

The Chilling Injury Development and Quality Characteristics of 'Ooishiwase' Plums (*Prunus salicina* L.) according to Ripening Stages and Cold Storage Temperature

MiAe Cho^{1†}, YoonPyo Hong¹, SunYoung Choi¹, DaeSung Jung¹, ByungSun Lim¹,
SooJeong Park² and SeungKoo Lee³

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

²Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

자두 '대석조생'의 숙기 및 저온저장 온도에 따른 저온장해과 발생 및 품질특성

조미애^{1†} · 홍윤표¹ · 최선영¹ · 정대성¹ · 임병선¹ · 박수정² · 이승구³

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원, ²경상대학교 농업생명과학과, ³서울대학교 식물생산과학부

Abstract

This study was conducted to evaluate the quality characteristics of and chilling injury development in 'Ooishiwase' plum fruits after harvest, according to the ripening stage and storage temperature. The fruits were harvested at three ripening stages (60, 80, and >90% skin color) and were then stored at 1, 4, 5, 6, and 20°C cold-storage rooms for up to 48 days. The fruit quality parameters, respiration patterns, and chilling injury development were monitored during the storage periods and the three days of subsequent ripening at 20°C. The fruits harvested at the 60%-skin-color stage maintained the flesh firmness, color, weight loss, and TA, and their respiration rates and ethylene production were decreased compared with the 80%-or >90%-skin-color fruits, at a lower storage temperature. The major symptoms of chilling injuries in the Ooishiwase plums were gel breakdown, flesh browning, and flesh translucency. These symptoms appeared at all the low-storage-temperature and ripening treatment stages. When the fruits, however, were harvested at a more immature stage and were stored at a lower storage temperature, the chilling injury development decreased. These results show that the development of chilling injury in Ooishiwase plums is related to the climacteric behavior during cold storage.

Key words : plum, ripening stage, storage temperature, chilling injury

서 론

자두는 크게 유럽계 자두 (*Prunus domestica* L.), 일본계 자두 (*Prunus salicina* L.)로 나누어진다. 유럽계 자두는 당도가 높고 과즙이 적으며 잘 연화되지않아 주로 건과용으로 이용되며 일본계 자두는 중국이 원산지이지만 일본과 미국에서보다 발달 개량된 것으로 과즙이 풍부하고 잘 연화되어 생과용으로 이용된다(1). 자두의 분포 지역은 아시아 서부 및 유럽, 동아시아, 북미이다. 우리나라에서 생산되는 자두는 일본계가 주를 이루며, 품종으로는 조생종으로 대석조생, 뷰티, 플럼정상이 있고, 중생종으로 포모사, 솔담, 산타

로사, 대석중생, 귀양, 홍료젠이, 만생종으로 레이트솔담, 태양, 극만생종으로 추희, 켈시, 슈가프룬, 스탠리 등이 있다. 이 중 가장 대표적인 품종은 대석조생, 포모사, 솔담, 추희 등이다.

자두 '대석조생(Ooishiwase)'은 1952년 일본에서 육성된 품종으로 6월 중하순~7월 초에 수확되어 8월 초까지 유통되는 극조생종으로 단맛이 미숙과일 때 11 °Bx에서 붉은 색으로 완전 착색시 13~14 °Bx로 높고 신맛이 적어 소비자 기호도가 높다.

자두 과실은 성숙기에 호흡량과 에틸렌 생성량이 증가하는 전형적인 호흡급등형 호흡 양상을 보인다. 수확기가 여름철로 고온기이며 강한 호흡 대사작용으로 인해 과실은 상온에서 매우 빠르게 성숙되어 품종에 따라 다르나 5~7일

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

정도의 저장 수명을 갖는다. 따라서 자두 과실의 성숙을 지연시켜 경도와 색도를 유지하기 위하여 저온저장을 이용하고 있다(2-5). 그러나 자두를 5°C 이하의 온도에 저장시 그리고 이 후 유통시 과육의 대부분의 자두 품종에서 과육 갈변 및 투명화가 발생하며, 만생종 자두는 갈변 및 투명화와 더불어 과즙이 없어지는 증상, 그리고 품종에 따라 과육 색이 붉게 변하는 적변, 섬유질화 또는 스폰지화가 나타나 상품성이 떨어지기도 한다. Crisosto 등(6)은 이 증상을 저온장해(chilling injury(CI) 또는 internal breakdown(IB))으로 보고하고 있고, 품종, 저장온도, 과실의 숙기, 나무에서의 위치가 저온장해 발생 양상에 영향을 미친다고 밝혀져 있다(5-10). Crisosto 등(6)은 핵과류의 저온장해 양상을 크게 세가지로 분류하였는데 A군은 0°C와 5°C 저장온도에서 5주간 저장시 저온장해가 발생하지 않는 것, B군은 5°C에서만 저온장해효과가 발생하는 것, C군은 두 온도 모두에서 저온장해효과가 발생하는 것이었다. 미국 캘리포니아 지역에서 재배되는 'Blackamber', 'Fortune', 'Angeleno' 품종(6), 그리고 일본계 'Amber Jewel' 품종(11)은 0°C에서는 저온장해효과가 발생하지 않았던 반면 5°C에 저장시에 저온장해효과가 발생하였고, 'Showtime', 'Friar' 및 'Howard Sum' 품종은 0°C와 5°C에서 모두 저온장해효과가 발생하였다(6). 품종에 따라 저온에 처한 기간에 의해서도 저온장해과 발생 양상이 달라진다. 일본계 'Radiant'와 'Gurfruby' 품종은 0°C에 2주 저장한 이후 20°C에서 숙성이 진행될 때, 'Shire' 품종은 0°C에 4주 저장한 이후 20°C에서 숙성이 진행될 때 저온장해효과가 발생하였다(12). 'Songold' 품종은 -0.5°C에서 30일 이상 저장시 투명화와 internal breakdown과 더불어 전해질 누출이 진행되는 저온장해효과가 발생하였다(5). Khan 등(11)은 저온저장시 저장기간이 경과함에 따라 ACS와 ACO효소 활성이 높아지며 이로 인해 에틸렌 생성량이 많아지고, 이로 인해 숙성이 진전됨과 동시에 저온장해효과가 발생한다고 하였다. Climacteric형 자두 품종 중 'Royal Zee'는 'Linda Rosa' 및 'Friar' 품종에 비해 에틸렌 생성량이 높고, 'Angeleno' 품종은 suppressed climacteric형으로 숙성을 조절하기 위한 충분한 에틸렌을 생성하지 못하는데, 이들 품종을 저온저장하였을 때 저온장해 증상인 과육 투명화가 'Royal Zee' 품종에서 'Linda Rosa'나 'Friar' 품종에 비해 더 많이 발생하였고 'Angeleno' 품종에서는 거의 나타나지 않아 호흡패턴이 저온장해과 발생과 연관이 있음을 알 수 있었다(11). 식물 호르몬인 에틸렌은 Methionine→S-adenosyl-methionine(SAM) → ACC → ethylene의 경로로 발생하며, SAM에서 ACC로 전환될 때는 ACC synthesis가, ACC에서 ethylene이 생성될 때는 ACC oxidase가 작용한다. 호흡급등형 과실의 조직에서는 일차적으로 ACC가 산화되어 ethylene으로 전환되지만, 어떤 조직에서는 대사가 진행되지 않고 N-malonyltransferase에 의해 MACC로 전환된다(13). Larrigaudiere 등(14)은 호흡급등형 품종인 'Larry Ann' 자두

