여 수확 후 1-MCP 처리농도에 따른 저장동안 과실품질에 미치는 영향을 분석함으로써, 효율적인 1-MCP 처리농도와 저장한계기를 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 실험은 경상북도 영천시 임고면 농가에서 재배되고 있는 수세가 안정된 '루비에스/M.9' 6년생 나무를 대상으로, 2020년 8월 27일에 수확하여 경북대학교 원예생산물품질관리학 실험실로 이동한 후, 감염 및 손상된 상처과들을 제외하고 균일한 과실을 선별하여 실험재료로 사용하였다.

2.2. 처리 및 저장 조건

과실을 수확 후 1-MCP(상품명: SmartFresh™, Agro Fresh, Yakima, WA, USA) 처리는 무처리, 0.5 및 1 $\mu\text{L/L}$ 의 농도로 7.8 m³의 밀폐된 공간에 과실을 적재한 후 18시간 동안 실온에서 각각 훈증 처리하였다. 저장조건은 온도 0±0.5°C, 상대습도 90%로 설정하여 6개월간 저장하였고, 과실의 특성조사는 수확 당일 및 저장 1개월 간격으로 총 7회 실시하였다.

2.3. 과실 특성 조사

모든 과실은 조사 1일 전 과실을 저장고에서 꺼내어 실온(20°C)에서 품온을 평형시킨 후, 처리당 5개의 과실을 1반복으로 하여 3반복 총 15개의 과실을 대상으로 측정하였다. 과실 경도는 직경 11 mm plunger를 장착한 과실경도계(Compac-100II, Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 과실 적도부의 과피를 제거한 뒤 과실당 3회 측정된 값을 평균하여 Newton(N)으로 나타내었다. 에틸렌 발생량은 저장 과실을 실온(20±1°C)에서 품온을 평형시킨 후 측정하였다. 과실을 1.6 L 용기에 3개 넣고 밀폐 후 1시간 후에 용기 내의 공기를 1 mL gas 상태로 채취하여 FID(flame

ionization detector)를 장착한 gas chromatography(GC 7820A, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 측정하였다. FID 분석조건은 porapak Q column(80/100 1 m, RASTEK, Bellefonte, PA, USA)을 사용하였고, injector, oven, detector 온도는 각각 100, 90, 250°C로 설정하였으며, carrier gas는 He를 사용하였고 flow rate는 25 mL/min으로 하였다.

가용성 고형물 함량(soluble solids content, SSC)은 착즙한 과즙을 디지털당도계(PR-201 α , Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 산 함량(titratable acidity, TA)은 전위차 적정기(DL-15, Mettler Toledo Co., Greifensee, Switzerland)를 사용하여 과즙 5 mL를 0.1 N NaOH로 pH 8.1까지 적정한 뒤 투입량을 malic acid로 환산하였다. 당산비는 가용성 고형물과 산 함량의 비율로 나타내었다.

과실의 중량감소율은 수확 시 처리별 50개 과실의 과중을 측정 후 저장기간 동안 과중의 변화를 측정하여 백분율로 나타냈다. 전분지수는 Cornell Starch Index를 참고하여 관능적으로 평가하였다(Blanpied and Silsby, 1992). 과피의 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 과실의 양광면(sunny-side)과 바탕면(shade-side)을 각각 3곳을 측정하여 평균값으로 나타내었다.

2.4. 통계 분석

통계 분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 26, IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 ANOVA 결과 분석 후 처리 간 항목별로 Duncan 다중검정으로 분석하였다($p < 0.05$). 그리고, 처리와 저장기간에 따른 종합적인 분석을 위하여 최소유의차검정(least significant difference)으로 분석하였다($p < 0.05$).

Table 1. Fruit quality attributes of *RubyS* apples at harvest

Fruit weight (g)	Firmness (N)	SSC ¹⁾ (°Brix)	TA ²⁾ (%)	Ethylene production ($\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$)	SPI ³⁾ (0-8)	Hunter value		
						L*	a*	b*
75.0 \pm 2.2 ⁴⁾	85.4 \pm 0.4	13.1 \pm 0.2	0.42 \pm 0.01	2.63 \pm 0.19	7.56 \pm 0.04	38.9 \pm 3.1	28.5 \pm 1.6	13.3 \pm 1.4

¹⁾SSC, soluble solids content.

²⁾TA, titratable acidity.

³⁾SPI, starch pattern index: 0 (immature stage) - 8 (mature stage).

⁴⁾All values are expressed as mean \pm SE of triplicate determinations (n=15).

