

Suppression of Chilling Injury and Maintenance of Quality Characteristics in *Prunus Mume* Fruits Stored under Controlled Atmosphere

Sunyoung Choi¹, Mi Ae Cho^{1†}, Yoon Pyo Hong¹, In Kyeong Hwang², Dae Sung Chung¹
and Seok Kyu Yun¹

¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 440-706, Korea

²Department of Food & Nutrition, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

CA 저장에 의한 청매실의 저온장해 발생 억제 및 품질 특성 유지 효과

최선영¹ · 조미애^{1†} · 홍윤표¹ · 황인경² · 정대성¹ · 윤석규¹

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원, ²서울대학교 식품영양학과

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of CA(4% O₂ and 7.5% CO₂) storage on the quality characteristics and chilling injury in 'Nanko' *prunus mume* fruits at 1, 5, and 9°C. CA storage reduced production of CO₂ and C₂H₄ significantly. Hue values of fruit skin were significantly higher in fruits stored at 1°C and 5°C than 9°C. Weight loss was much lower in fruits stored under CA storage. Soluble solids content (SSC) titratable acids (TA), and firmness were maintained and electrolyte leakage was lower in fruits stored under CA storage. Ratios of chilling injury and decay were increased faster at 5°C and 9°C than 1°C. The chilling injury was suppressed in fruits of CA storage compared with control fruits during cold storage. These results indicate that CA storage at 1°C of *prunus mume* fruits extended the storage life up to 30 days without quality deterioration, effectively.

Key words : *Prunus mume*, controlled atmosphere, chilling injury, physicochemical property

서 론

매실(*Prunus mume* Sieb. et Zucc.)은 장미과에 속하는 식물로 원산지는 중국의 동남부 지방이며 한국, 중국 및 일본의 온난한 지역에 분포하는 동양 고유종이다. 식음료의 재료로 사용되고 있으며, 다양한 증상의 치료제로도 사용되어 왔다. 특히, 한방에서 매실은 당뇨병 치료제 또는 구충, 해독제로 사용되고 있으며, 민간에서는 고혈압, 설사, 정혈 작용 등에 효과가 있다고 알려져 있다. 매실은 미숙 단계에서 수확하는 climacteric형 과실로서 수확 후 후숙이 빠르기 때문에 포장을 하지 않은 채 상온에 두면 3~4일 정도만 지나도 황화 및 연화되어 상품의 가치를 잃게 되며, 저장 온도를 낮추면 과피색과 경도를 유지할 수 있다고 알려져 있다(1). Miyazaki(2)에 의하면 수확후 저밀도 폴리에틸렌(PE 0.02, 0.03 mm) 필름으로 포장하여 포장 내의 산소

농도를 4~5% 이하로 하면 선도 유지 기간이 2일 이상 연장되었으나 산소 농도가 0.5% 이하인 경우 과실에 대사 이상을 일으키며 이에 수반한 장해를 발생시켜 부적당하다고 하였다.

청매실은 1°C의 저온보다 오히려 5~8°C의 온도에서 저온 장해가 발생하기 쉽다고 알려져 있다(3). 청매실의 저장 중 선도유지를 위한 연구로는 CA 저장(4), 폴리에틸렌 필름을 이용한 MA 포장(5), 에틸렌 제거제를 첨가한 포장(6) 등이 보고되었다.

매실 CA 저장에 관한 연구는 네 품종을 25°C에 저장하면서 적정 산소와 이산화탄소의 조건과 처리에 따른 호흡 생리가 구명되어 있고(4,7), CA 저장시 10°C와 25°C의 저장 온도에서 에틸렌 흡착제를 혼합 처리한 효과가 보고되었다(1). CA 실험을 통하여 매실의 숙도, 품종, 재배 조건에 따라 산소와 이산화탄소 적정 농도는 차이가 있었다(4). 일반적으로 저산소 장해나 고이산화탄소 장해가 발생할 경우에는 병해가 오히려 증가할 가능성이 크지만, 적정 CA 조건에서는 부패균의 생장이 유의적으로 억제된다고 알려

[†]Corresponding author. E-mail : choma818@korea.kr
Phone : 82-31-240-3689, Fax : 82-31-240-3709

저 있다.