를 저온저장시 Malonyl transferase 활성이 억제되어 MACC로 합성이 줄어드는 반면 ACC가 에틸렌으로 전환되는 것을 밝혔으며, 이로 인해 세포막의 손상과 노화를 가져온다고 하였고, 결국 MACC와 malonyl transferase 활성이 자두의 숙성 및 저온장해 등 ethylene과 연관된 장해를 조절하는 주요 조절 인자라고 밝혔다(14). 따라서 자두 저온저장시에 에틸렌 합성 및 작용억제제, 예로 1-methylcyclopropene이 성숙 지연 효과(2,14-25) 뿐 아니라 저온장해과 발생 억제의 측면에서 연구가 진행되고 있다. 그 결과 몇몇 품종에서는 1-MCP에 의한 저온장해과 발생 억제 효과가 확인된 반면(11,14,26-29) 'Lactitta' 품종은 수확후 1-MCP 처리 유무에 관계없이 1°C에 20~50일 저장 후 23°C에서 5일간 숙성시 저온장해효과가 발생하지 않았고(30), '대석조생' 자두에서도 1-MCP를 처리한 후 0°C에서 10일간 저장한 후 20°C에서 숙성시 내부갈변 등 저온장해효과가 관찰되지 않는다는 보고가 있다(31). 성숙 단계에 따른 저온장해과 발생의 차이도 보고되었는데, 'Sungold' 품종을 적숙기와 과숙기에 수확하여 -0.5°C에 10일간 저장후 7.2°C에서 18일 동안 변온 저장한 이후 10°C에서 14일간 성숙시키면서 과육의 투명화 및 공동화 현상을 관찰한 결과 과숙기에 수확한 과실에서만 발생하였다(13).

'대석조생' 자두는 수확후 주로 상온 유통되면서 경도 저하와 표피색 변화, 단맛과 신맛이 떨어져 소비자 기호도가 감소하는 원인이 되고 있다. 요즈음에는 '대석조생' 자두의 장기 저장에 대한 현장의 관심과 필요성이 높아지고 있어 적합한 숙기 및 저온저장 온도를 설정할 필요성이 있다. 자두의 저온 저장시 그리고 이후의 유통시 저온장해과가 발생하는 문제가 있으며, 발생하는 저온장해과의 증상은 어떤 것이 있는지, 어떤 온도범위에서 저온장해과가 발생하는 지, 숙기 및 저장 온도별로 저온장해과 발생 시기가 어떻게 달라지는 지, 또한 저온저장 후 상온으로 옮겨 숙성시 저온장해과 발생 양상은 어떻게 되는지에 대해서는 보고된 바가 없다.

본 실험에서는 자두 '대석조생'의 생육 단계에 따른 수확 시기별 그리고 저온 저장 온도별로 과실의 품질특성과 저온장해과 발생 양상을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 처리

본 시험에 사용한 '대석조생' 자두(*Prunus salicina* L. cv Ooishiwase)는 경북 김천 농가에서 2009년 6월 26일 숙기에 따라 60%, 80% 그리고 90% 이상의 착색률로 구분하여 수확하였다. Fig. 1에 '대석조생' 자두의 착색 정도에 따른 숙기 구분을 나타내었다. 색도지수 2, 3, 그리고 4가 각각 착색율 60%, 80%, 그리고 90% 이상을 나타낸다. 균일한

크기로 선별한 과실을 수확용 52×35.6×18 cm PE상자에 넣어 1, 4, 5, 그리고 6±0.5°C에 저장하면서 저장 10일째부터 이 후 7일 간격으로 품질특성과 저온장해과 발생 양상을 조사하였고, 호흡량과 에틸렌 발생량은 3일 또는 4일 간격으로 조사하였다. 저온장해 발생에 대한 대조구로 20±0.5°C 저장 처리구를 두었고, 호흡변화와 품질특성을 1일 간격으로 조사하였다. 또한 저온 저장 후 상온에서 숙성시 저온장해과 발생은 저장 온도별로 저장 10일 이후부터 7일 간격으로 꺼내어 20°C에서 3일간 숙성시킨 후 조사하였다. 온도 처리는 균일한 면적의 대류식 저온저장고(서빙고, (주)제일화인테크, 한국)를 이용하였고, 저장 중 저장고 내부의 온도 및 상대습도는 온습도 데이터로거(TC60D-PAK00, Paksense, USA 또는 Model 250, WatchDog Data Logger, Spectrum Technologies Inc, USA)를 이용하여 6월 27일부터 15분 간격으로 4일 동안 측정하였으며, 이 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

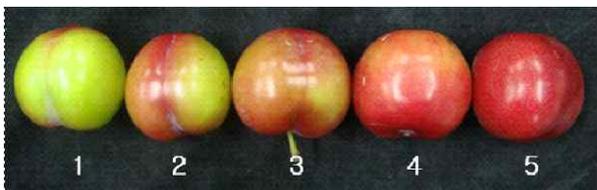


Fig. 1. The color index of 'Ooishiwase' plums. Index 2 represents 60%, 3 represents 80%, and 4 represents >90% skin coloring of fruit.

