Korean J Food Preserv, 30(5), 822-832 (2023)
https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.5.822
pISSN: 1738-7248, eISSN: 2287-7428

Korean Journal of Food Preservation
한국식품저장유통학회지

Research Article

Effectiveness of controlled atmosphere container on the freshness of exported *PMRsupia* melon

CA 컨테이너를 이용한 수출 멜론의 선도유지 효과

Haejo Yang, Min-Sun Chang, Puehee Park, Hyang Lan Eum, Jae-Han Cho, Ji Weon Choi, Sooyeon Lim, Yeo Eun Yun, Han Ryul Choi, Me-Hea Park, Yoonpyo Hong, Ji Hyun Lee*

양해조 · 장민선 · 박부희 · 엄향란 · 조재한 · 최지원 · 임수연 · 윤여은 · 최한률 · 박미희 · 홍윤표 · 이지현*

Postharvest Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과

Abstract This study investigates the effectiveness of CA (controlled atmosphere) containers in maintaining the freshness of exported melons. The melons were harvested on June 5, 2023, in the Yeongam area of Jeollanam-do, Korea. The CA container was loaded with melon samples packed in an export box. The temperature inside the container was set at 4℃, while the gas composition was set at 5% oxygen, 12% carbon dioxide, and 83% nintrogen. Following two weeks of simulated transportation, quality analysis was conducted at 10℃. The melons were inoculated with spore suspensions, and the decay rate was determined to investigate the effect of the gas composition inside the CA container on suppressing the occurrence of *Penicillium oxalicum* in melons. The results were compared with a Reefer container set at the same temperature. The samples transported in the CA container exhibited lower weight loss. The melon pulp softening, respiration rate, and ethylene production were slower using the CA container. Moreover, the decay rate during the distribution period in the CA container was lower than in the Reefer container. In contrast, the firmness of melons transported in the Reefer container decreased significantly (from 9.03N to 5.18N) immediately after transportation. The soluble solid content (SSC) of melons transported in the Reefer container also decreased rapidly. The results suggested that the CA container is the optimal export container for maintaining the freshness of melons.

Keywords melons, CA container, export, quality, decay

OPEN ACCESS

Citation: Yang H, Chang MS, Park P, Eum HL, Cho JH, Choi JW, Lim S, Yun YE, Choi HR, Park MH, Hong Y, Lee JH. Effectiveness of controlled atmosphere container on the freshness of exported *PMRsupia* melon. Korean J Food Preserv, 30(5), 822-832 (2023)

Received: October 05, 2023
Revised: October 11, 2023
Accepted: October 12, 2023

***Corresponding author**
Ji Hyun Lee
Tel: +82-63-238-6531
E-mail: leejh80@korea.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

멜론(*Cucumis melo* L.)은 박과류에 속하는 1년생 식물로 동아프리카가 원산지이며 지중해, 아시아, 북유럽 및 미주지역 등에서 광범위하게 재배되고 있다. 국내에서도 지난 2002년부터 수출작목으로 선정되어 동남아뿐만 아니라 유럽, 미국, 중남미 등에도 수출되고 있다(Lee 등, 2020). 하지만 멜론은 주변 온도의 영향을 받아 쉽게 물러지고 병원균에 감염되기 쉬워 심각한 손실을 초래한다(Yuan 등, 2013). 이러한 손실은 멜론뿐만 아니라 다양한 신선 농산물

에서도 발생하기 쉬우며, 수확 후 현장에서 식탁까지 유통되면서 소비자의 품질을 결정하는 관능 및 영양 특성이 손실될 수 있다(Pace 등, 2010).

특히, 수출은 내수 시장과는 달리 항공운송, 해상운송과 같이 장시간의 수송기간이 요구되기 때문에 품질 손실이 매우 크게 발생할 수 있다. 따라서 과일, 채소 등 손실이 발생하기 쉬운 농산물에 대한 해상운송 기술의 향상이 필요한 실정이다(Ikegaya 등, 2023).

