

Research Report

조생종 배 ‘한아름’에 대한 GA₄₊₇ 및 1-methylcyclopropene(1-MCP) 처리 반응이옥용¹, 오광석², 임병선³, 왕무화², 황용수², 천종필^{2*}¹국립원예특작과학원 배시험장²충남대학교 원예학과³국립원예특작과학원 저장유통연구팀Response of Early-season Asian Pear ‘Hanareum’ Treated with GA₄₊₇ to Postharvest Application of 1-methylcyclopropene (1-MCP)Ug-Yong Lee¹, Kwang-Suk Oh², Byung-Sun Lim³, Mao-Hua Wang², Yong-Soo Hwang², and Jong-Pil Chun^{2*}¹Pear Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Naju 520-821, Korea²Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea³Postharvest Research Team, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

Abstract: This study was conducted to investigate the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP, 1.0 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$), a known ethylene action inhibitor, on fruit quality and incidence of physiological disorders during a simulated marketing period at 25°C for 20 days in early-season Asian pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) ‘Hanareum’ that had been treated with 0, 0.5, 1.2 or 2.4% GA₄₊₇. Weight loss of stored fruits increased with GA₄₊₇ concentration, and the 1-MCP treatment slightly reduced the weight loss rates during the marketing period. Flesh firmness decreased abruptly in all 1-MCP-untreated fruits as the storage period extended to 10 d, whereas the firmness of 1-MCP-treated fruits remained high (> 30 N) during 15 days shelf-life. The effect of 1-MCP was significantly reduced when fruits were subjected to increased GA concentration. Higher soluble solids content and acidity during extended shelf-life were also apparent in 1-MCP-treated ‘Hanareum’ pears. The L-values (lightness) and hue angles of 1-MCP treated samples were higher than those of controls during 20 days shelf-life, but the a-value (redness) was lower in 1-MCP treated fruits. 1-MCP treatment did not decrease the level of ethylene evolution regardless of GA₄₊₇ concentration during shelf-life in early-season Asian pear ‘Hanareum’. By contrast, 1-MCP treatment decreased the respiration rate significantly during shelf-life. The efficacy of 1-MCP was greatest in the GA-untreated fruit and was reduced as the GA₄₊₇ concentration increased. 1-MCP treatment influenced the severity of physiological disorders including core browning and mealiness: 1-MCP treatment completely blocked the incidence of core browning of during 15 days shelf-life, and reduced the severity of mealiness during 20 days shelf-life regardless of GA₄₊₇ concentration. Based on our results, we conclude that the use of 1 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP can be of great benefit for maintaining quality and preventing physiological disorders in early-season pear cultivar ‘Hanareum’ pear, whereas its efficacy decreases with the concentration of GA₄₊₇ whereas its efficacy gradually decreases when the concentration of GA₄₊₇ paste increased.

Additional key words: ethylene, firmness, physiological disorder, respiration

서 언

국내 육성품종인 ‘한아름’ 배(*Pyrus pyrifolia* Nakai)는 수

확시기가 8월 중하순으로 조생종이며, 이 품종은 중생종에 편중된 배 품종의 불균형을 해소할 수 있을 것으로 기대되는 품질이 우수한 품종이다(Hwang et al., 2005). 그러나 ‘신

*Corresponding author: jpchun@cnu.ac.kr

※ Received 5 February 2014; Revised 24 March 2014; Accepted 29 April 2014. 본 논문은 농촌진흥청 원예특작과학원 배시험장 박사후연수과정 지원 사업에 의해 이루어진 것입니다.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

고'에 비하여 수확기에 에틸렌 발생량이 높고 알코올불용성 물질 함량이 낮은 특성(Oanh et al., 2012)을 보이는데, 아직까지 상세한 품질보전에 대한 연구가 미흡하므로 생리적 특성의 이해 및 수확 이후 상온에서의 유통력 증진기술 개발이 무엇보다 중요하다.

관행적으로 동양배의 과실비대 및 숙기를 촉진시키는 방법으로 지베렐린, 에테폰, 그리고 지베렐린에 합성사이토키닌을 처리하는 방법이 주로 쓰이고 있다. 그 중 지베렐린은 과실의 단위결실(Bukovac, 1963; Inomata et al., 1992; Yamada et al., 1991)에 효과적이며 배 과실의 발육 및 성숙에 관여하는 것으로 알려져 있다(Nakagawa et al., 1973; Yuda et al., 1984; Zhang et al., 2005, 2007a, 2007b). 현재 배 과실에서 숙기촉진용으로 실용화되어 있는 지베렐린 도포제는 GA₃ 2.5% 및 GA₄₊₇ 0.2%로 구성되어 있는데, Zhang et al.(2007b)에 따르면 배 과실 내의 total bioactive GA 수준은 만개 직후에 가장 높고 만개 후 30-40일을 비롯한 총 5회의 수준증가가 나타나는데 배 '신흥'에 있어 GA₃의 수준은 만개기에만 높고 이후 세포비대기간에는 GA₄의 수준 증가가 만개 후 50일 및 110일에 나타난다는 보고를 감안하면 배에 있어 GA₄가 보다 직접적으로 과실비대에 관여하는 것으로 보인다.

수확 후 배 과실에서 나타나는 품질의 악화는 노화를 유발하는 호르몬인 에틸렌이 일정 부분 관여하고 있는데 기존의 연구결과, 조생종 배인 '원황'은 다른 배에 비하여 비교적 에틸렌생합성이 높아(Lee and Chun, 2011; Lee et al., 2011) 수확 이후 빠른 품질 변화를 보이므로 에틸렌의 효과적인 제어를 위한 에틸렌제어제의 도입 가능성을 타진하는 일은 무엇보다 중요한 연구라고 판단되고 있다(Lee et al., 2012; Moon et al., 2008). 동양배는 수확 시 과실의 숙기와 온도환경이 호흡 및 에틸렌발생에 영향을 미친다고 보고되고 있는데(Kitamura et al., 1981) 수확 후 과실의 호흡량 증가는 과실주변의 산소농도를 지나치게 낮추거나 이산화탄소 농도를 높일 수 있고, 이 경우 modified atmosphere 스트레스 유발로 과실품질에 악영향을 줄 수 있다(Kader et al., 1989). 동양배에 있어 호흡률은 조생종일수록 높고 호흡형이 품종에 따라 다르게 나타나 '장십량'은 호흡급등형을, '신흥' 품종은 호흡비급등형을 보이는 것으로 밝혀진 바 있다(Jeong et al., 1998).