현재까지의 매실 CA 저장에 관한 연구는 품종별, 상온과 저온 등 연구현장별로 필요한 저장 온도에서 단편적으로 적정 CA 조건을 구명하는 연구에 초점이 맞추어져 있으며, 저온장해 발생 온도와 CA 저장과의 관계에 대해서는 체계적으로 보고된 바가 없다.

따라서, 본 연구에서는 ‘남고’(Nanko) 매실을 10°C 이하의 온도에 저장함과 동시에 CA 처리를 적용하여, 온도별 저온장해와 발생 양상을 파악하여 매실의 저온장해 발생 온도를 구명함과 동시에 CA 저장이 저온장해와 발생을 억제할 수 있는지를 파악하고자 하였다. 더불어 저온 및 CA 저장 시 저장 기간 중 품질 특성 변화를 조사하여 저장기간을 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료

본 실험에 쓰인 공시재료는 2010년 6월 중순경 전라남도 광양의 황토산 매실농장에서 수확된 매실 ‘남고’(Prunus mume Sieb et Zucc cv ‘Nanko’) 품종을 이용하였다. 수확 후 상하거나 흠집이 없는 균일한 크기로 선별하여 사용하였다.

CA(controlled atmosphere) 저장 조건

밀폐된 스테인리스 CA 저장장치(규격 55×113×100 cm의 CA용 Chamber)를 사용하였으며, Koyakumar(1)가 제안한 매실 저장시 최적 CA 혼합 기체 조성인 CO₂ 7.5%+O₂ 4%의 비율을 적용하였고, 저장온도는 1, 5, 9±1°C로 하였다. 각 시험 온도마다 대기 중에 노출 시켜서 저장한 매실 시료를 대조구로 두어 비교하였다. 가스 유입 및 농도 조절은 gas mixer (MAP Mix 9000, PBI Dansensor, Denmark)를 이용하여 조절하였다.

이산화탄소 및 에틸렌 발생량

이산화탄소 및 에틸렌 발생량은 1L의 밀폐용기에 과실을 넣고 밀폐하여 2시간 경과후 용기 내부에 축적된 공기를 1 mL 주사기로 채취하여 GC (Varian-450, Varian Inc, USA) 6890, Hewlett Packard, USA)로 분석하였다. 이산화탄소 분석은 활성 탄소(60/80 mesh)로 충전된 칼럼과 TCD 검출기로, 에틸렌 분석은 활성 알루미늄(60/80 mesh)로 충전된 칼럼과 FID 검출기가 연결된 GC를 이용하여 주입 온도는 110°C, 초기 오븐 온도는 70°C, 최종 오븐 온도는 50°C로, 이산화탄소 분석을 위한 TCD 검출기 온도는 150°C, 에틸렌 분석을 위한 FID는 200°C로 설정하여 측정하였다. 이때 유량은 이산화탄소 분석은 40mL/min, 에틸렌 분석은 30mL/min으로 하였다.