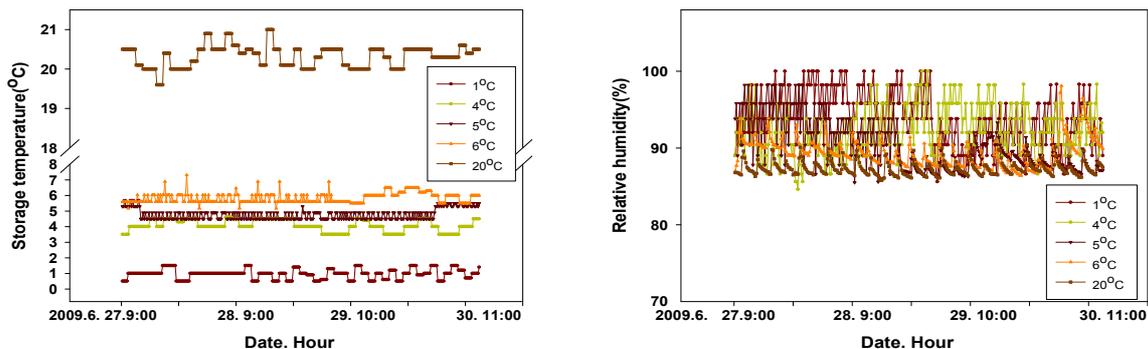


Fig. 2. The treated storage temperature(left) and relative humidity(right) during cold storage of 'Ooishiwase' plum fruits.

호흡량과 에틸렌 생성

호흡량과 에틸렌 생성량의 조사를 위하여 처리구별로 5개의 과일을 5반복으로, 1 L의 밀폐용기에 넣고 1시간 경과후 용기내부에 축적된 공기를 1 mL 주사기로 채취하여 GC(HP6890, Hewlett Packard, USA)로 분석하였다. 이산화탄소 분석은 Porapak 컬럼과 TCD detector로, 에틸렌 분석은 alumina 컬럼과 FID detector가 연결된 GC를 이용하여 injection 온도는 110°C, initial oven 온도는 70°C, final oven 온도는 50°C로 하였다. Detector 온도는 이산화탄소 분석을

위한 TCD는 150°C, 에틸렌 분석을 위한 FID는 250°C로 설정하여 측정하였다. 이때 flow rate는 모두 21 mL·min⁻¹로 설정하였다. 에틸렌과 CO₂의 standard gas농도는 각각 15 µL·L⁻¹과 1.0%를 사용하였고, 시료의 이산화탄소 및 에틸렌 발생량은 측정할 때마다 standard gas 농도를 측정하여 보정하였다.

품질특성

무게손실률은 저장 초기 무게에 대한 감소량을 백분율로 환산하였다. 가용성 고형물의 함량은 과즙을 굴절 당도계 (PAL-1, Atago, Japan)로 측정하여 °Brix 단위로 나타내었다. 적정산도는 과즙 희석액을 pH 미터기(TitroLine easy, Schott instruments, GER)를 이용하여 pH 8.2까지 0.1N NaOH로 적정한 후 자두의 주요 유기산인 malic acid 함량으로 표시하였다. 경도는 자두 과실 적도부위의 과피를 도려내고 5 mm 탐침을 이용하여 Texture Analyzer (TA XT2, Lloyd Ins, UK)로 측정하였다. 경도 측정시 조건은 변형깊이 10 mm, 속도 2 mm·sec⁻¹이며, 단위는 Newton(N)으로 표현하였다. 과피색은 표준백판 (L* 97.75, a* -0.43, b* 0.29)으로 보정된 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 Hunter a(redness- greenness) 값을 나타내었다. 자두의 저온저장시 그리고 저온저장 후 20°C에 숙성시 나타나는 저온장해과 증상과 발생율을 조사하여 백분율로 표시하였다.

데이터 분석

저장기간 중 모든 호흡특성과 품질 특성 분석은 평균값을 구한후 표준오차(standard error, SE)로 나타내거나, SAS프로그램을 이용하여 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

결과 및 고찰

숙기 및 저장온도에 따른 품질 특성

자두의 저장 중 숙성이 진행함을 알려주는 대표적인 품

질 요인은 표피색의 변화와 연화이다. 수확할 때의 성숙 시기별 그리고 저장 온도에 따른 저장 기간 동안의 표피색 변화와 경도의 변화를 Fig. 3과 4에 나타내었다. 표피색과 경도 모두 저장 온도가 낮을수록 느리게 변화하였으며, 수확시의 성숙단계에 따라서는 모든 온도에서 착색율이 낮은 과일일수록 저장동안 색도와 경도가 완전 성숙시의 값에 도달하는 데까지 더 오랜 기간이 걸렸다. 색도 지수 2단계(60% 착색율)의 대석조생 과실을 4~5°C에 저온저장하였을 때 약 30이상의 hunter a값에 도달하는 데 20일정도, 색도 지수 3단계(80% 착색율)의 경우에는 약 12일, 색도 지수 4단계(>90% 착색율)의 경우 6일 전후가 소요되었다. 6°C 저

과는 약 15N 값을 가지는데, 숙기가 진전됨에 따라 거의 0에까지 도달하게 된다. 약 5N까지를 상품성이 있는 기간으로 가정할 때, 0°C 저장시에는 60%와 80% 착색과는 45일 동안, >90% 착색과는 38일 동안 5N 이상을 유지하였고, 4~5°C 저장시에는 모든 숙기별 처리구에서 약 24일 동안, 6°C 저장시에는 모든 숙기에서 13일까지 5N 이상으로 유지되었다. 따라서 자두 '대석조생'의 저장 중 경도는 수확기의 숙기보다는 저장온도에 의해 더 영향을 받는 것으로 보인다.