'신흥' 배의 저장력 증진을 위한 controlled atmosphere 저장의 효과가 발표된 이래(Yang, 1997), 저산소 및 고이산화탄소 조건에서 조·만생 품종 배의 과실경도, 호흡률 및 에틸렌 발생량의 감소 등 과실 품질 유지를 위한 긍정적인 결과

가 보고된 바 있으나(Park, 1999) 에틸렌 작용 억제제의 신육성 품종에 대한 효능 평가 연구는 제한적인 실정이다.

따라서 본 연구는 조생종 배 과실에 대한 지베렐린 농도별 처리가 과실 연화 촉진에 미치는 영향을 구명하고, 수확 후 1-methylcyclopropene(1-MCP)의 지베렐린 처리 과실에 대한 반응성을 검증하여 배 수확 후 관리시스템 구축의 기초자료로 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

과실 재료 및 1-MCP 처리

실험재료는 충남 천안시의 개인농가에서 9년생 '한아름' 배를 공시하였다. 과실은 만개 후 35일에 GA₄₊₇을 0, 0.5, 1.2, 2.4%를 실험실에서 조제한 후 과정에 25mg씩 도포처리하였다. 과실은 과실의 숙도에 따라 수확시기를 달리하여 분산수확하였는데 GA₄₊₇ 2.4% 처리구는 만개 후 105일인 8월 12일, GA₄₊₇ 0.5 및 1.2% 처리구는 만개 후 108일인 8월 15일, 무처리구는 만개 후 112일인 8월 19일 각각 수확하여 실험에 이용하였다. 과실은 수확 후 상온에서 1일간 예건 후 1-MCP를 처리하였다. 1-MCP 처리는 1m³의 처리전용 텐트 내에서 20kg들이 플라스틱 컨테이너에 과실을 채우고 1-methylcyclopropene(1-MCP, SmartFreshTM, AgroFresh Inc., USA) powder를 기화시켜 1.0μL·L⁻¹ 농도로 25°C에서 12시간 처리하였다. 텐트 내에는 소형팬을 설치하여 처리 중 공기를 순환시켰다(Choi and Bae, 2007). 처리 후 과실은 모두 그물망을 씌우고 수출용 5kg 종이상자에 넣어 25°C에서 모의유통하면서 5일 간격으로 20일간 과실의 품질 및 생리장해 발생을 조사하였다.

품질조사 및 생리장해 평가

과실의 경도는 rheometer(TMS-Pro, Food Tech. Corp., USA)로 직경 8mm 측정봉을 이용하여 과피를 제거한 과실의 적도면에 수직으로 5mm sample move, 100mm·min⁻¹의 조건으로 최대압력을 측정하였다. 가용성 고형물은 과실 적도면의 동일부분을 1cm 두께로 잘라 4겹의 cheese cloth를 이용하여 착즙한 후 digital refractometer(PR-32a, ATAGO, Japan)를 사용하여 측정하였다. 산 함량은 동일한 방법으로 착즙한 과즙 5mL를 증류수 35mL에 희석하여 0.1N NaOH를 이용하여 pH 8.3까지 중화 적정한 후 사과산으로 환산하였다. 전분함량은 착즙한 과즙 1mL를 증류수 4mL에 희

석한 후 진단시약(KI 5% + I 1% + 증류수)으로 발색하여 spectrophotometer를 이용하여 640nm에서 측정하였다. 과피 색 측정에는 chroma meter(CR-410, Minolta, Japan)를 이용하여 각 개체의 모든 과실의 적도면을 측정하여 L*, a*, b*를 구하고 Hue값 등을 계산하였다. 과실의 에틸렌 발생량 및 호흡량 측정은 각 처리구에서 무작위로 6과를 선택하여 3반복으로 3.4L 용기에 2과씩 넣어 밀폐하고 25°C에서 2시간 방치 후 밀폐된 용기내부의 기체를 주사기로 1mL 포집한 후 각각 FID 및 TCD가 장착된 gas chromatograph(YL6100-GC, Younglin, Korea)로 측정 후 계산하였다(Tamura et al., 2003).

한편 과실 내부에 발생하는 과심갈변 및 분질장애 지수는 전 시험과 동일한 방법으로 조사(Lee et al., 2012)하였고, 과피갈변은 과피면적을 기준으로 건전과 0, 20% 미만은 1, 40% 미만은 2, 60% 미만은 3, 80% 이상은 5로 구분하였다.

통계

본 실험에서는 SPSS 프로그램(version 21.0, SPSS, Inc., Chicago, Illinois, USA)을 사용하였다. 분산분석(ANOVA)은 $p < 0.05$ 의 유의수준에서 실행되었으며, 평균은 던컨의 다중범위검정을 사용하여 차이를 확인하였다.

결과 및 고찰

조생종 ‘한아름’ 배의 숙기촉진에 미치는 영향을 구명하기 위하여 GA₄₊₇을 농도별로 처리한 후 반응성을 검정한 결과는 다음과 같다. ‘한아름’ 배에 있어 GA₄₊₇을 도포처리한 과실들은 무처리구에 비해 최대 7일간 일찍 수확하는 등 분산수확을 실시했음에도 불구하고 수확기 전분함량에 영향을 미친 것으로 조사되었다(Table 1). 즉, 수확시기가 8월 20

일로 가장 늦었던 무처리구는 0.77로 가장 높았고 8월 16일에 수확한 0.5 및 1.2%의 GA₄₊₇ 처리는 각각 0.60과 0.44, 8월 13일에 수확한 2.4%의 GA₄₊₇ 처리는 0.30으로 GA 농도 증가에 따른 전분소실이 명확하게 나타나는 등 숙기가 촉진되었다. 수확기에 조사한 과육경도는 처리 간에 차이가 없었으며, GA₄₊₇ 2.4% 처리구의 가용성고형물이 다소 낮게 조사되었는데 이는 수확기 에틸렌발생량 및 호흡률이 다른 처리구에 비해 유의하게 높아 당들이 호흡기질로 소모된 결과로 이해되었다. 수확기 에틸렌발생량은 2.4% GA₄₊₇ 처리 과실에서 1.15 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 유의하게 높아 무처리구 및 GA₄₊₇ 0.5-1.2% 처리구에 비해 2배 이상 높은 상태였고, 호흡률도 9.94 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 가장 높아 GA₄₊₇ 처리에 따라 성숙촉진 반응이 나타난 상태라고 평가되었다(Table 1).