품질 특성

CA 저장 매실 표면의 세포 조직학적 변화는 매실 시료 자체의 표면을 주사전자현미경(Scanning electron microscope: SEM, Hitachi 2460, Japan)의 natural SEM mode로 촬영하여 분석하였다. 과피색은 표준백판(L* 97.75, a* -0.43, b* 0.29)으로 보정된 색차계(model CR-300, Minolta Co, Japan)를 이용하여 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness) 값을 측정하였고, 측정된 a와 b값을 환산하여 Hue angle (°) 값을 구하였다. 환산시 Hue angle (°)=180+Arctan (b/a) 식을 사용하였다. 매실에서 Hue angle 값이 높을수록 녹색을 많이 띠며, 값이 낮아질수록 황변정도가 많은 것을 나타낸다. 경도는 한 과실당 적도부 한 곳을 물성 분석기(TA Plus, Lloyd Instruments™, Ametek Inc, England)를 이용하여 직경 5 mm의 probe로 측정하여 Newton (N) 값으로 나타내었다. 당도는 과육을 착즙한 후 굴절당도계 (Atago Co, Japan)로 측정하여 °Brix 농도로 나타내었다. 적정산도는 5배 희석한 과즙을 0.1 N NaOH로 적정하여 체리의 주요 유기산인 구연산 함량으로 표시하였다. 저온장해 발생과에 관한 CA 효과를 알아보기 위해 과피갈변, surface fitting 발생 여부를 전체 처리 과일 수에 대한 저온장해과 발생 과일 수를 조사하여 %로 표시하였다(3,8,9). 또한, 부패 억제 효과를 알아보기 위해서 저장중 매실 전체에 대하여 부패한 매실수를 백분율로 환산하여 표시하였다.

전해질 유출

과피를 cork borer를 사용하여 두께 2 mm, 직경 6 mm의 조직 절편 1g을 채취후 3차 증류수로 3회 세척한 다음 50 mL 0.4 M mannitol 용액에 침지후 3회에 걸쳐 전기 전도계 (Orion 4 Star, Thermo Electron Co, USA)를 이용하여 전기전도도를 측정하였다. 1차 전기전도도는 절편을 mannitol 용액에 침지한 직후, 2차는 25°C 항온 수조기에서 3시간 동안 100 rpm 속도로 교반 후, 3차 측정은 고압증기멸균기(121°C, 30분)를 이용하여 과피 내의 전해물질 전부를 용출시킨 후 냉각한 다음 측정하여 총 전해질 유출량을 구하였다. 과피 조직의 전해질 유출은 총 전해질 유출에 대한 백분율로 나타내었다(10).

결과 및 고찰

호흡량 및 에틸렌 발생량

저장온도에 의한 호흡 양상은 모두 대조구가 온도와 상관없이 저장 5일 후에 급격히 증가하는 양상을 보였고, CA 저장구는 저장기간 동안 증가량이 매우 적은 양상을 보였다 (Fig. 1). 저장온도에 따른 에틸렌 생성량은 모두 9°C 대조구의 증가율이 가장 컸으며, 역시 저장 5일 경과 후 급격히 증가하였다.

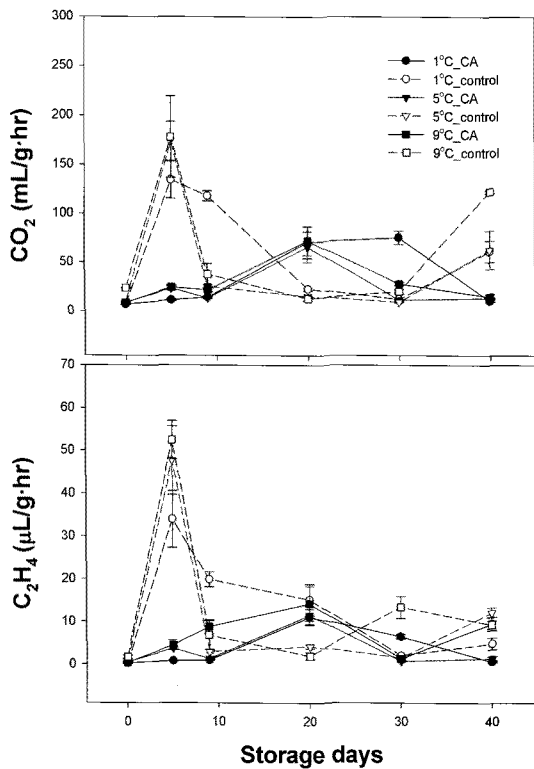


Fig. 1. Changes in CO₂ and C₂H₄ production of 'Nanko' prunus mume fruit under CA storage conditions. Bars indicate SE (n=5).