Table 1에 숙기별로 저온저장하였다가 24일째의 중량감소율과 당도, 그리고 적정산도를 나타내었다. 중량감소율

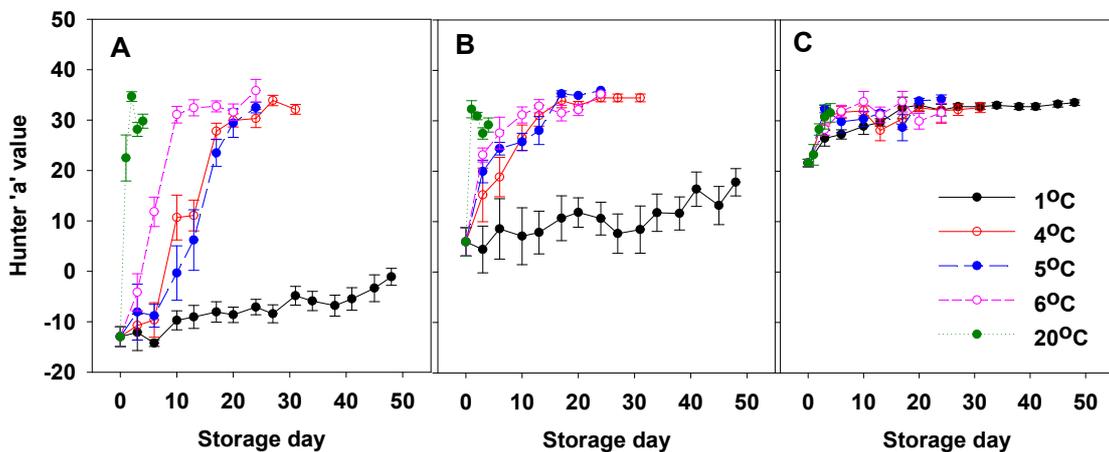


Fig. 3. Changes in skin color according to harvest time at 60% coloring(A), 80% coloring(B), and >90% coloring(C) during 1°C, 4°C, 5°C, 6°C and 20°C storage of 'Ooishiwase' plum fruits.

Data means \pm SE of three replicates of five fruits per experiment.

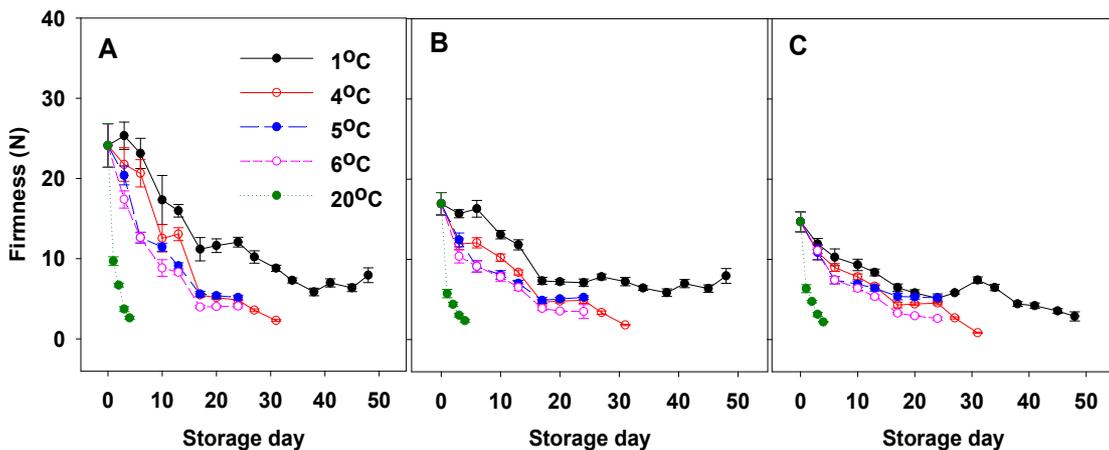


Fig. 4. Changes in flesh firmness according to harvest time at 60% coloring(A), 80% coloring(B), and >90% coloring(C) during 1°C, 4°C, 5°C, 6°C and 20°C storage of 'Ooishiwase' plum fruits.

Data means \pm SE of three replicates of five fruits per experiment.

장시에는 숙기별 모든 처리구에서 10일 이내에 hunter a값이 30에 도달하였다. 자두의 경도는 수확 직후 60% 착색과가 약 25N, 80% 착색과는 약 17N, 그리고 90%이상의 착색

은 저장온도가 높을수록 높게 나타났으나 저장습도가 높게 유지되어 전 기간 동안 5% 이하의 중량감소율을 보여 육안으로 보이는 시들음과는 관찰되지 않았다. 당도는 수확직

후 속도에 따라 숙기가 진전된 것일수록 당도가 높았으나 (테이터 미세시), 저장 온도에 따른 처리간 유의차를 보이지 않았다. 적정산도는 1°C 저장시 다른 저장 온도에 비해 적정산도가 유의적으로 높게 유지된 반면, 20°C에 13일 동안 저장하였을 때 60% 착색과는 0.8%, 80% 착색과는 0.6%, >90% 착색과는 0.5%로 유의적으로 감소하였다. 따라서 자두의 적정산도에는 저장 온도가 유의적으로 영향을 미침을 알 수 있었다.

Table 1. The comparison of weight loss, soluble solid contents, and titratable acidity of 'Ooishiwase' plum at 24 storage day according to harvest stage and storage temperature

| Harvest stage | Storage temperature(°C) | Weight loss (%) | TSS (°Brix) | TA (%) |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------|---------|
| Color index 2 (60% coloring) | 1 | 2.9 c | 11.0 a | 1.89 a |
| | 4 | 3.3 b | 10.6 a | 1.26 b |
| | 5 | 3.8 a | 12.5 a | 1.29 b |
| | 6 | 4.1 a | 11.3 a | 1.21 b |
| Color index 3 (80% coloring) | 1 | 3.8 ab | 11.6 ab | 1.83 a |
| | 4 | 3.6 ab | 12.4 a | 1.27 bc |
| | 5 | 2.8 b | 11.8 ab | 1.27 bc |
| | 6 | 4.4 a | 10.4 a | 1.09 c |
| Color index 4 (>90% coloring) | 1 | 3.4 b | 12.1 a | 1.45 a |
| | 4 | 3.3 b | 12.9 a | 0.76 b |
| | 5 | 2.6 b | 13.1 a | 0.72 b |
| | 6 | 4.2 a | 12.5 a | 0.96 b |

^aData were compared by Duncan's Multiple Range Test at 0.05% level depend on harvest stage.