상온유통 20일간의 감모율을 조사한 결과를 보면 다음과 같다. ‘한아름’에 있어 유통 중 감모율은 전체 처리구에서 유통기간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였고 GA 처리 농도가 증가할수록 감모율이 높은 경향을 보였다(Table 2). 즉, 유통 20일 후에 조사한 감모율은 무처리구 5.76%, 0.5% GA₄₊₇ 처리구 6.97%, 1.2% GA₄₊₇ 처리구 7.33%, 2.4% GA₄₊₇ 처리구 8.26%로 지베렐린 농도가 증가할수록 상온유통 중 감모율이 증가하는 경향을 보였다. 1-MCP 처리는 각 처리구에서 감모율이 다소 낮은 수준을 유지하였는데 GA 무처리구에 있어 유통 20일에 5.2%로 가장 낮게 조사되었다(Table 2).

1-MCP 처리가 GA₄₊₇ 처리 과실의 가용성고형물 함량에 미치는 영향을 조사한 결과, 지베렐린을 처리하지 않은 과실의 경우 20일간 상온유통 중 가용성고형물함량은 12.1-12.5°Brix로 조사되었고 동일 과실에 대한 1-MCP 처리구는 12.2-12.8°Brix로 다소 높은 수준을 유지하였다. GA₄₊₇ 처리구에 있어서는 1-MCP 처리로 인해 가용성고형물 함량이

Table 1. Effects of GA treatments on fruit quality indices in ‘Hanareum’ pears harvested at different date.

Treatment ^z (GA ₄₊₇ , %)	Fruit quality index									
	Firmness (N/φ 8 mm)	SSC (°Brix)	TA (%)	Starch (O.D. 640 nm)	C ₂ H ₄ ($\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	CO ₂ ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	L*	a*	b*	H°
0	37.8 a ^y	12.4 a	0.07 a	0.77 a	0.48 b	7.43 b	66.0 a	7.5 a	38.9 a	79.1 a
0.5	38.8 a	12.2 a	0.05 b	0.60 b	0.36 b	7.26 b	66.2 a	7.1 a	39.0 a	79.8 a
1.2	35.6 a	12.2 a	0.05 b	0.44 c	0.40 b	5.93 c	66.4 a	8.3 a	39.2 a	78.0 a
2.4	36.8 a	10.8 b	0.07 a	0.30 d	1.15 a	9.94 a	65.8 a	7.5 a	39.5 a	79.3 a

^zGA₄₊₇ was pasted on the stalk at 35 days after full bloom in 2013. Fruits were harvested at different date (Untreated, Aug. 19; 0.5 & 1.2% GA₄₊₇, Aug. 15; 2.4% GA₄₊₇, Aug. 12, 2013).

^yDifferent letters represent statistical significance within column by Duncan’s multiple range test at 5% level.

Table 2. Effects of postharvest 1-MCP ($1.0 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) treatment on weight loss, soluble solid contents (SSC), titratable acidity (TA) and skin color difference during 20 days of shelf-life in 'Hanareum' pears treated with various concentration of GA₄₊₇.

Shelf-life at 25°C (days)	Treatment ^z		Fruit quality parameter					
	GA ₄₊₇ (%)	1-MCP (-/+)	Weight loss (%)	SSC (°Brix)	TA (%)	L*	a*	H°
5	0	-	2.90 a ^y	12.1 bcd	0.06 b	66.15 bcd	10.84 a	74.86 d
		+	2.54 b	12.8 a	0.07 a	65.72 cd	9.55 bc	76.56 bc
	0.5	-	3.00 a	11.9 d	0.06 b	66.14 bcd	10.20 ab	75.59 cd
		+	2.85 a	11.8 d	0.06 b	65.26 d	8.76 cd	77.61 ab
	1.2	-	2.99 a	12.3 bc	0.05 c	66.68 bc	10.17 ab	75.69 cd
		+	2.95 a	12.3 bc	0.06 b	66.57 bc	9.33 bc	76.72 bc
2.4	-	3.05 a	11.9 cd	0.06 b	67.12 b	9.41 bc	76.88 b	
	+	3.01 a	12.5 ab	0.07 a	68.55 a	8.01 d	78.65 a	
10	0	-	3.94 c	12.5 a	0.05 b	65.69 a	11.28 a	74.10 c
		+	3.51 d	12.5 a	0.06 a	65.61 a	10.06 cd	75.73 ab
	0.5	-	4.90 ab	12.3 b	0.05 b	65.95 a	10.48 bcd	75.18 b
		+	5.08 ab	12.2 b	0.06 a	65.55 a	9.98 cd	75.86 ab
	1.2	-	5.04 ab	11.9 c	0.05 b	65.31 a	11.15 ab	74.16 c
		+	4.84 ab	12.3 b	0.06 a	66.13 a	10.54 bc	75.25 b
2.4	-	5.19 a	11.9 c	0.06 a	65.90 a	10.13 cd	75.64 ab	
	+	4.70 b	12.2 b	0.06 a	66.42 a	9.75 d	76.43 a	
15	0	-	5.57 c	12.5 a	0.07 a	64.08 b	11.86 a	72.88 c
		+	4.52 d	12.5 ab	0.06 b	65.71 a	11.95 a	73.31 bc
	0.5	-	6.31 ab	12.2 ab	0.05 c	61.87 c	11.15 b	72.73 c
		+	5.93 bc	12.5 a	0.05 c	66.08 a	11.43 ab	74.18 b
	1.2	-	6.09 abc	12.0 b	0.05 c	62.97 bc	11.51 ab	72.91 c
		+	6.20 abc	12.0 b	0.05 c	65.58 a	11.92 a	73.30 bc
2.4	-	6.73 a	11.6 c	0.05 c	63.14 bc	10.43 c	74.02 b	
	+	6.11 abc	12.1 b	0.06 b	65.92 a	10.25 c	75.40 a	
20	0	-	5.76 c	12.3 b	0.05 b	57.88 c	11.71 ab	69.38 c
		+	5.20 c	12.2 bc	0.09 a	65.62 a	12.37 a	72.81 ab
	0.5	-	6.97 b	11.6 d	0.04 b	53.72 de	11.08 bc	67.41 de
		+	6.87 b	12.3 b	0.06 b	64.99 ab	11.48 bc	73.36 a
	1.2	-	7.33 ab	11.8 cd	0.04 b	52.44 e	11.12 bc	66.17 e
		+	7.16 b	12.9 a	0.06 b	62.84 b	12.35 a	71.61 b
2.4	-	8.26 a	11.8 cd	0.05 b	55.74 cd	10.94 c	68.99 cd	
	+	7.34 ab	12.3 b	0.06 b	64.70 ab	11.36 bc	73.41 a	
ANOVA								
Shelf-life (A)			***	NS	***	***	***	***
GA ₄₊₇ (B)			***	***	***	***	***	***
1-MCP (C)			***	***	***	***	**	***
A × B			***	***	*	***	NS	***
A × C			NS	*	***	***	***	***
B × C			*	*	NS	*	NS	NS
A × B × C			NS	***	NS	NS	NS	NS