3. 결과 및 고찰

3.1. 수확 시 과실 특성

‘루비에스’ 사과 수확 시 과실 특성은 Table 1과 같다. 과중은 75.0 g, 경도는 85.4 N, 가용성 고형물과 산 함량은 13.1 °Brix, 0.42%로 그 특성이 발현되었다. 그리고 과피 양광면의 적색도(a*) 역시 28.5로 착색이 우수하였고, 수확 시 에틸렌 발생량은 2.63 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 이었으며 전분지수(starch pattern index, SPI)는 성숙기에 근접한 7.56을 보였다.

3.2. 1-MCP 처리에 따른 저장기간 중 과실 특성 변화

‘루비에스’ 사과의 경도 변화는 다음과 같다(Fig. 1(A)). 무처리 과실은 수확 시 85.4 N에서 저장 1개월 후 61.9 N 정도로 급격히 감소하였고, 저장 2개월 후에는 59.5 N의 경도를 나타내었으나 이후 서서히 감소하여 저장 6개월 후에는 46.5 N의 과실 경도를 나타내었다. 그러나 1-MCP 처리구의 경우 0.5 $\mu\text{L}/\text{L}$ 의 농도에서는 저장 1개월 후 무처리구와 동일한 수준의 경도 감소를 나타내었으나, 저장 2개월 이후 경도 감소가 지연되면서 1 $\mu\text{L}/\text{L}$ 의 처리구와 차이가 없이 낮은 경도 감소율을 보였으며 저장 6개월 후에는 1-MCP 처리 과실들은 59.1-59.5 N으로 높은 과실 경도를 보였다. 그리고 1-MCP 처리 후 저장기간에 따른 에틸렌 발생량을 보면(Fig. 1(B)), 무처리 과실은 수확 시 2.1 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 이었고, 저장 2개월 후부터 증가하기 시작하여 저장 6개월 후에는 47.0 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 까지 급격히 증가하였다. 그러나 1-MCP 처리구들은 처리농도에 따른 차이 없이 1.4-1.7 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 로 매우 낮은 에틸렌 발생량을 보였다. Watkins(2006)는 과실의 연화가 1-MCP에 의해 억제될 수 있다고 하였으며, 1-MCP에 의해 영향을 받는 식감과 관련된 구성 요소는 충분히 조사되지 않았지만, 과실 조직의 인장력은 1-MCP 처

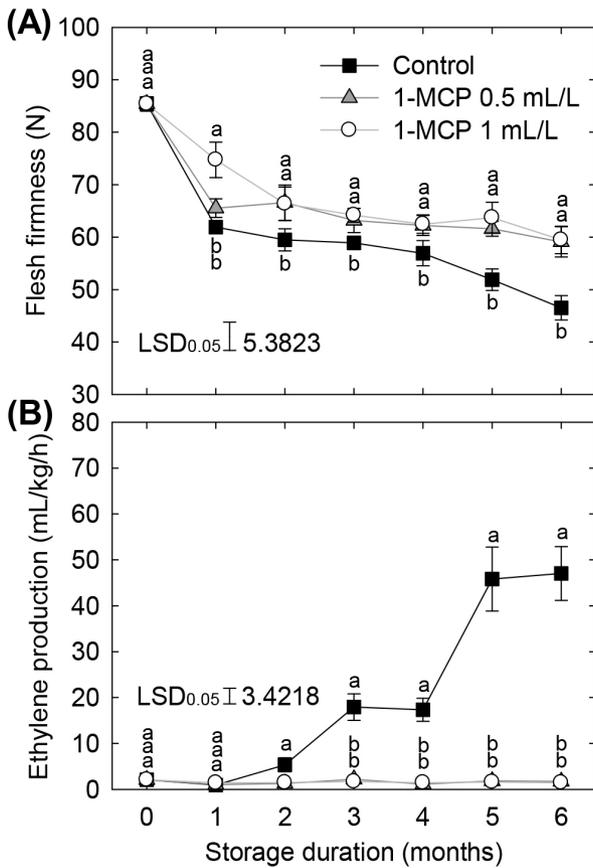


Fig. 1. Effect of various 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on fresh firmness (A) and ethylene production (B) in *RubyS* apple during cold storage. All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations (n=15). Vertical bars represent LSD values at the 95% confidence level for effects of treatments × storage duration. ^{a,b}Different superscripts on the graph are significantly different by Duncan’s multiple range test (p<0.05).