저온장해과 발생

'대석조생'자두의 저온장해과 발생 양상을 Fig. 5에 나타내었다. 가장 많이 나타나는 저온장해과 증상은 과육 갈변을 동반한 gel breakdown이었고, 투명화 현상도 높은 빈도로 관찰되었으며, 붉은색 색소가 과육에 축적되는 적변 현상은 극히 드물게 관찰할 수 있었다. Table 2에 '대석조생' 자두의 저온저장 기간 동안 숙기별 그리고 저온저장 온도별 저온장해과 발생율을 나타내었다. 저장 기간 동안 1~6°C의 모든 온도에서 저온장해과를 관찰할 수 있었고, 온도가 높을수록 저온장해과 발생이 빠른 시기에 나타났으며, 숙기에 따라서는 성숙이 진행된 과실일수록 저온장해과가 더 많이 발생하였다. 결과적으로 1~6°C의 저온 저장 온도에서는 60% 착색과를 1°C에 저온저장한 처리구에서 저온장해과 발생 개시와 확산이 가장 느렸다. Crisosto 등(6)은 핵과류의 저온장해 발생 양상을 크게 세 군으로 나누었는데, '대석조생' 품종은 1°C와 5°C에서 모두 저온장해과가 발생하는 군에 해당하며, 6°C에서도 저온장해과 발생율이 5°C에서보다 더 높게 나타났다. 이 결과는 '대석조생' 자두의 적정 저장온도를 설정하기가 어렵다는 것은 의미하는데, 이는 적정 저온저장 온도를 저온장해과 발생율과 색도와 경도 등 품질특성을 고려해야하기 때문이다. 본 실험에서 '대석조생' 과실을 6°C에 저장시 모든 숙기에서 경도가 5N 이상으로 유지되는 기간이 13일 이내로 나타났으며, 만약 6°C 이상의 저온에서 저장한다면 품질변화는 더욱 빨라질 것이다. 저장 후 출하 및 소비자에게 도달시까지 유통기간을 고려하면 6°C의 저장온도는 필요한 신선도 유지기간을 만족하기 어려운 온도로 생각된다. 1°C 저온저장시에는 60% 착색과의 경우 24일 경과시까지 저온장해과가 발생하

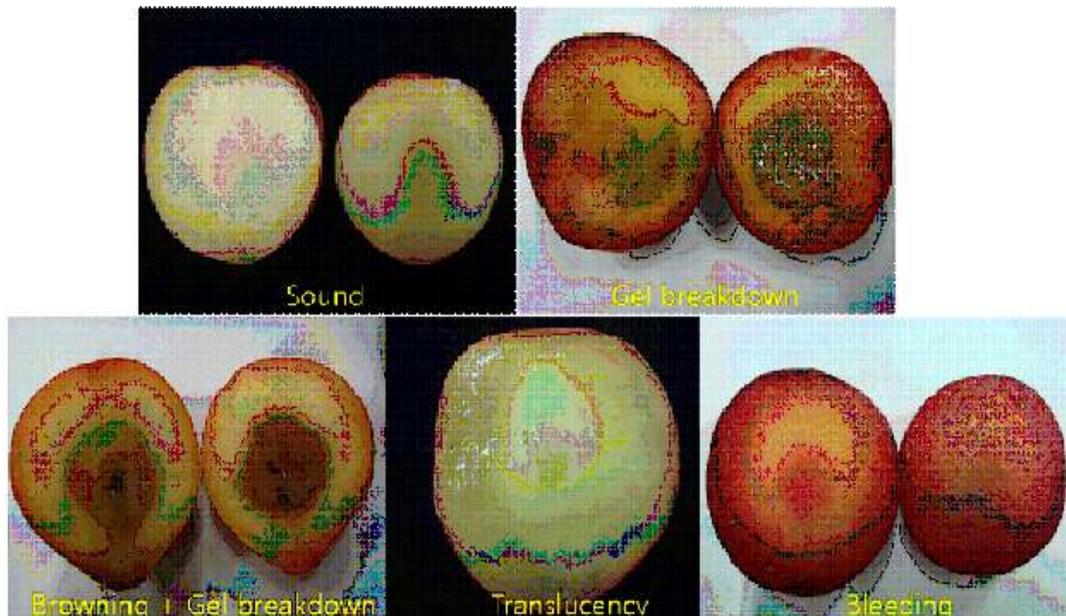


Fig. 5. 'Ooishiwase' plum chilling injury symptoms observed during cold storage : gel breakdown, gel breakdown with browning, flesh translucency, flesh bleeding.

Table 2. The rate of chilling injury development during cold storage depend on harvest stage and cold storage temperature of ‘Ooishiwase’ plums

| Harvest stage | Storage temperature (°C) | Storage day | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|-------------|-----|---------|---------|--------|------|------|
| | | 0 | 10 | 17 | 24 | 31 | 38 | 45 |
| Color index 2 (60% coloring) | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 b | 0.0 c | 1.4 b | 11.3 | 18.9 |
| | 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 b | 11.7 b | 17.1 a | - | - |
| | 5 | 0.0 | 0.0 | 8.0 a | 21.7 ab | - | - | - |
| | 6 | 0.0 | 0.0 | 6.0 a | 23.5 a | - | - | - |
| Color index 3 (80% coloring) | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 c | 0.0 d | 4.3 b | 15.6 | 25.4 |
| | 4 | 0.0 | 0.0 | 2.0 b | 15.0 c | 24.3 a | - | - |
| | 5 | 0.0 | 0.0 | 12.0 a | 23.3 ab | - | - | - |
| | 6 | 0.0 | 0.0 | 12.0 a | 26.7 a | - | - | - |
| Color index 4 (>90% coloring) | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 d | 0.0 d | 8.6 b | 20.0 | 28.9 |
| | 4 | 0.0 | 0.0 | 4.0 c | 16.2 c | 23.5 a | - | - |
| | 5 | 0.0 | 0.0 | 10.0 ab | 21.7 b | - | - | - |
| | 6 | 0.0 | 0.0 | 13.8 a | 28.5 a | - | - | - |

*Data were compared by Duncan’s Multiple Range Test at 0.05% level depend on harvest stage.
 - : no data, the fruit quality was not good for evaluation due to over-ripening.

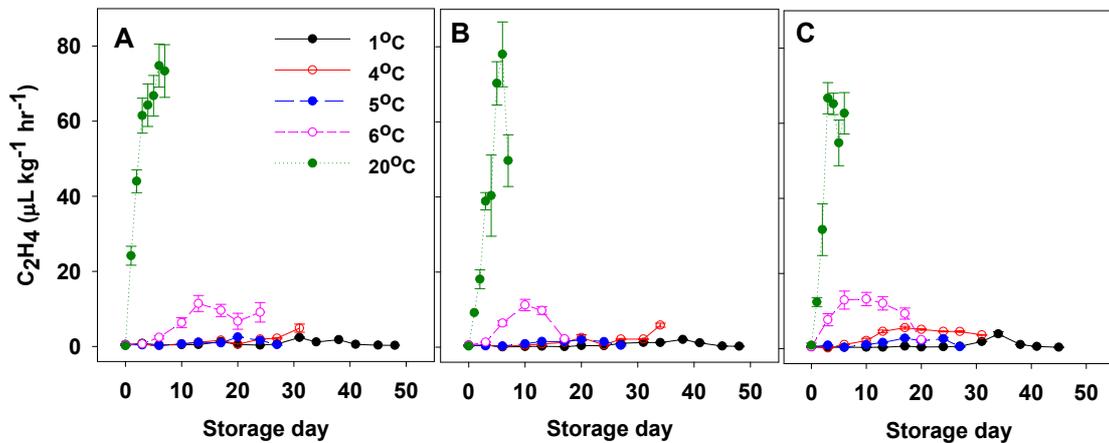


Fig. 6. Changes in ethylene production according to harvest time at 60% coloring (A), 80% coloring (B), and >90% coloring (C) during 1°C, 4°C, 5°C and 20°C storage of ‘Ooishiwase’ plum fruits.