^zGA₄₊₇ was pasted on the stalk at 35 days after full bloom in 2013.

^yDifferent letters represent statistical significance within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

NS,*,**,*** Indicate non-significant and significant difference at $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$, respectively.

유통기간 중 유의하게 높게 유지되었는데 유통기간이 증가될수록 그 차이가 크게 나타났다(Table 2). 산함량은 유통기간의 연장에 따른 함량 감소는 거의 나타나지 않았는데 1-MCP 처리구에서 다소 높게 유지되는 경향을 보여 종합적인 내적품질 평가는 상온유통 중 품질 유지에 긍정적인 결과를 보였다(Table 2).

유통기간 중 처리 간 과육의 경도 변화를 조사한 결과(Fig. 1), 지베렐린을 처리하지 않은 구에 있어서는 유통 10 일까지는 30.0N으로 경도를 높게 유지하고 있었으나 유통 15일에 19.7N으로 경도가 급격히 하락하여 상품성을 상실하였다. 반면 1-MCP 처리구는 상온유통 20일에도 32.65N으로 매우 높게 조사되어 지베렐린을 처리하지 않은 구에 대한 1-MCP 처리는 경도 유지 효과가 가장 우수하였다(Fig. 1). 지베렐린 처리구에 있어 경도는 GA₄₊₇ 농도가 증가할수록 유통기간 중 빠르게 경도가 낮아지는 경향을 보였는데 특히, GA₄₊₇ 1.2% 처리구의 경도하락 속도가 가장 빠르게 나타나 유통 15일에 15.4N으로 전체 처리구 중 가장 낮아 상품성을 조기에 상실하였다. 한편, 지베렐린 처리구에 대한 1-MCP 처리 효과는 GA₄₊₇ 농도가 증가할수록 떨어지는 경향을 보였는데 전반적으로 상온유통 15일까지는 1-MCP 처리에 의해 31.2N-35.1N의 경도 수준을 유지하여 상품성을 유지하는 것으로 나타났고 상온유통 20일에 이르러 경도가 갑자기 낮아지는 점을 볼 때 ‘한아름’ 배에 있어 GA₄₊₇ 처리과실에 대한 1-MCP 처리는 상온유통 중 상품성을 약 2주간 연장할 수 있을 것으로 판단되었다(Fig. 1).

상온유통 기간 중 과피의 색택을 조사한 결과, 밝기(L*)는 1-MCP 처리에 의해 지베렐린 처리 농도와 관계없이 유

통 20일간 거의 변하지 않아 밝은 과피색을 유지하고 있었다. 그러나 1-MCP를 처리하지 않은 경우에는 전체 처리구에서 유통 15일부터 L*이 저하하기 시작하여 유통 20일에 급격히 낮아져 60 이하로 외관이 어두워졌다. 또한 GA₄₊₇ 처리 농도가 증가할수록 L*의 하락 속도가 급격한 경향을 보였다(Table 2). 과피색차의 변화 중 가장 성숙에 따른 변화가 유의한 적색도(a*)는 동양배의 숙도를 가름하는 중요한 요인(Oh et al., 2010)으로 유통과정 중 연화과정이 진행되면서 녹색의 소실과 더불어 적색도가 증가하는 것으로 보고되었는데(Lee and Chun, 2011), 수확 당시의 과실의 a*은 GA₄₊₇ 1.2% 처리구가 8.3으로 적색도가 가장 높았다. 1-MCP 처리는 과피 적색도의 증가를 늦추는 효과를 보였는데 GA 처리 농도에 관계없이 상온유통 10일간 억제 효과를 보여 과피색이 지나치게 진해지는 것을 억제하는 긍정적 효과를 보였다. 그러나 유통 15일 이후에는 무처리구와 유사하거나 오히려 적색도의 증가 속도를 다소간 촉진한 결과를 보여 1-MCP 처리에 의한 과피색 발현 억제효과는 상온유통 10일 내로 한정되는 것으로 평가할 수 있었다. Hue angle은 처리와 관계없이 유통기간의 경과와 더불어 감소하는 경향을 보였고 1-MCP 처리는 다소간 감소를 억제하는 효과를 보였다. 상온유통 중 과피색 중 L*의 급격한 하락은 과피의 갈변이 진행되면서 고유의 과피색을 잃었기 때문인데 1-MCP 처리는 이와 같은 과피의 갈변을 효과적으로 억제하는 효과를 보여 과실의 외관적 상품성 유지에 매우 효과적인 것으로 평가되었다(Table 2).