저장기간 동안 온도별 차이 보다 CA 저장구에서 중량감소가 많이 억제된 것은 호흡과 에틸렌 생성의 억제로 상대적으로 대사활동이 저하되었고, 동시에 밀폐된 환경 하에서 증산이 억제되었기 때문으로 사료된다. 저장 중 이산화탄소 처리는 과일내 에틸렌에 영향을 미치는 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) 효소의 활성억제로 에틸렌 발생량을 감소시키는데(11,12) 감소 정도는 이산화탄소 농도, 처리 시간 및 저장 온도에 영향을 받는다고 한다. CA 처리는 호흡을 억제와 함께 에틸렌 발생량을 저하시키는 것으로 나타났다. 이로 인해 '남고' 매실을 CA 저장할 경우 시들음이 억제되면서 경도가 유지되고, 당함량과 과피색의 변색이 억제되어 저장력이 향상되는 것으로 나타났다.

품질특성 변화

저장 30일 후 매실의 외관은 9°C 무처리구에서 완전히 황변이 일어났고 부패가 진행된 반면(Fig. 2), CA 저장구의 매실은 초기 고유의 녹색을 유지하였다. 매실의 과피색은 저장 온도의 증가에 따라 전반적으로 황변 발생이 증가하였다.

시험 재료로 사용된 '남고' 매실 CA 저장 중 색도 변화를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. CA 저장된 매실은 대조구에 비해서 Hue angle값 감소의 폭이 적은 것을 확인할 수 있었다. 즉, 매실 표피의 색은 초기의 녹색을 유지하는 것으로 나타났다. 또한, 9°C에서 저장된 매실은 급격하게 Hue angle 값이 감소되었으며, CA 저장된 매실보다 대조구의 감소폭이 더 크게 나타났고, 9°C 대조구의 매실은 저장 30일 경에 Hue angle 값이 급격히 낮아져서 상품성이 손실되는 것으로 나타났다. 반면, 1°C와 5°C에서 저장된 매실의 녹색은 저장 30일 동안 유지되는 것으로 나타났다.

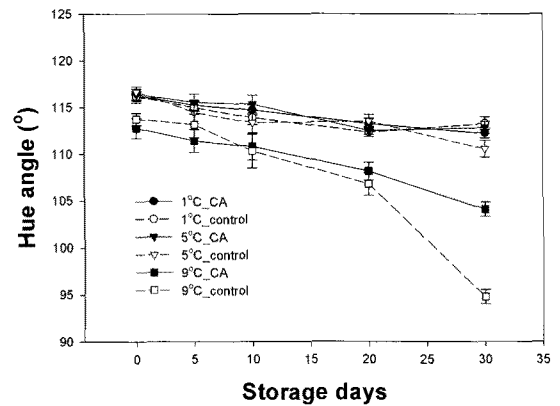


Fig. 3. Changes of Hue angle values in 'Nanko' prunus mume fruit under CA storage conditions. Bars indicate SE (n=5).

매실의 세포벽 구조의 변화를 주사전자현미경으로 저온장해 진행과정을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 30일간 저장된 매실의 세포벽 미세구조를 살펴보면, 특히 저온인 1°C에서 CA 저장된 매실의 경우(Fig. 4A), 세포벽이 middle lamella에 의해 완전하게 결합되어 있고 벽면과 벽면의 내부각이 뚜렷한 다면체의 모양을 나타낸다. 반면, Fig. 4B는