Data means ±SE of five replicates of five fruits per experiment.

지 않으며, 이후 20°C에서 3일 숙성시 약 60%의 과일에서 저온장해과가 발생하지만 그 정도는 미미하여(데이터 미제시) 상품성을 갖는 것으로 보여 ‘대석조생’ 자두의 저장온도는 1°C가 더 적합한 것으로 사료된다.

호흡량과 에틸렌 생성량

‘대석조생’ 자두의 숙기별 그리고 저장온도별 에틸렌 발생량과 호흡량을 Fig. 6-7에 나타내었다. 에틸렌 발생량과 호흡량은 전형적인 호흡급등형 패턴을 보였고, 저장 온도와 비례하여 온도가 높을수록 호흡량이 높아졌다. 숙기에 따라서는 모든 숙기에서 호흡 급등 peak를 보여 ‘대석조생’

자두의 climacteric peak는 >90% 착색기 이후임을 알 수 있었다. 6°C 저장 온도에서 climacteric peak가 숙기에 따라 달라지는 것을 확연히 관찰할 수 있는데, 60% 착색과는 저장 13~17일에, 80% 착색과는 10일경, >90% 착색과는 6일부터 peak가 시작되었으며, 이러한 호흡급등 peak는 1, 4, 5°C에서도 관찰할 수 있었다.

이러한 호흡급등 중 발생한 에틸렌은 ‘대석조생’ 자두의 숙성과 관련하여 색도, 경도 및 적정산도를 떨어뜨리는 것과 밀접한 관련이 있다. 또한 Table 2의 저온저장 중 저온장해과 발생을 살펴보면 호흡급등시기와 저온장해과 발생 시기가 일치함을 알 수 있다. Khan 등(11)과 Candan 등(27)

이 여러 품종의 자두의 호흡 패턴과 저온장해과 발생을 조사하여 climacteric형 자두의 저온장해과 발생이 suppressed climacteric형 자두에 비해 높아, 에틸렌이 숙성을 유도하면서 저온장해과를 발생시킨다고 보고하였는데, '대석조생' 또한 에틸렌이 숙성과 저온장해과 발생에 영향을 미치는 것으로 보인다. 따라서 에틸렌 합성 및 작용 억제제인 1-MCP 처리에 의한 저온장해과 발생 경감을 기대할 수 있는데, Oh 등(22,31)은 '대석조생' 자두에 1-MCP를 처리하였을 때 호흡과 에틸렌 발생량이 낮아져 경도와 색도를 무처리에 비해 오래 유지할 수 있었지만, 1-MCP를 처리한 후 0°C에서 10일간 저장하였다가 20°C에서 숙성한 후에

저온장해과 발생을 관찰하지 못하였고, 따라서 1-MCP처리에 의한 저온장해과 발생 억제효과를 구명하지 못하였다. 본 실험의 '대석조생'은 0°C에 10일 저장후 20°C에서 3일간 후숙시 다양한 증상의 저온장해과가 높은 빈도로 나타나는 것을 관찰할 수 있었는데, 이는 Oh 등(22,31)의 보고에서 사용된 '대석조생' 시료가 시설재배 농가에서 재배되어 4.27일 조기 수확된 품종으로 본 실험에서 사용한 노지재배되어 6. 26일 수확한 것과 차이가 있기 때문인 것으로 보인다. 따라서 향후 '대석조생'의 최성기에 수확되는 과실을 이용하여 1-MCP가 저온장해과 발생 억제에 영향을 미치는 지 구명할 필요가 있다.

Table 3. The rate of chilling injury development during cold storage plus 3 days subsequent ripening at 20°C depend on harvest stage and storage temperature of 'Ooishiwase' plums

| Harvest stage | Storage temperature (°C) | Storage day | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-------------|--------|--------|---------|--------|------|------|
| | | 0 | 10 | 17 | 24 | 31 | 38 | 45 |
| Color index 2 (60% coloring) | 1 | 0.0 | 39.5 c | 46.2 c | 60.3 c | 62.5 a | 68.0 | 73.3 |
| | 4 | 0.0 | 40.2 c | 45.0 c | 56.7 c | 67.5 a | - | - |
| | 5 | 0.0 | 62.5 b | 71.5 b | 83.6 ab | - | - | - |
| | 6 | 0.0 | 90.4 a | 90.6 a | 93.3 a | - | - | - |
| Color index 3 (80% coloring) | 1 | 0.0 | 35.5 c | 55.0 c | 66.7 bc | 72.5 b | - | - |
| | 4 | 0.0 | 38.5 c | 65.5 c | 73.3 b | 80.4 a | - | - |
| | 5 | 0.0 | 65.4 b | 82.5 b | 86.7 ab | - | - | - |
| | 6 | 0.0 | 90.0 a | 95.0 a | 96.7 a | - | - | - |
| Color index 4 (>90% coloring) | 1 | 0.0 | 44.6 c | 59.5 c | 66.0 c | 75.0 b | - | - |
| | 4 | 0.0 | 42.2 c | 78.8 b | 82.2 b | 89.4 a | - | - |
| | 5 | 0.0 | 72.8 b | 80.8 b | 95.3 a | - | - | - |
| | 6 | 0.0 | 94.6 a | 90.2 a | 96.7 a | - | - | - |

*Data were compared by Duncan's Multiple Range Test at 0.05% level depend on harvest stage.
 - : no data, the fruit quality was not good for evaluation due to over-ripening.