리된 과일에서 더 크다고 보고하였다(Baritelle 등, 2001). 그리고 국내 육성 사과품종인 *Summer King*과 *Green Ball* 사과에서도 1-MCP 처리 효과를 보여 에틸렌 발생량 억제와 함께 과실의 높은 경도를 유지하였다(Win 등, 2019). 1-MCP는 과실에 적용 시 에틸렌 작용 억제와 추가로 발생하는 에틸렌 발생량을 감소시키고(Kwon 등, 2021; Mattheis 등, 2005; Watkins, 2007; Watkins 등, 2000), 이는 에틸렌 생합성 과정에 *Md-ACS1*과 *Md-ACO1* 유전자의 발현에 관여함으로써(Kwon 등, 2017) 과실의 경도 감소를 억제하는데 효과적이라 하였다. 그러나, Pre-Aymard 등(2003)은 *Anna* 사과에 1-MCP를 0.01, 0.1, 그리고 1 μL/L 농도로

처리하였을 때 0.1 μL/L 이하의 농도에서는 효과를 나타내지 않는다고 하였고, Watkins 등(2000)은 1-MCP를 0.5, 1, 그리고 2 μL/L 농도로 처리하였을 때, *Mcintosh*와 *Law Rome* 사과는 0.5 μL/L 처리구가 과실품질 유지에 부분적인 효과를 나타내었지만, *Empire*, *Delicious* 사과의 경우 0.5 μL/L 처리구 역시 1 μL/L과 2 μL/L 처리구와 같이 과실품질 유지에 효과적이라고 보고하였다. 따라서 ‘루비에스’ 사과에도 1-MCP 처리가 과실의 경도 감소와 에틸렌 발생 억제에 동일한 효과를 보여 소과종 사과의 과실품질 유지에 효과적이며, 특히 1-MCP 0.5 μL/L 농도 처리는 1 μL/L 처리와 동일한 효과를 보여 ‘루비에스’ 사과에 적용이 가능한 농도라고 판단되었다. 따라서 ‘루비에스’ 사과는 무처리구의 경우 저온저장에서 경도가 60.0 N 수준을 유지하며 에틸렌의 발생량이 급격히 증가되기 직전인 수확 후 2개월이 저장한계기로, 1-MCP 처리의 경우 농도에 차이가 없이 6개월까지도 저장이 가능할 것으로 판단되었다(Yoo와 Kang, 2021).

‘루비에스’ 사과의 가용성 고형물 함량(Fig. 2(A)) 변화는, 무처리구의 경우 수확 시 13.1 °Brix이었고 저장 6개월 후에도 13.5 °Brix로 유지되었다. 1-MCP 처리구들 역시 처리농도와 관계없이 저장기간 동안 비슷한 가용성 고형물 함량을 나타내었으며, 무처리구와 차이를 보이지 않았다. 반면, 과실의 산 함량은(Fig. 2(B)) 수확 시 0.42%이었고, 무처리구의 경우 저장기간이 길어질수록 지속적으로 감소하여 저장 4개월 후 0.28%, 5개월 후 0.24%, 그리고 6개월 후 0.23%의 산 함량을 보였지만, 1-MCP 처리 과실들은 저장 4개월 후 0.31-0.32%, 5개월 후 0.27-0.29%, 그리고 6개월 후 0.26-0.27%의 산 함량을 보여, 무처리 과실과 비교하여 산 함량이 높게 유지되었다. 그동안의 연구결과를 보면 사과 과실에 1-MCP 처리 시 저장기간 동안 산 함량의 감소를 지연시킨다고 하였다(Defilippi 등, 2004; Fan과 Mattheis, 2001; Pre-Aymard 등, 2003; Pre-Aymard 등, 2005; Saftner 등, 2003; Toivonen과 Lu, 2005; Watkins 등, 2000). 이는 국내에서 재배된 ‘홍옥’, ‘후지’, ‘홍로’, ‘감홍’ 사과에서 역시 1-MCP를 처리하였을 때 에틸렌 발생량이 현저히 억제되고 경도와 산 함량은 높게 유지되었다(Lim 등, 2007; Lim 등, 2009; Park 등, 2016; Yoo 등, 2013; Yoo 등, 2015). 그러나, 가용성 고형물 함량의 경우 1-MCP를 처리하였을 때 무처리 과실과 비교하여 품종과 재배 및 저장