지베렐린 처리 과실의 1-MCP 처리 후 상온유통 중 에틸렌 발생량과 호흡량 조사는 유통 15일간 실시하였는데 상온 20일에는 1-MCP를 처리하지 않은 구에서 과피갈변 증상이 심하게 발생하여 측정 결과를 배제하였다. 에틸렌 발생량을 조사한 결과(Fig. 2), 상온유통 전 에틸렌 발생량은 0.27μL·kg⁻¹·h⁻¹로 Oanh et al.(2012)이 보고한 ‘한아름’ 배의 적숙기 에틸렌 발생량과 유사한 결과를 보였다. GA₄₊₇ 처리구의 상온유통 전 에틸렌 발생량은 0.28-0.90μL·kg⁻¹·h⁻¹ 범위로 무처리구보다는 높은 수준에서 상온유통에 들어간 것으로 나타났다. 지베렐린을 처리하지 않은 과실의 경우 상온유통 중 에틸렌 발생량은 지속적으로 증가하여 유통 15일에 2.83μL·kg⁻¹·h⁻¹로 조사되었고 동일 과실에 대한 1-MCP 처리구의 경우는 유통 15일에 3.63μL·kg⁻¹·h⁻¹로 유사한 수준의 에틸렌 발생 특성을 보였다(Fig. 2). GA₄₊₇ 처리구의 경우, 0.2% 처리구는 지베렐린을 처리하지 않은 구와 유사한 경향으로 나타났고 0.5% 이상 농도로 처리한 과실에서는

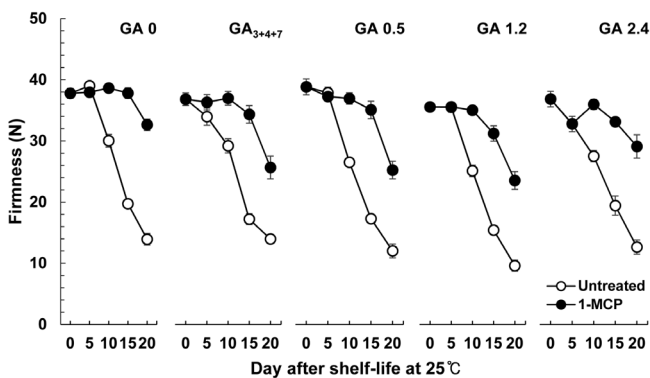


Fig. 1. Effects of postharvest 1-MCP (1.0 μL·L⁻¹) treatment on the changes of flesh firmness during 20 days of shelf-life in ‘Hanareum’ pears treated with various concentration of GA₄₊₇.

유통 10일에 최고치를 보였다가 감소하는 경향을 보였다. 한편 1-MCP 처리는 전체 처리구에서 전형적인 클라이맥터릭형 과실에서 나타나는 에틸렌 발생 수준을 경감하는 효과(Fan et al., 2002; Watkins et al., 2000)를 보이지는 못하였는데, 이는 본 연구에서 이용한 ‘한아름’ 배는 비클라이맥터릭형 과실로 1-MCP에 의한 에틸렌 작용 억제효과가 극히 제한적으로 나타난다는 것을 의미한다. 즉, 비클라이맥터릭형 과실인 파인애플에 대해 1-MCP를 처리한 경우, 유통 2주간 에틸렌 발생량이 무처리구에 비해 높은 수준을 유지하였다는 보고(Selvarajah et al., 2001) 및 동양배 ‘Akemizu’에 대한 1-MCP 처리는 유통 중 에틸렌 발생 피크가 나타나는 시기만 다를 뿐 생성량의 차이가 없었다는 보고(Li and Wang, 2009)와 유사한 것이었다. 이는 비클라이맥터릭 과실인 grapefruit에 1-MCP를 처리한 경우, 에틸렌의 binding site가 없어져 이후 정상적인 에틸렌 대사과정을 조절할 수 없으므로 결국에는 에틸렌 생성량이 증가한다는 보고(Mullins et al., 2000)를 감안하면 본 연구에서 1-MCP 처리구의 에틸렌 발생량이 무처리구에 비해 다소 증가했던 이유를 설명할 수 있다. 또한 Lee et al.(2012)이 ‘원황’과 ‘화산’ 배에서 1-MCP를 처리하였을 때 수확시기와 관계없이 상온유통 중 발생하는 에틸렌 수준 감소는 나타나지 않았다는 보고를 감안하면 동양배에 대한 1-MCP처리효과는 직접적으로 에틸렌 발생량을 제어하여 나타나는 현상이 아닌 것으로 판단된다.

상온유통 중 과실의 호흡률을 조사한 결과(Fig. 3), 1-MCP 처리는 지베렐린을 처리하지 않은 과실에 있어 호흡억제 효과가 가장 크게 나타났다. 즉 무처리구의 상온유통 전 호흡률은 $7.4\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이었는데 유통 5일 후 $9.8\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 였고, 유통 15일 후 $11.6\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 증가하였다. 1-MCP

처리구는 유통 5일 후 $5.4\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 $2.0\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 가 감소하였고 유통 10일 후 $4.8\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 최저치를 보이다가 유통 15일에 $8.1\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 상승하는 등 호흡억제 효과가 크게 나타났다. GA_{4+7} 처리구에 있어 1-MCP 무처리 과실의 호흡량은 상온유통 5일에 급증하는 등 지베렐린을 처리하지 않은 구와 유사한 경향을 보였는데 GA_{4+7} 0.5% 처리 과실의 호흡률이 가장 높게 나타나 $12.7\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 까지 상승하였다.

한편 1-MCP 처리는 유통 5일부터 호흡률을 급감시켰는데 그 정도는 GA_{4+7} 처리 농도에 반비례하는 것으로 나타나 가장 농도가 높았던 GA_{4+7} 2.4% 처리 과실에서는 1-MCP를 처리하더라도 호흡률이 저하되는 현상은 관찰되지 않았다. 또한 GA_{4+7} 처리 과실에 있어 1-MCP 처리에 의한 호흡률 저하 효과를 상온유통 10일 후에 비교한 결과 GA_{4+7} 0.5% 처리구에서 가장 크게 나타나 $5.5\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 까지 감소시킨 결과를 보였고 GA_{4+7} 처리 농도가 증가할수록 호흡률 감소 폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

기존의 연구 결과, 1-MCP 처리는 비클라이맥터릭형 호흡 패턴을 보이는 동양배에서 호흡률을 낮추는 효과가 보고되었는데(Moon et al., 2008), Tian et al.(2000)에 따르면 비클라이맥터릭 호흡형을 보이는 딸기에 대한 1-MCP 처리는 호흡률 변동에 영향을 미치지 않으나 외부적으로 에틸렌을 처리하는 경우에는 조기에 수확한 과실에서만 에틸렌 리셉터와 관련되어 호흡률의 증가가 나타난다고 보고하는 등 과종 및 과실성숙도에 따라 반응이 달라진다. 본 연구에서도 1-MCP 처리는 ‘한아름’ 배의 호흡률을 5-10일간 낮추는 효과를 보였고, 과실의 성숙을 촉진시키는 효과를 가진 GA_{4+7} 처리 농도가 증가할수록 그 효과가 낮아진 점을 감안하면