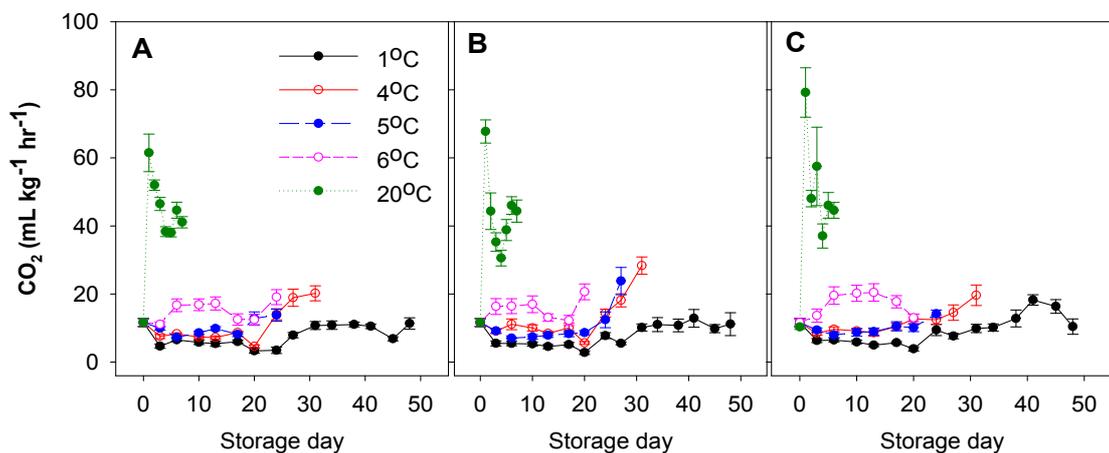


Fig. 7. Changes in carbon dioxide production according to harvest time at 60% coloring(A), 80% coloring(B), and >90% coloring(C) during 1°C, 4°C, 5°C, 6°C and 20°C storage of 'Ooishiwase' plum fruits.

Data means ±SE of five replicates of five fruits per experiment.

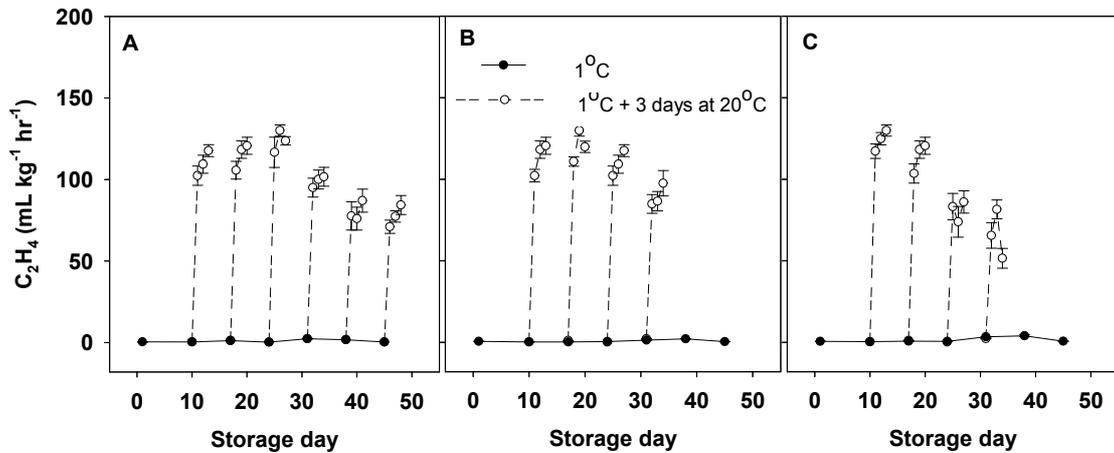


Fig. 8. Changes in ethylene production according to harvest time at 60% coloring (A), 80% coloring (B), and >90% coloring (C) during 1°C storage plus 3 days subsequent ripening at 20°C of 'Ooishiwase' plum fruits.

Data means \pm SE of five replicates of five fruits per experiment.

Fig. 8은 '대석조생' 자두의 숙기별로 1°C에 저장하였다가 꺼내어 20°C에서 3일 동안 후숙시킬 때의 에틸렌 발생량을 나타낸 것이다. 각각의 숙기별 및 1°C에서 경과된 저장일 수별로 과일을 꺼내어 이 후 20°C에서 하루 동안 후숙시킨 후 에틸렌 발생량을 비교해보면, 60% 착색과(A)는 24일 동안 저온저장했던 과실이, 80% 착색과(B)는 17일 동안, >90% 착색과(C)는 10일간 저장하였다가 후숙시킨 과실에서 에틸렌 발생량이 가장 높게 나타났다. 이 결과와 Table 3의 1°C 저온저장 후 20°C 숙성시 저온장해과 발생을 비교하여 보면, 에틸렌 발생의 peak시기의 과실에서 저온장해과 발생이 급증함을 알 수 있다

요 약

자두 '대석조생'의 생육단계별 수확시기 및 저온저장 온도에 따른 저온장해과 발생 양상과 품질 특성을 구명하고자 하고자, 자두 '대석조생'을 60%, 80% 그리고 90% 이상의 착색율로 구분하여 수확한 후, 1, 4, 5, 6°C 그리고 20°C에 최대 48일간 그리고 20°C에서 3일간 숙성시키면서 호흡 변화, 품질 특성 및 저온 장해과 발생 양상을 조사하였다. 60% 착색기에 수확한 자두를 보다 낮은 저온에 저장하였을 때 경도, 색도, 중량감소율과 적정산도의 유지에 효과적이었으며, 이 조건에서 에틸렌 발생량과 호흡량도 보다 낮게 유지되었다. '대석조생' 자두의 저온장해 증상은 주로 내부 갈변을 동반한 gel breakdown과 과육투명화 현상이었는데, 이러한 저온장해과는 모든 숙기별 처리구 그리고 6°C 이하의 모든 저장 온도에서 발생하였다. 그러나 성숙이 진행되지 않은 과일일수록, 그리고 저장 온도가 낮을수록 저온장해과 발생을 낮게 나타냈다. 이 결과는 '대석조생' 자두의

저온장해과 발생이 저장기간 동안의 호흡 양상과 관련되어 있음을 의미한다.