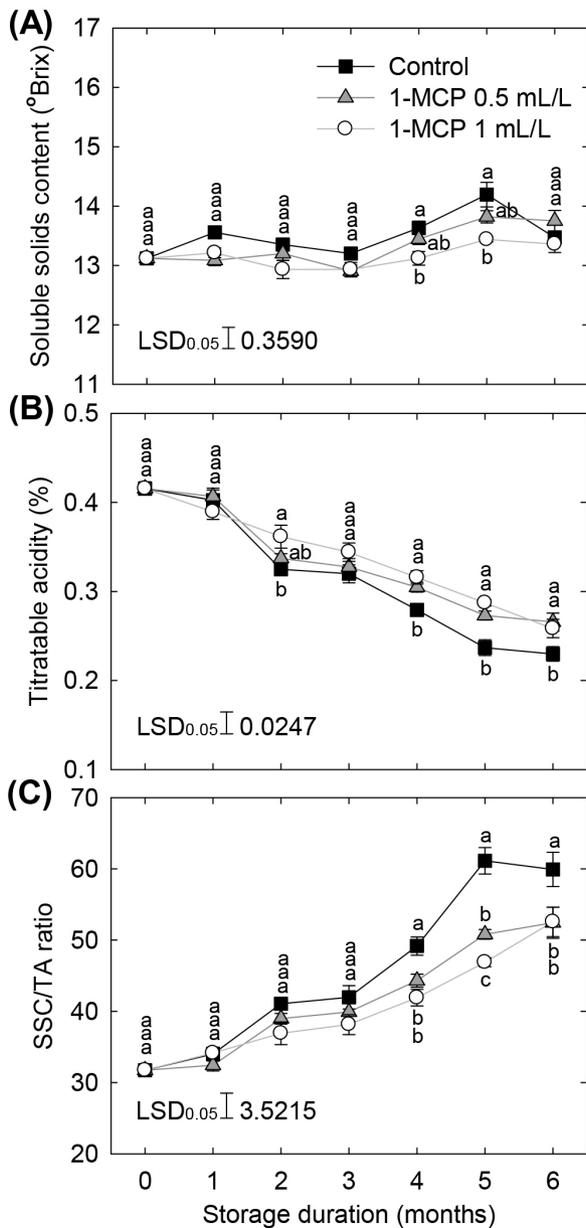


Fig. 2. Effect of various 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on soluble solids content (SSC, A), titratable acidity (TA, B), and SSC/TA ratio (C) in *RubyS* apple during cold storage. All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations (n=15). Vertical bars represent LSD values at the 95% confidence level for effects of treatments × storage duration. ^{a-c}Different superscripts on the graph are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

환경에 따라 높거나 낮을 수 있으며, 그리고 그 차이는 미미하다고 하였다(Moran과 McManus, 2005; Pre-Aymard 등, 2005; Watkins 등, 2000; Zanella, 2003). 이는 외국

사과품종인 *Mcintosh*와 *Empire* 사과에서(DeEll 등, 2016), 그리고 국내 사과품종인 ‘썸머프린스’와 ‘썸머킹’ (Yoo 등, 2020a), ‘홍금’(Yoo 등, 2020b) 사과에서도 1-MCP 처리가 가용성 고형물의 함량 변화에 미치는 영향이 없었고 하여 ‘루비에스’ 사과에서도 동일한 경향을 보였다. 그리고 가용성 고형물과 산 함량의 비율을 나타내는 당산비를 보면(Fig. 2(C)), 무처리 과실에서 산 함량이 감소하면서 당산비가 급격히 증가하였지만 1-MCP 처리과실들은 상대적으로 낮은 결과를 보여 산 함량이 유지되는 효과를 보여 과실의 품질이 유지되는 결과를 보였다. ‘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(Yoo 등, 2020a) 한 결과와 동일하였다. 따라서 ‘루비에스’ 사과에도 1-MCP 처리가 과실의 산 함량 감소와 당산비의 변화 억제에 효과를 보여 사과종 사과의 식미 유지에 효과적이며, 1-MCP 처리 농도에 따른 차이가 없었다.

3.3. 저장기간 중 중량감소율과 전분지수 변화

‘루비에스’ 사과의 중량감소율은(Fig. 3(A)), 무처리구와 1-MCP 처리구들 간에 차이가 없이 저장기간이 길어질수록 증가하는 경향으로, 저장 3개월 후에는 2.75-3.10%로 품질이 유지되었으나 저장 6개월 후에는 4.50-4.70%로 중량감소율이 증가하여 외관상 품질이 하락하는 현상을 보였다. Jackson 등(1971)은 무게가 적게 나가는 사과종 사과에서 무게가 상대적으로 무거운 대과종 사과와 비교하여 높은 중량감소율을 보이며, 이는 과중 대비 사과종 과실의 표면적 비율이 대과종 비교하여 크기 때문이라고 하였다. Yoo 등 (2021) 역시 국내 사과 재배품종 중 가장 높은 재배면적과 생산량을 나타내는 ‘후지’ 사과의 경우 저온 저장 6개월 후 약 1.50%의 중량감소율을 보였으며, 그 외 대과종인 ‘감홍’ 사과 및 중소과 사과 품종인 ‘황옥’과 ‘피크닉’ 사과의 경우 저장 6개월 후 각각 1.70, 1.60, 2.60%의 중량감소율을 보인다고 하였다. 따라서 ‘루비에스’ 사과는 기준에 널리 재배되고 있는 사과품종과 비교하여 높은 중량감소율을 보여 장기저장을 위하여 개선이 필요한 부분이라고 판단된다. 또한, 1-MCP 처리하였을 때 ‘감홍’과 ‘썸머프린스’ 사과는 저온저장 후 낮은 중량감소율을 보였으나, ‘후지’, ‘황옥’, ‘피크닉’,