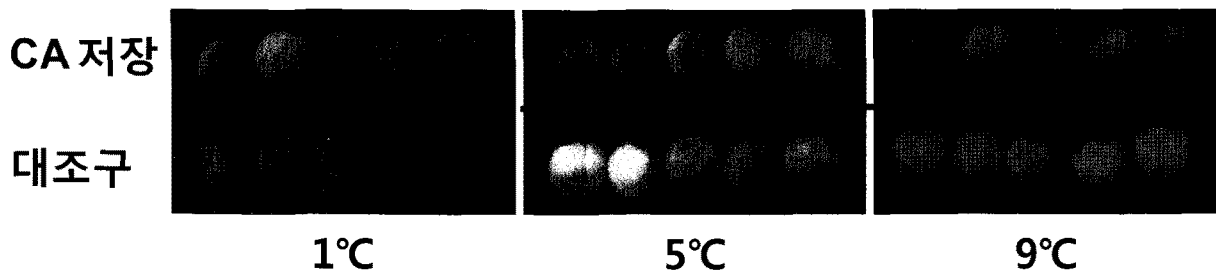


Fig. 2. Color changes of 'Nanko' prunus mume fruit surfaces after 30 days under CA storage. Bars indicate SE (n=5).

저온장해로 인하여 세포벽 붕괴가 진행되는 단계로서 세포벽과 세포벽을 연결하는 middle lamella의 분해가 시작되고 있다. 이것이 점차 진행되어 세포벽 세포 조직이 완전히 일그러진 형상을 보였다(Fig. 4C). CA 저장구의 경우 세포 조직이 뚜렷하고 저장 초기 청매실의 세포구조와 유사한 형상을 유지하고 있었으며, 매실 저장중 세포벽의 미세구조를 관측한 결과와 일치하였다(5). 주사전자현미경에 의하여 관찰된 외형적인 상태는 CA 1°C에서 저장된 시료가 저장 전의 상태를 가장 잘 유지하고 있었다.

저장 10일 후 경도는 9°C 대조구의 경우 30N 이하로 떨어지는 것으로 나타났으며, CA 저장구에서는 초기치와 유사하게 유지되었다(Fig. 6A). CA 저장은 매실의 당도와 적정 산도를 유지하는 뚜렷한 효과를 나타내었다(Fig. 6B, 6C). 이는 CA 저장을 통해 매실의 대사 작용을 억제함으로써 노화가 진행될 때 수반되는 품질저하를 지연시키며, 결과적으로 매실의 중량감소율, 색도, 경도, 당도, 산도를 유지시키는 것으로 생각되었다.

저장기간 중 매실의 저온장해과와 부패율을 조사한 결과



Fig. 4. Scanning electron microscopy (SEM) photographs of 'Nanko' prunus mume fruit surfaces.

A: CA storage at 1°C, B: control with developing chilling injury, C: control with severe chilling injury.

중량감소율은 저장 30일 동안 대조구의 경우 14.4~16.0% 내외의 감소율을 보였으나, CA 처리 시험구는 중량 감소율이 1.1~1.6% 내외로 급격하게 감소하였다(Fig. 5). 중량감소율은 온도별 차이는 크지 않았으나, CA 저장을 통해 중량감소를 유의적으로 줄일 수 있었으며, 사과와 CA 저장 실험(13)의 결과도 이와 유사하였다. CA 저장은 성숙을 지연시키며, 수분 감소에 의한 중량감소의 변화를 줄이는데, 이는 저장시 밀폐된 환경 하에서 기체 조성이 수분 손실을 억제하는 것으로 나타났다. 본 연구에서도 1.5% 내외의 중량감소가 나타나서 수분 손실이 감소되었고, 내부 장해가 억제되거나 지연되는 효과도 관찰되었다.

모든 CA 저장 매실에서 저온 장해과는 저장 30일까지 발생하지 않았다(Table 1). 반면 일반 저온저장시 30일 경과된 매실 대조구의 경우 5, 9°C에서 저온으로 인한 과피 변색과 surface pitting의 장해과가 각각 8.9%, 16.7% 발생하였다. 이는 매실은 10°C 이하의 온도에서 저온 장해를 입기 쉬우며, surface pitting과 과피갈변이 주요한 장해 증상으로 나타난다는 보고(3, 9, 14)와 일치하였고, 1°C보다는 오히려 5~6°C에서 저장시 장해를 더 입었다는 보고와도 유사하였다(8). 부패율 역시 5, 9°C 대조구는 저장 20일부터 부패가 진행되어 30일째 부패율이 21.8, 69.3%로 각각 증가하였다. 반면 5, 9°C CA 저장구는 저장 20일까지 부패가 진행되지