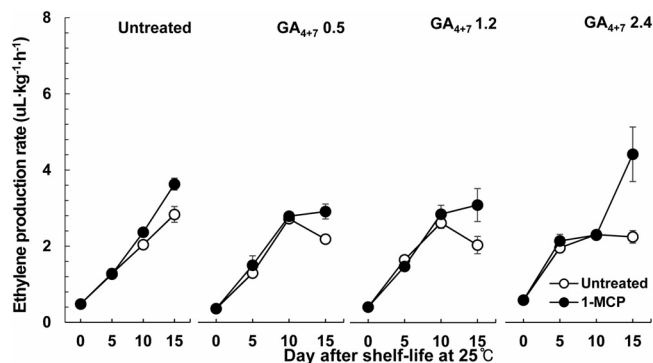


Fig. 2. Effect of postharvest 1-MCP ($1.0\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) treatment on ethylene production during 15 days of shelf-life in ‘Hanareum’ pears treated with various concentration of GA_{4+7} .

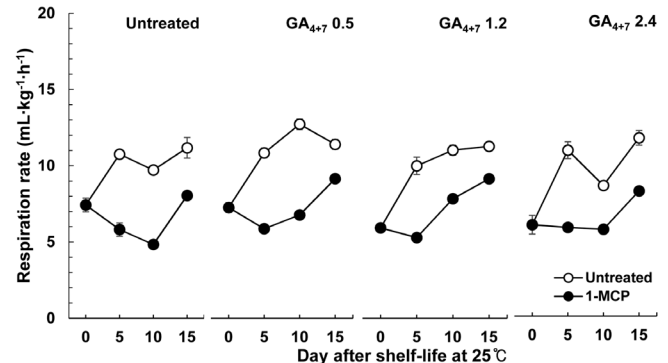


Fig. 3. Effect of postharvest 1-MCP ($1.0\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) treatment on respiration rates during 15 days of shelf-life in ‘Hanareum’ pears treated with various concentration of GA_{4+7} .

Table 3. Effects of postharvest 1-MCP ($1.0 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) treatment on the severity of physiological disorders during 20 days of shelf-life in 'Hanareum' pears treated with various concentration of GA_{4+7} .

Shelf-life at 25°C (days)	Treatment ^z		Severity of physiological disorder			
	GA_{4+7} (%)	1-MCP (-/+)	Core browning (Index, 0-5)	Mealiness (Index, 0-5)	Skin browning (Index, 0-5)	
5	0	-	0.0	0.0	0.0	
		+	0.0	0.0	0.0	
	0.5	-	0.0	0.0	0.0	
		+	0.0	0.0	0.0	
	1.2	-	0.0	0.0	0.0	
		+	0.0	0.0	0.0	
	2.4	-	0.0	0.0	0.0	
		+	0.0	0.0	0.0	
	10	0	-	0.0	0.1 ab	0.0
			+	0.0	0.0 b	0.0
0.5		-	0.0	0.1 ab	0.0	
		+	0.0	0.0 b	0.0	
1.2		-	0.0	0.3 a	0.0	
		+	0.0	0.0 b	0.0	
2.4		-	0.0	0.2 ab	0.0	
		+	0.0	0.0 b	0.0	
15		0	-	0.2 a ^y	2.1 bc	1.6 b
			+	0.0 a	0.0 d	0.0 c
	0.5	-	0.4 a	2.6 ab	2.4 a	
		+	0.0 a	0.2 d	0.2 c	
	1.2	-	0.3 a	2.8 a	2.5 a	
		+	0.0 a	0.1 d	0.0 c	
	2.4	-	0.0 a	1.4 c	0.0 c	
		+	0.0 a	0.0 d	0.0 c	
	20	0	-	0.9 abc	4.0 a	4.3 b
			+	0.0 d	0.0 c	0.0 d
0.5		-	1.3 ab	4.1 a	4.9 a	
		+	0.2 cd	0.4 bc	0.0 d	
1.2		-	0.9 abc	4.5 a	5.0 a	
		+	0.3 cd	1.1 b	0.0 d	
2.4		-	1.7 a	4.7 a	4.1 b	
		+	0.8 bcd	0.8 bc	1.1 c	
ANOVA						
Shelf-life (A)			***	***	***	
GA_{4+7} (B)			NS	**	***	
1-MCP (C)			***	***	***	
A × B			**	***	***	
A × C			***	***	***	
B × C			NS	NS	***	
A × B × C			NS	NS	***	

^z GA_{4+7} was pasted on the stalk at 35 days after full bloom in 2013.

^yDifferent letters represent statistical significance within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

NS, **, *** Indicate non-significant and significant difference at $p < 0.01$, $p < 0.001$, respectively.

GA₄₊₇ 처리에 의한 과실의 연화 진행이 빨라지는 경우에는 호흡을 억제하는 효과가 상쇄된다는 것을 의미하므로 과실의 속도에 따른 1-MCP 처리반응이 달라진다는 것을 유추할 수 있었다.

한편 실험에서 공시한 ‘한아름’의 에틸렌 발생량 및 호흡률은 ‘원황’ 및 ‘화산’(Lee et al., 2012)과 ‘황금배’(Moon et al., 2008) 등 주요 국내 육성 조·중생종 배에 비해 수배 높은 것이었으며 1-MCP 처리에 의한 호흡억제 정도도 가장 크게 나타났다. 이러한 원인으로는 ‘한아름’ 배의 숙기가 8월 18일로 ‘원황’의 9월 1일보다도 수확시기가 약 2주가 빠르고 상온저장력이 10일로 약한 조생종 품종으로서의 유전적 특성(Hwang et al., 2005)에 기인하는 것으로 생각되었다. 결론적으로 본 연구를 통하여 호흡률 및 에틸렌 발생이 상대적으로 높은 배 품종에 대한 1-MCP 처리는 상온유통기간 중 생리작용 억제에 효과적인 것으로 나타났는데 ‘한아름’ 배에 대한 1-MCP 처리 효과는 에틸렌의 작용을 직접적으로 저해하여 나타나기 보다는 과실의 호흡억제를 통한 과실품질요인의 저하를 지연하는 간접적인 효과에 기인하는 것으로 확인할 수 있었다.