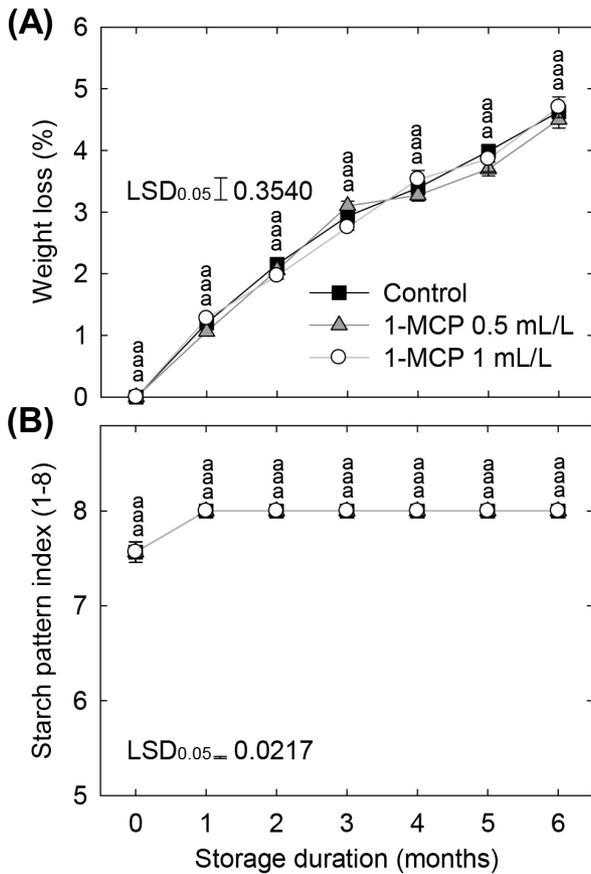


Fig. 3. Effect of various 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on weight loss (A) and starch pattern index (B) in RubyS apple during cold storage. *Starch pattern index: 0 (immature stage) – 8 (mature stage). All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations (n=15). Vertical bars represent LSD values at the 95% confidence level for effects of treatments × storage duration. All superscripts on the graph are significantly different by Duncan’s multiple range test (p<0.05).

그리고 ‘썸머킹’ 사과는 중량감소율의 차이가 없다고 하였다 (Win 등, 2019; Yoo 등, 2020a; Yoo 등, 2021). 따라서 저장기간 동안 1-MCP 처리 시 중량감소율에 미치는 영향은 사과품종에 따라 다소 차이가 있는 것으로 판단되었다. 그리고 수확 시와 저장기간에 따른 전분지수(SPI)의 변화를 보면 (Fig. 3(B)), 수확 시에는 거의 성숙에 해당되는 SPI 7.56을 보였고, 저장 1개월 후에는 처리구 간 차이가 없이 완전 성숙인 SPI 8.00을 보여 전분이 포도당으로 완전히 분해됨을 확인하였다. 사과 과실의 경우 과실의 전분함량은 과실의 성숙 정도를 판단하는 데 이용되며 본 연구에 사용된 과실은

수확 시 거의 성숙이 완료된 것으로 확인되었다(Brookfield 등, 1997; Magein과 Leurguin, 2000). 그리고 Watkins 등(2000) 1-MCP의 처리 효과는 처리 농도 및 시간, 그리고 과실의 성숙단계에 따라 차이를 보인다고 하였으며, 특히 과성숙한 과실에 1-MCP를 처리하였을 때 그 효과가 감소된다고 하여 본 연구의 전분지수 변화에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되었다.

3.4. 저장기간 중 과피색의 변화

‘루비에스’ 사과의 수확 시 양광면(sunny-side, Fig. 4(A)-(C))과 바탕색(shade-side, Fig. 4(D)-(F))의 과피 착색을 조사하였다. 수확 시 양광면의 과피 명도(L*)는 38.9, 적색도(a*)는 28.5, 등황색(b*)은 13.3을 보였고, 저장기간 및 1-MCP 처리에 따른 차이는 보이지 않았다. 그리고 모든 처리구들에서 과피의 바탕색을 측정된 L*값과 b*값은 저장기간이 길어질수록 점점 증가하는 경향을 보였으나, a*값은 저장기간 동안 변화를 보이지 않았다. Dauny와 Joyce (2002)는 일반적으로 상업적 측면에서 부정적인 요소로 간주되는 녹색을 띠는 과피 바탕색의 감소는 1-MCP 처리 유무에 따라 차이를 보이지 않는다고 하였다. 국내 육성품종인 ‘썸머킹’, ‘감홍’ 사과에 1-MCP 처리 시 과피색의 변화에는 영향이 없었고(Kim 등, 2018; Yoo 등, 2020a), Honeycrisp 사과도 1-MCP 처리에 따른 착색변화에 미치는 영향은 없었다고 하였다(Mattheis 등, 2017). 그러나 1-MCP를 처리 시 때에 따라 과피색의 변화를 지연시키는 경향을 보이기도 하여 재배 및 저장 환경, 또는 과실품종에 따라 1-MCP 효과에 차이가 있는 것으로 보고되고 있다(Blankenship과 Dole, 2003).