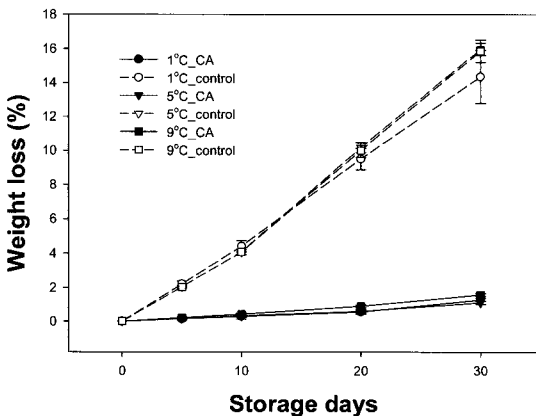


Fig. 5. Weight loss of 'Nanko' prunus mume fruit under CA storage conditions. Bars indicate SE (n=5).

Table 1. Ratios of chilling injury and decay in 'Nanko' prunus mume fruits during storage

Storage methods		(unit: %)							
		Chilling injury				Decay			
		Storage days		Storage days		Storage days		Storage days	
CA	1°C	0	0	0	0	0	0	0	0
	5°C	0	0	0	0	0	0	0	1.2
	9°C	0	0	0	0	0	0	0	1.8
Control	1°C	0	0	0	0	0	0	2.4	8.2
	5°C	0	0	0	8.9	0	0	5.6	21.8
	9°C	0	0	0	16.7	0	0	25.0	69.3

않았으며, 저장 30일 경에 각각 1.2, 1.8%로 조사되었고, 1°C에서 CA저장한 경우 저장 30일 동안 부패가 발생하지 않았다. 따라서 CA 저장이 매실의 저온장해와 발생을 억제시키며 부패과 발생도 지연시킴을 알 수 있었다.

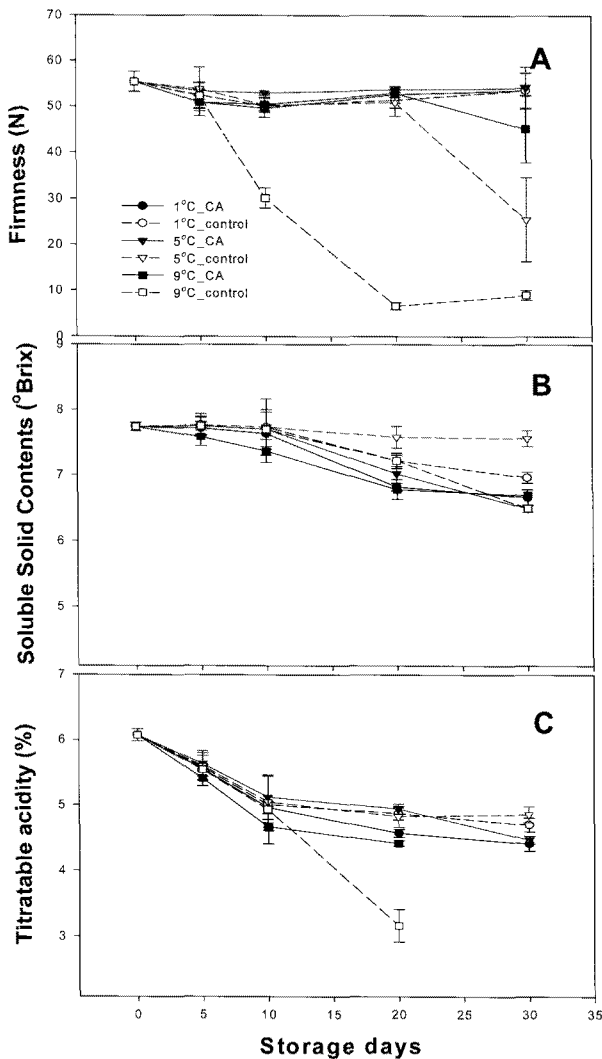


Fig. 6. Changes of firmness (A), soluble solid content (B) and titratable acidity (C) in 'Nanko' *prunus mume* fruit under CA storage conditions. Bars indicate SE (n=5).