참고문헌

- Okie WR, John HW (1996) Chapter 10. Plums. In: Fruit Breeding, Jules J and James NM(Editor), p 559-608
- Alves ED, Steffens CA, Amarante CVT, Weber A, Miqueloto A, Brackmann A (2010) Cold storage of 'Laetitia' plums treated with 1-MCP and induced to loss of fresh mass. *Ciencia Rural*, 40, 30-36
- Parra-Coronado A, Hernandez JEH, Camacho-Tamayo JH (2008) Post-harvest physiological study and evaluation of the quality of cv. Horvin plums (*prunus domestica* l.) in three cold-storage conditions. *Revista Ingenieria E Investigacion*, 28, 99-104
- Robertson JA, Meredith FI, Lyon BG, Norton JD (1991) Effect of cold storage on the quality characteristics of AU-RUBRUM plums. *J Food Qual*, 14, 107-117
- Taylor MA, Jacobs G, Rabe E, Dodd MC (1993a) Physiological factors associated with overripeness, internal breakdown and gel breakdown in plums stored at low temperature. *J Hort Sci*, 68, 825-830.
- Crisosto CH, Mitchell FG, Ju ZG (1999) Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. *Hortsci*, 34, 1116-1118
- Taylor MA, Rabe E, Dodd MC, Jacobs G (1993b) Influence of sampling date and position in the tree on mineral nutrients, maturity and gel breakdown in cold

- stored Songold plums. *Scientia Horti*, 54, 131-141
8. Taylor MA, Rabe E, Jacobs G, Dodd MC (1993c) Physiological and anatomical changes associated with ripening in the inner and outer mesocarp of cold stored Songold plums and concomitant development of internal disorders. *J Horti Sci*, 68, 911-918
 9. Taylor MA, Rabe E, Dodd MC, Jacobs G (1994) Effect of storage regimes on pectolytic enzymes, pectic substances, internal conductivity and gel breakdown in cold stored Songold plums. *J Horti Sci* 69, 527-534
 10. Taylor MA, Rabe E, Jacobs G, Dodd MC (1995) Effect of harvest maturity on pectic substances, internal conductivity, soluble solids and gel breakdown in cold stored Songold plums. *Postharvest Biol Technol*, 5,285-294
 11. Khan AS, Ahmed MJ, Singh Z (2011) Increased ethylene biosynthesis elevates incidence of chilling injury in cold-stored 'Amber Jewel' Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during fruit ripening. *Intl J Food Sci Technol*, 46, 642-650
 12. Abdi N, Holford P, McGlasson WB (1997) Effects of harvest maturity on the storage life of Japanese type plums. *Australian J Exp Agric*, 37, 391-397
 13. Yang SF, Hoffman NE (1984) Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann Review Plant Physiol*, 35, 155-189
 14. Larrigaudiere C, Candan AP, Ubach D, Graell J (2009) Physiological response of 'Larry Ann' plums to cold storage and 1-MCP treatment. *Postharvest Biol Technol*, 51, 56-61
 15. Abdi N, McGlasson WB, Holford P, Williams M, Mizrahi Y (1998) Responses of climacteric and suppressed-climacteric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol Technol*, 14, 29-39
 16. Dong L, Zhou HW, Sonogo L, Lers A, Lurie S (2001) Ripening of 'Red Rosa' plums: effect of ethylene and 1-methylcyclopropene. *Australian J Plant Physiol*, 28, 1039-1045
 17. Jung JH, Kim YC, Jung SK (2010) Fruit Quality of 1-Methylcyclopropene Treated 'Formosa' Plum on the Shelf Life at Ambient Temperature. *Korean J Hort Sci Technol*, 28, 429-433
 18. Khan AS, Singh Z (2008) 1-Methylcyclopropene application and modified atmosphere packaging affect ethylene biosynthesis, fruit softening, and quality of 'Tegan blue' Japanese plum during cold storage. *J Am Soc Hort Sci*, 133, 290-299
 19. Khan AS, Singh Z, Swinny EE (2009) Postharvest application of 1-Methylcyclopropene modulates fruit ripening, storage life and quality of 'Tegan Blue' Japanese plum kept in ambient and cold storage. *International J Food Sci Technol*, 44, 1272-1280
 20. Luo ZS, Xie J, Xu TQ, Zhang L (2009) Delay ripening of 'Qingnai' plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene. *Plant Sci*, 177, 705-709
 21. Menniti AM, Gregori R, Donati I (2004) 1-Methylcyclopropene retards postharvest softening of plums. *Postharvest Biol Technol*, 31, 269-275
 22. Oh SY, Lim BS, Lee JW, Do KR (2007a) 1-Methylcyclopropene increases the shelf-life of 'Ooishiwase' plums (*Prunus salicina* L.). *Korean J Horti Sci Technol*, 25, 369-374
 23. Ozkaya O, Dundar O (2009) Response of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on some quality parameters of plum during storage. *J Food Agri Environ*, 7, 233-236
 24. Ozkaya O, Dundar O, Demircioglu H (2010) Ripening and quality response of 'Blackamber' plums to 1-methylcyclopropene during long-term storage. *J Food Agri Environ*, 8, 284-291
 25. Salvador A, Cuquerella J, Martinez-Javega JM (2003) 1-MCP treatment prolongs postharvest life of 'Santa Rosa' plums. *J Food Sci*, 68, 1504-1510
 26. Candan AP, Graell J, Larrigaudiere C (2008) Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. *Postharvest Biol Technol*, 47, 107-112
 27. Candan AP, Graell J, Larrigaudiere C (2011) Postharvest quality and chilling injury of plums: benefits of 1-methylcyclopropene. *Spanish J Agri Research*, 9, 554-564
 28. Candan AP, Graell J, Crisosto C, Larrigaudiere C (2006) Improvement of storability and shelf-life of 'Blackamber' plums treated with 1-methylcyclopropene. *Food Sci Technol International*, 12, 437-443
 29. Manganaris GA, Vicente AR, Crisosto CH, Labavitch JM (2007) Effect of dips in a 1-methylcyclopropene-generating solution on 'Harrow Sun' plums stored under different temperature regimes. *J Agri Food Chem*, 55, 7015-7020
 30. Argenta LC, Krammes JG, Megguer CA, Amarante CVT, Mattheis J (2003) Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 38, 1139-1148
 31. Oh SY, Lim BS, Lee JW, Lee JH (2007b) The effect

of 1-Methylecyclopropene on the Quality of 'Ooishiwase'
plums (*Prunns Salicina* L.) with Different Ripening stage.
Korean J Food Preserv, 14, 511-515

(접수 2011년 5월 2일 수정 2011년 9월 30일 채택 2011년 10월 7일)