이상의 결과를 종합해 보면, 소과종 ‘루비에스’ 사과에 1-MCP 처리는 0.5와 1 μL/L의 농도와 관계없이 저장 6개월까지도 60 N 수준의 경도를 유지하였고, 에틸렌 발생량은 매우 낮게 유지하였다. 또한, 산 함량도 무처리 과실에 비하여 높게 유지하였다. 그러나 중량감소율은 저장 3개월 이후부터는 현저히 증가되어 과실품질 유지에 한계가 있었다. 따라서 ‘루비에스’ 사과는 무처리 과실은 저장 2개월이 한계기로, 그리고 1-MCP 처리 시 0.5 μL/L의 농도도 1 μL/L 농도와 차이가 없었고, 중량감소율을 제외하면 6개월까지도 저장이 가능할 것으로 판단되었다.

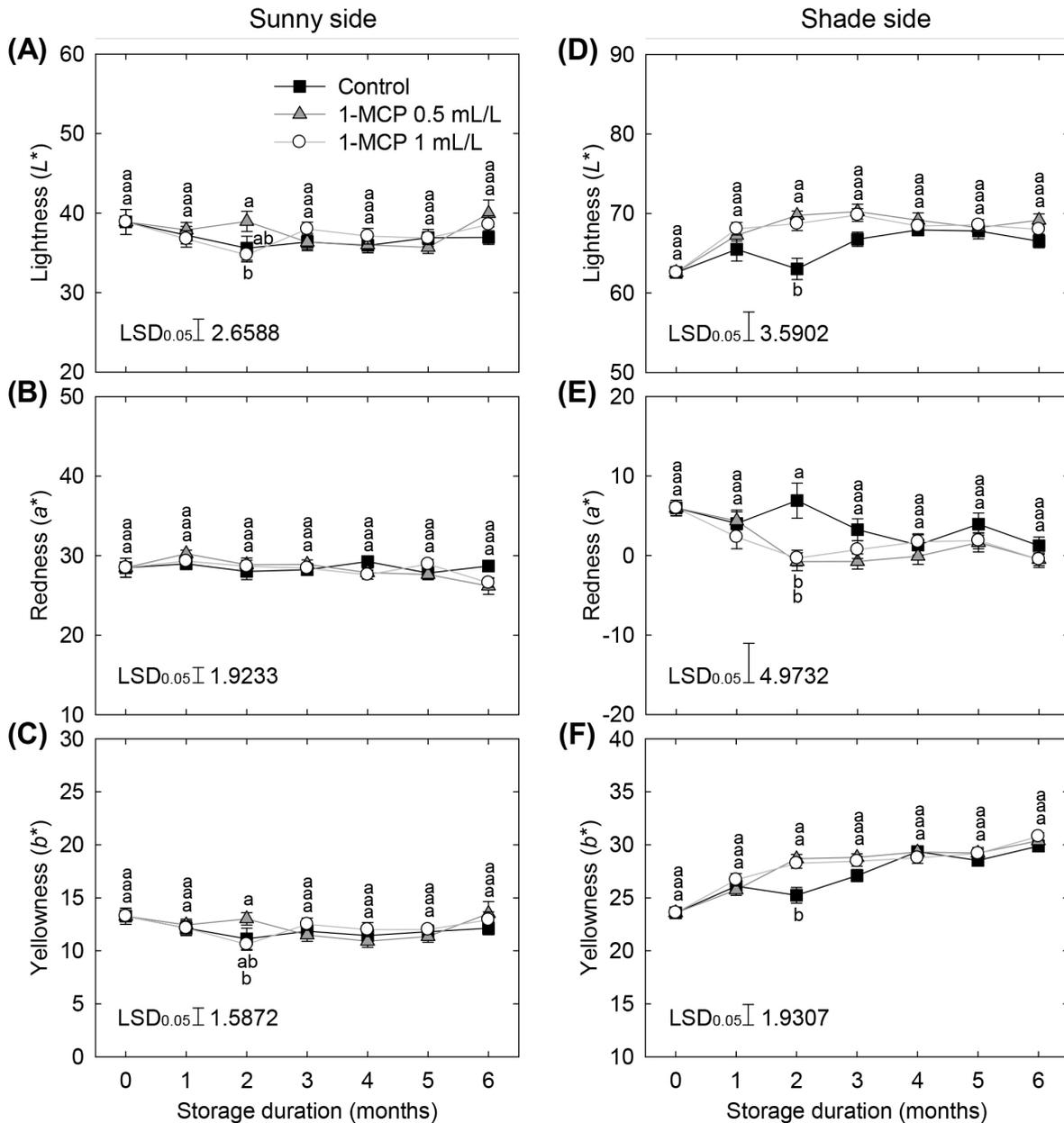


Fig. 4. Effect of various 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on skin color variables on sunny and shade side of *RubyS* apple during cold storage. *Peel color variables on sunny side: A, B, C; on shade side: D, E, F. All values are expressed as mean±SE of triplicate determinations (n=15). Vertical bars represent LSD values at the 95% confidence level for effects of treatments × storage duration. Different superscripts on the graph are significantly different by Duncan’s multiple range test (p<0.05).

4. 요약

본 연구는 사과종 ‘루비에스’ 사과를 수확한 후 1-MCP를 0.5 및 1 μ L/L의 농도로 처리한 다음 0°C에서 6개월간 저장하면서 과실품질을 조사하였다. 무처리 과실의 경도는 수확

시 85.4 N이었고, 저장 6개월 후에는 46.5 N으로 급격히 감소되었으나, 1-MCP 처리 과실들은 59.1와 59.5 N으로 높은 경도를 보였다. 산 함량은 수확 시 0.42%에서 저장기간 동안 서서히 감소하여 저장 6개월 후 무처리 과실은 0.24% 였으나 1-MCP 처리 과실들은 0.26와 0.27%로 높게 유지

되었다. 그리고 가용성 고형물 함량은 차이가 없었고, 당산 비는 1-MCP 처리 과실들이 무처리 과실과 비교하여 적은 변화율을 나타내었다. 에틸렌 발생량은 무처리 과실의 경우 저장 6개월 후 47.0 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 로 급격히 증가하였으나, 1-MCP 처리 과실들은 1.4와 1.7 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 로 매우 낮은 에틸렌 발생량을 보였다. 그리고 저장기간 동안 중량감소율은 처리 간 차이가 없었고, 저장 3개월 후부터는 3.0% 이상의 중량감소율을 보였다. 과피의 착색도는 양광면과 바탕색 모두 처리 간 차이를 보이지 않았다. 따라서 사과종 ‘루비에스’ 사과의 저온저장 시 유통단계는 무처리 과실은 2개월 정도로 판단되지만, 1-MCP 처리 과실은 중량감소율을 제외한다면 6개월까지도 가능할 것으로 판단되었다. 특히, 적정 1-MCP 처리농도는 0.5 $\mu\text{L}/\text{L}$ 가 효율적이라고 판단되었다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Yoo J, Yoo H, Win NM, Kang IK. Methodology: Yoo J, Win NM, Kang IK. Formal analysis: Yoo J, Yoo H. Validation: Yoo J, Win NM, Jung HY, Cho YJ. Writing - original draft: Yoo J, Yoo H, Win NM. Writing - review & editing: Jung HY, Cho YJ, Kang IK.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Jingi Yoo (First author)