전해질 유출

세포막의 노화 및 붕괴 정도를 나타내는 전해질 유출을 측정된 결과 저장 30일된 매실은 9°C 대조구에서 높은 전해질 유출 양상을 보였다(Fig. 7). 반면, CA 저장구의 매실은 전해질 유출을 대조구에 비해 효과적으로 억제하는 것으로 나타났다. 저장 온도에 따른 전해질 유출 정도는 이화학적 품질특성과 유사하게 1°C 저장구에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 매실의 저장이나 유통과정에서 산소의 농도가 지나치게 낮아지거나 이산화탄소의 농도가 높아지면 대사의 이상에 의해 조직 붕괴나 갈변 등 생리적 장애가 발생하는데 이러한 장애는 저장중 산소나 이산화탄소의 농도와

부적합한 농도에의 노출기간에 따라 피해 정도가 달라진다. 매실은 품종에 따라 최적 기체 조성에 다소의 차이가 있으므로 CA 저장을 시도하려 할 경우 품종이 저산소 장애나 고이산화탄소 장애에 민감한지 여부를 확인하는 것이 좋다.

이상의 결과를 토대로 매실 '남고'를 CA 저장으로 30일 동안 저장했을 때 과피의 황변 현상, 부패율 저하, 생리장해과 발생 억제 등을 고려할 때 1°C가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

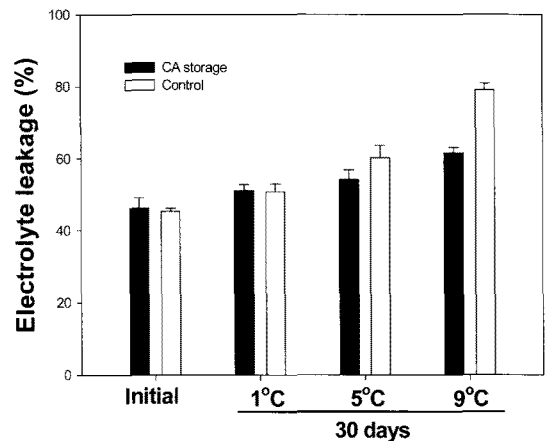


Fig. 7. Changes in electrolyte leakage from fruit skin tissue of 'Nanko' *prunus mume* fruit under CA storage conditions. Bars indicate SE (n=5).

요 약

실용적인 CA 처리 방법을 이용하여 매실 '남고'의 저장성 향상 및 저온장해과 발생 억제에 관한 기초 자료를 얻고자 본 연구를 수행하였다. 매실 '남고'를 1, 5, 9°C에 저장하면서 최적 CA 조성으로 4% O₂ + 7.5% CO₂의 농도를 선정하여 사용하였다. 매실의 상온 저장시에는 황변 현상과 조직의 연화가 빠르게 진행되어 수확 후 3~4일 이내에 상품성이 없어지는 문제점이 있다. 이산화탄소와 에틸렌 생성량은 CA 저장구에서 유의적으로 줄었다. 또한, Hue 값은 CA 저장으로 감소폭이 줄었으며, 특히 9°C 대조구에서 낮은 값을 나타내었고, 1, 5°C에서 저장 30일까지 녹색을 유지하였다. 중량감소율, 당도, 산도의 경우 대조구에 비해 CA 저장구에서 유의적으로 유지되었으며, 전해질 유출 정도도 CA 저장구에서 낮은 값을 나타내었다. CA 처리를 한 매실의 경우 모든 저장 온도구에서 저온 저장 30일까지 과피갈변, surface pitting 등 저온장해과가 발생하지 않았고, 부패율 역시 CA 저장구에서 유의적으로 낮게 나타났다. 저장 30일경에 5°C와 9°C 대조구에서 황변현상, 생리장해과, 부패과가 발생되었으나, CA 저장 시험구는 효과적으로 억제되었다. 따라서 매실 '남고'를 CA 저장 시 1°C가 가장 적합