과실내부에 발생하는 생리장해를 조사한 결과(Table 3), ‘한아름’ 배에서는 상온유통 중 과심갈변과 분질장애 두 종류의 내부생리장해가 발생하였다. 과심갈변의 경우, 상온유통 15일이 지나면서 발생되기 시작하였는데 GA₄₊₇ 처리 농도가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 1-MCP 처리는 지베렐린을 처리하지 않은 구에서 유통 20일간 과심갈변을 완전히 방지하였고, 지베렐린 처리과실에 있어서는 GA₄₊₇ 처리 농도가 증가할수록 1-MCP 처리에 의한 과심갈변 억제 정도가 떨어지는 결과를 보였다(Table 3). 과육의 분질현상은 상온유통 10일부터 발생되었는데 1-MCP 처리는 지베렐린을 처리하지 않은 구에서 유통 20일간 과육분질을 효과적으로 방지하였고, GA₄₊₇ 처리 과실에 있어서는 과육분질을 유의하게 억제하는 결과를 보였으나 처리농도에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다(Table 3).

한편, ‘한아름’ 배에 있어 상온유통 중 과피가 갈변하는 새로운 장애가 목격되었는데, 1-MCP를 처리하지 않은 과실에서 상온유통 10일 이후에 발생하기 시작하여 유통 20일간 극심하게 발생하였고 1-MCP 처리 과실에 있어서는 GA₄₊₇ 처리 농도에 따른 다소의 편차는 있었지만 전반적으로 현저히 발생 정도가 낮았다(Table 4). 이 장애는 동양배에서 나타나는 생리장애인 과피흑변이나 과피얼룩 장애와는 그 증상이 전혀 다른 것으로 사과 및 서양배에서 보고된 superficial

scald와 증상이 유사하였다(Lurie and Watkins, 2012; Whitaker et al., 2009). 또한 본 장애는 Li and Wang(2009)이 동양배 ‘Akemizu’에서 보고한 과피갈변 증상과 유사하였는데 극조생종인 ‘Akemizu’는 상온저장력이 매우 짧고 연화와 과피장애가 발생하는 등 본 연구에서 공시한 ‘한아름’과 유사한 생리적 특성을 갖는 것으로 생각되는 품종이다. ‘Akemizu’에 있어서도 상온유통 14일에 scald가 64.8% 발생하였고 1-MCP를 처리한 결과 발생률을 3.7%로 경감하였다는 보고를 감안하고 저온저장 시 및 저온저장과 1-MCP 병행처리 시 scald 발생이 현저히 감소된 것을 보면 본 장애는 ‘한아름’에서 저온저장 중 발생하는 과피흑변과는 관계없는 것으로 보여지는 신종 장애라고 판단되었으므로 추후 보다 세밀한 연구가 요구되었다. 즉, 포장박스 내부가 밀폐된 상태로 1-MCP를 처리하지 않은 과실의 호흡률이 2배 정도 높았던 결과(Fig. 3), 박스 내 CO₂ 농도가 2-5% 정도 축적될 것으로 예상되므로 본 실험에서 나타난 ‘한아름’의 과피갈변 장애는 external CO₂ injury(Watkins et al., 1997)로 의심할 수 있으므로 추후 면밀한 검토가 요망되었다.

이상의 결과를 종합하면, 조생종 ‘한아름’ 배에 대한 1μL·L⁻¹의 1-MCP 처리는 상온유통 기간 동안 과실품질 유지와 생리장애 억제에 효과적이며 GA₄₊₇ 처리 농도가 높아질수록 그 효과가 감소하는 것으로 판단되었다.

초 록

본 연구에서는 지베렐린(GA₄₊₇)을 0, 0.5, 1.2, 2.4% 농도로 조생종 ‘한아름’ 배에 처리하고 수확 후 에틸렌 작용 억제제인 1-methylcyclopropene(1-MCP)를 1μL·L⁻¹ 농도로 처리한 후, 20일간의 상온유통기간 중 과실품질 및 생리장애 발생에 미치는 영향을 조사하였다. 상온유통 기간 중 감모율의 변화는 GA₄₊₇ 농도와 관계없이 증가하는 경향을 보였으며, 1-MCP 처리의 경우 상온유통 기간이 증가함에 따라 감모율이 약간 감소하는 것으로 나타났고 GA₄₊₇ 농도가 증가함에 따라 1-MCP 처리 효과는 떨어졌다. 상온유통 10일에 1-MCP를 처리하지 않은 모든 과실에서 경도가 급격하게 감소하였던 반면 1-MCP를 처리한 과실의 경우 상온유통 15일까지 30N 이상의 높은 경도를 나타내었다. 그러나 GA₄₊₇ 처리 농도가 증가할수록 1-MCP 처리 효과는 떨어지는 것으로 조사되었다. 1-MCP를 처리한 과실의 경우 상온유통 기간 동안 가용성고형물과 산함량이 높게 나타났으며, 과피색의 경우 L*(밝기) 및 hue angles은 높게 조사되었지만 a*(적

색도)의 경우 1-MCP 무처리에 비해 낮게 나타났다. 상온유통 중 에틸렌 발생량은 GA₄₊₇ 처리 농도에 영향을 받지 않았고 1-MCP 처리는 에틸렌 발생량을 낮추지 못하는 것으로 조사되었다. 반면 1-MCP 처리 과실의 호흡률은 상온유통 20일간 유의하게 낮게 조사되었는데 1-MCP 처리 효과는 지베렐린을 처리하지 않은 구에서 가장 크게 나타났고 GA₄₊₇의 농도가 증가함에 따라 호흡률 감소 효과도 떨어졌다. 한편 1-MCP 처리는 상온유통 중 발생하는 과심갈변이나 분질과 같은 생리장해 발생 경감효과를 보여, GA₄₊₇ 농도와 상관없이 상온유통 15, 20일 동안 과심갈변과 분질과의 발생을 억제하였다.