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

Hwajong Yoo

<https://orcid.org/0000-0002-6926-3445>

Nay Myo Win

<https://orcid.org/0000-0001-7617-4873>

Hee-Young Jung

<https://orcid.org/0000-0002-4254-3367>

Young-Je Cho

<https://orcid.org/0000-0002-2365-6294>

In-Kyu Kang (Corresponding author)

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

References

- Abeles FB, Morgan PW, Saltveit ME. Ethylene in Plant Biology. Academic press, San Diego, CA, USA, p 182-221 (1992)
- Baritelle AL, Hyde GM, Fellman JK, Varith J. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue. *Postharvest Biol Technol*, 23, 153-160 (2001)
- Blankenship SM, Dole JM. 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biol Technol*, 28, 1-25 (2003)
- Brookfield P, Murphy P, Harker R, Macrae E. Starch degradation pattern indices: Interpretation and relationship to maturity. *Postharvest Biol Technol*, 11, 23-30 (1997)
- Dauny PT, Joyce DC. 1-MCP improves storability of ‘Queen Cox’ and ‘Bramley’ apple fruit. *Hort Science*, 37, 1082-1085 (2002)
- 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)
- Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA. Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavormetabolites in apple (*Malus domestica* Borkh) fruits. *J Agric Food Chem*, 52, 5694-5701 (2004)
- Fan XT, Mattheis JP. Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP. *J Agric Food Chem*, 47, 3063-3068 (1999)
- Fan XT, Mattheis JP. 1-Methylcyclopropene and storage temperature influence responses of ‘Gala’ apple fruit to gamma irradiation. *Postharvest Biol Technol*, 23, 143-151 (2001)