한 것으로 선정되었고, 매실 저장 시 주요한 문제점인 황변 현상, 연화, 저온장해과, 부패율이 효과적으로 억제되었다.

참고문헌

1. Koyakumaru T (1997) Effects of temperature and ethylene removing agents on respiration of mature-green mume (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) fruit held under air and controlled atmospheres. J Japan Soc Hort Sci, 66, 409-418
2. Miyazaki T (1983) Effects of seal-packaging and ethylene removal in the sealed bags on the shelf life of mature-green Japanese apricot fruits. J Japan Soc Hort Sci, 52, 85-92
3. Iwata T, Ogata K (1976) Studies on storage and chilling injury of Japanese apricot fruits. I. General aspects of external and internal changes during storage. J Japan Soc Hort Sci, 44, 422-428
4. Koyakumaru R, Adachi K, Sakoda K, Sakoda N, Oda Y (1994) Physiology and quality changes of mature-green Mume fruits stored under several controlled atmosphere conditions at ambient temperature. J Japan Soc Hort Sci, 62, 877-887
5. Cha HS, Chung MS (2002) Changes in pectic substances of mature-green mume (*Prunus mume* Sieb. et Zucc) fruit as influenced by the thickness of packaging film during storage. J Korean Soc Food Sci Nutr, 31, 621-628
6. Zhang S, Chachin K, Ueda Y, Iwada T (1993) Firmness and pectic substances of mature-green mume fruits packaged with polyethylene bags and ethylene absorbent. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 40, 163-169
7. Koyakumaru Y, Sakoda K, Ono Y, Sakota N (1995) Respiratory physiology of mature-green mume (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) fruits in four cultivars held under various controlled atmospheres at ambient temperature. J Japan Soc Hort Sci, 64, 639-648
8. Goto M, Minamide T, Fujii M, Iwata T (1984) Preventive effect of cold shock on chilling injury of Mume (Japanese apricot, *Prunus mume* Sieb. et Zucc.) fruits in relation to changes of permeability and fatty acid composition of membrane. J Japan Soc Hort Sci, 53, 210-218
9. Imahori Y, Takemura M, Bai J (2008) Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume fruit during low temperature storage. Postharvest Biol Technol, 49, 54-60
10. Côté F, Thompson JE, Willemot C (1993) Limitation to the use of electrolyte leakage for the measurement of chilling injury in tomato fruit. Postharvest Biol Technol, 3, 103-110
11. Gorny JR, Kader AA (1996) Regulation of ethylene biosynthesis in climacteric apple fruit by elevated CO₂ and reduced O₂ atmospheres. Postharvest Biol Technol, 9, 311-323
12. Tian MS, Hewett EW, Lill RE (1994) Effects of carbon dioxide on ethylene forming enzyme in Japanese pear and apple. Postharvest Biol Technol, 4, 1-12
13. Akbudak B, Ozer MH, Erturk U, Cavusoglu S (2009) Response of 1-methylcyclopropene treated "Granny Smith" apple fruit to air and controlled atmosphere storage conditions. J Food Qual, 32, 18-33
14. Iwata T, Kinoshita M (1978) Studies on storage and chilling injury of Japanese apricot (Mume, *Prunus mume* Sieb. et Zucc.) fruits. II. Chilling injury in relation to storage temperature, cultivar, maturity, and polyethylene packaging. J Japan Soc Hort Sci, 47, 97-104

(접수 2010년 10월 25일 수정 2011년 2월 15일 채택 2011년 2월 25일)