추가 주요어 : 에틸렌, 경도, 생리장해, 호흡

인용문헌

- Bukovac, M.J. 1963. Induction of parthenocarpic growth of apple fruits with gibberellin A₃ and A₄. Bot. Gaz. 124:191-195.
- Choi, S.T. and R.N. Bae. 2007. Extending the postharvest quality of tomato fruit by 1-methylcyclopropene application. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25:6-11.
- Fan, X., L. Argenta, and J.P. Mattheis. 2002. Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality. HortScience 37:134-138.
- Hwang, H.S., I.S. Shin, W.C. Cheon, Y.U. Shin, J.H. Hwang, and S.S. Hong. 2005. Breeding of a good quality, large size, and early summer season pear cultivar 'Hanareum' (*Pyrus pyrifolia* Nakai). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:60-63.
- Inomata, Y., S. Murase, S. Oikawa, T. Shinokawa, and K. Suzuki. 1992. Effect of gibberellin treatment on flowers of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) after late frost damage. Bull. Fruit Tree Res. Stn. 23:123-136.
- Jeong, S.T., J.G. Kim, S.S. Hong, H.S. Jang, and Y.B. Kim. 1998. Influence of maturity and storage temperature on the respiration rate and ethylene production in 'Kosui', 'Chojuro' and 'Niitaka' pears. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:446-448.
- Kader, A.A., D. Zagory, E.L. Kerbel, and C.Y. Wang. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Critic. Rev. Food Sci. Nutri. 28:1-30.
- Kitamura, T., T. Iwata, T. Fukusima, Y. Furukawa, and T. Ishiguro. 1981. Studies of the maturation-physiology and storage of fruits and vegetables. II. Respiration and ethylene production in reference to species and cultivars of pear fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 49:608-616.
- Lee, U.Y. and J.P. Chun. 2011. Evaluation of quality indices during fruit development and ripening in 'Wonhwang' and 'Whasan' pears. CNU J. Agri. Sci. 38:405-411.
- Lee, U.Y., K.Y. Oh, J.H. Choi, Y.S. Hwang, J.M. Choi, and J.P. Chun. 2011. Evaluation of fruit quality during shelf-life at high temperature environment in 'Wonhwang' and 'Whasan' pears. J. Bio-Environ. Cont. 20:233-240.
- Lee, U.Y., K.Y. Oh, S.J. Moon, Y.S. Hwang, and J.P. Chun. 2012. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruit quality and occurrence of physiological disorders of Asia pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai), 'Wonhwang' and 'Whasan' during shelf-life. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30:534-542.
- Li, Z.Q. and L.J. Wang. 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening and superficial scald of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Akemizu) fruit at two temperatures. Food Sci. Technol. Res. 15:483-490.
- Lurie, S. and C.B. Watkins. 2012. Superficial scald, its etiology and control. Postharvest Biol. Technol. 65:44-60.
- Moon, S.J., S.H. Lee, J.H. Han, Y.S. Hwang, and J.P. Chun. 2008. Effects of 1-MCP and storage condition on fruit quality of 'Whangkeumbae' pear during storage and simulated marketing. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26:380-386.
- Mullins, E.D., T.G. McCollum, and R.E. McDonald. 2000. Consequences on ethylene metabolism of inactivating the ethylene receptor sites in diseased non-climacteric fruit. Postharvest Biol. Technol. 19:155-164.
- Nakagawa, S., I. Kiyokawa, H. Matsui, and H. Kurooka. 1973. Fruit development of peach and Japanese pear as affected by destruction of the embryo and application of gibberellins. J. Japan. Soc. Hortic. Sci. 37:104-112.
- Oanh, V.T.K., U.Y. Lee, J.H. Choi, H.C. Lee, and J.P. Chun. 2012. Changes of fruit characteristics and cell wall component during maturation and ripening in Asian pear 'Hanareum', 'Manpungbae' and 'Niitaka' (*Pyrus pyrifolia* Nakai). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30:345-356.
- Oh, K.Y., U.Y. Lee, S.J. Moon, Y.O. Kim, H.S. Yook, Y.S. Hwang, and J.P. Chun. 2010. Transportation and distribution temperatures affect fruit quality and physiological disorders in 'Wonhwang' pears. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:434-441.
- Park, Y.S. 1999. Effects of storage temperatures and CA conditions on firmness, fruit composition, oxygen consumption and ethylene production of Asian pears during storage. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:559-562.
- Selvarajah, S., A.D. Bauchot, and P. John. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. Postharvest Biol. Technol. 23:167-170.

- Tamura, F., J.P. Chun, K. Tanabe, M. Morimoto, and A. Itai. 2003. Effect of summer-pruning and gibberellin on the watercore development in Japanese pear 'Akibae' fruit. *J. Japan. Soc. Hortic. Sci.* 72:372-377.
- Tian, M.S., S. Prakash, H.J. Elgar, H. Young, D.M. Burmeister, and G.S. Ross. 2000. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *J. Plant Growth Regul.* 32:83-90.
- Watkins, C.B., J.F. Nock, and B.D. Whitaker. 2000. 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.
- Watkins, C.B., K.J. Silsby, and M.C. Goffinet. 1997. Controlled atmosphere and antioxidant effects on external CO₂ injury of 'Empire' apples. *HortScience* 32:1242-1246.
- Whitaker, B.D., M. Villalobos, E.J. Mitcham, and J.P. Mattheis. 2009. Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in 'Bartlett' pears grown in California and Washington. *Postharvest Biol. Technol.* 53:43-50.
- Yamada, H., K. Nakajima, Y. Yamazawa, and I. Kuroi. 1991. Effect of pollination and gibberellin treatment on fruit set and development of the European pear (*Pyrus communis* L. var. *sativa* DC.) cv. Le Lectier. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 60: 267-273.
- Yang, Y.J. 1997. Effect of controlled atmospheres on storage life in 'Niitaka' pear fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:734-738.
- Yuda, E., H. Matsui, S. Nakagawa, M. Yukimoto, and K. Wada. 1984. Effect of 15- β -OH gibberellins on the fruit set and development of three pear species. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 53:235-241.
- Zhang, C., K. Tanabe, F. Tamura, A. Itai, and M. Yoshida. 2007a. Role of gibberellins in increasing sink demand in Japanese pear fruit during rapid fruit growth. *Plant Growth Regul.* 52:161-172.
- Zhang, C., K. Tanabe, F. Tamura, K. Matsumoto, and A. Yoshida. 2005. ¹³C-photosynthate accumulation in Japanese pear fruit during the period of rapid fruit growth is limited by the sink strength of fruit rather than by the transport capacity of the pedicel. *J. Exp. Bot.* 56:2713-2719.
- Zhang, C., K. Tanabe, H. Tani, H. Nakajima, M. Mori, and E. Sakuno. 2007b. Biologically active gibberellins and ABA in fruit of two late-maturing Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) cultivars with contrasting fruit size. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 132:452-458.