- Jackson JE, Sharples RO. The influence of shade and within-tree position on apple fruit size, colour and storage quality. *J Hort Sci*, 46, 227-287 (1971)
- 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)
- Kwon JG, Yoo J, Win NM, Maung TT, Naing AH, Cho YJ, Jung HY, Kang IK. Minimization of 1-methylcyclopropene concentration to regulate cell wall metabolism of 'Arisoo' and 'Picnic' apples in cold storage. *Hortic Sci Technol*, 40, 410-419 (2022)
- Kwon JG, Yoo J, Win NM, Maung TT, Naing AH, Kang IK. Fruit quality attributes of 'Arisoo' and 'Picnic' apples as influenced by 1-methylcyclopropene concentration and its application frequency during cold storage. *Hortic Sci Technol*, 7, 477 (2021)
- Kwon SI, Kim JH, Kim SA, Kwon YS, Lee J. 'RubyS', a small apple. *HortScience*, 54, 2067-2069 (2019)
- 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-ACSI* 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)
- Magein H, Leurquin D. Changes in amylase, amylopectin and total starch content in 'Jonagold' apple fruit during growth and maturation. *Acta Hort*, 517, 487-491 (2000)
- Mattheis JP, Fan XT, Argenta LC. Interactive responses of 'Gala' apple fruit volatile production to controlled atmosphere storage and chemical inhibition of ethylene action. *J Agric Food Chem*, 53, 4510-4516 (2005)
- 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)
- Moran RE, McManus P. Firmness retention, and prevention of coreline browning and senescence in 'Macoun' apples with 1-methylcyclopropene. *HortScience*, 40, 161-163 (2005)
- Park JY, Kim KO, Yoo J, Win NM, Lee J, Choung MG, Jung HY, Kang IK. Effects of amino-ethoxyvinylglycine, sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) and fumigation 1-MCP treatments on fruit quality attributes in cold-stored 'Jonathan' apples. *Korean J Food Preserv*, 23, 453-458 (2016)
- Pre-Aymard C, Fallik E, Weksler A, Lurie S. Sensory analysis and instrumental measurements of 'Anna' apples treated with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol Technol*, 36, 135-142 (2005)
- Pre-Aymard C, Weksler A, Lurie S. Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol Technol*, 27, 163-170 (2003)
- Rupasinghe HPV, Murr DP, Paliyath G, Skog L. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J Hort Sci Biotechnol*, 75, 271-276 (2000)
- Saftner RA, Abbott JA, Conway WS, Barden CL. Effects of 1-methylcyclopropene and heat treatments on ripening and postharvest decay in 'Golden Delicious' apples. *J Am Soc Hortic Sci*, 128, 120-127 (2003)
- Saltveit ME. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol Technol*,

- 15, 279-292 (1999)
- Statistics Korea Database. Fruit cultivation area in Korea. Available from: <http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do> Accessed Aug. 30, 2019.
- Toivonen PMA, Lu CW. Studies on elevated temperature, short-term storage of 'Sunrise' summer apples using 1-MCP to maintain quality. *J Hortic Sci Biotechnol*, 80, 439-446 (2005)
- Watkins CB. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol Adv*, 24, 389-409 (2006)
- Watkins CB. The effect of 1-MCP on the development of physiological storage disorders in horticultural crops. *Stewart Postharvest Rev*, 2, 11-14 (2007)
- Watkins CB, Nock JF. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment, and temperature during treatment, on ripening of air- and controlled atmosphere-stored apples. *HortScience*, 40, 2096-2101 (2005)
- Watkins CB, Nock JF, Whitaker BD. Responses 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 (2000)
- 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. *Hortic Sci Technol*, 38, 870-879 (2020b)
- Yoo J, Kang BK, Lee J, 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, Kang IK. Effect of application timing of 1-methylcyclopropene treatments on fruit quality attributes in 'Fuji' apples during simulated marketing. *Korean J Food Preserv*, 28, 318-324 (2021)
- 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 Hort 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. *Hortic Sci Technol*, 38, 660-674 (2020a)
- Yoo J, Win NM, Mang H, Cho YJ, Jung HY, Kang IK. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on fruit quality during cold storage in apple cultivars grown in Korea. *Horticultrae*, 7, 338 (2021)
- Zanella A. Control of apple superficial scald and ripening. A comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra low oxygen storage. *Postharvest Biol Technol*, 27, 69-78 (2003)