기존 해상운송에 필요한 선박용 컨테이너는 전 세계적으로 다양한 유형의 제품을 수출하는 데 사용된다. 일부 컨테이너에는 냉장 기능이 탑재되어 있으며 이러한 컨테이너는 Reefer 컨테이너로 알려져 있다. Reefer 컨테이너는 여러 종류의 신선 농산물, 정밀 산업 제품과 같이 운송 중 온도 조절이 필요한 품목을 운송하는 데 사용된다(Ikegaya 등, 2023). 하지만, Reefer 컨테이너는 수확 후 품질에 관여하는 요소 중 하나인 온도 조건만 조절할 수 있는 컨테이너로 짧게는 1주, 길게는 3주가량의 해상운송 동안 신선 농산물의 신선도를 유지하는 데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 특정 냉동 컨테이너에는 신선 농산물의 호흡을 낮춰 신선도를 유지하기 위해 산소와 이산화탄소 농도를 조절하는 CA 기능을 탑재하였다. 이를 CA 컨테이너라고 하며 주로 신선한 과일, 채소 등 농산물 운송에 사용된다(Nippon Yusen Kabushiki Kaisha, 2016). Paniagua 등(2014)의 보고에 의하면, 블루베리를 10% CO_2 + 2.5% O_2의 CA 조건으로 수출하였을 때 부패, 연화 억제 등의 효과로 장거리 수송에 효과적이었다고 하였으며, Fahmy와 Nakano(2016)는 3-5% O_2 + 5-8% CO_2의 CA 조건에서 단감의 선도유지 효과가 뛰어났다고 보고하였다. 하지만, 온도, 습도, 산소 및 이산화탄소 농도 등의 조건은 농산물 종류에 따라 다르므로 농산물 수출에 적합한 CA 컨테이너 최적 조건 설정은 많은 연구가 필요한 실정이다(Gross 등, 2018).

국내에서는 주로 아보카도, 바나나 등 후숙 과일의 수입에 이용되었을 뿐 CA 컨테이너를 활용한 신선 농산물 수출은 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CA 컨테이너를 활용하여 멜론을 모의 수송하였을 때, 수송기간 및 저장기간 동안 멜론의 품질변화를 분석하여 Reefer 컨테이너 대비 CA 컨테이너의 효과를 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

연구에 사용된 멜론은 전남 영암에서 토경으로 재배한 *PMRsupia* 품종으로, 경종 개요는 3월 10일 정식, 4월 10일 수정, 5월 10일 적과, 6월 5일에 수확된 멜론을 사용하였다. 멜론은 2.0-2.4 kg의 균일한 중량으로 4과씩 선별하여 현지에서 유통되는 골판지상자(360×260×165 mm)에 넣어 포장한 상태로 6월 9일에 국립원예특작과학원 저장유통과 수확 후 관리연구동으로 운반하였다.

2.2. 미생물 처리

2.2.1. 미생물 균주

실험에 사용한 *Penicillium oxalicum* 균주는 KACC(국립농업과학원 농업미생물은행, Jeonju, Korea)에서 41013번 균주를 분양받아 실험에 사용하였다. 분양받은 균주는 PDA 평판 배지에 24℃에서 암조건으로 10시간, 청색광 조건에서 14시간 배양하였다.

2.2.2. 미생물 접종

미생물 접종을 위해 배양 후 14일 정도 지난 배지에 Tween20이 0.01% 정도 첨가된 멸균수를 넣고 스프레더를 이용하여 균사와 포자를 긁어모았다. 모아진 원액은 거즈 4겹을 이용하여 균사를 걸러낸 후, 광학현미경과 Hemocytometer를 이용하여 3회 정도 포자수를 측정하였다. 포자현탁액은 원액에 멸균수를 첨가하여 최종 1×10^6 spores/mL 농도가 되도록 희석하여 제조하였다. 제조한 포자현탁액은 바늘로 상처를 낸 멜론 꽃자루 부위에 분무한 후 충분히 건조시켜 균주가 시료 표면에 충분히 부착되도록 하였다.

2.3. 모의 수송 조건 및 저장 실험

멜론은 미생물 접종 그룹과 미접종 그룹으로 나누어 CA 컨테이너와 기존 수출 현장에서 사용되고 있는 Reefer 컨테이너에 나눠서 적재하였다. 연구에 사용된 CA 컨테이너(CA container, Maersk Co., Beijing, China)는 CA 기능이 탑재된 냉동기와 전기화학식 측정 방식의 O_2 센서, 적외선(NDIR) 측정 방식의 CO_2 센서, MEMS type의 온습도 센서가 장착된 컨테이너로 효과적인 화물(농산물)의 수송을

목적으로 하는 ISO 국제규격형 냉동/냉장 컨테이너이다. CA 컨테이너 환경조건 중 온도는 4℃로 설정하였고, 공기 조성은 특수 제작된 질소발생기와 순도 99.9%의 고순도 CO_2 가스를 이용하여 O_2 5%, CO_2 12% 조건으로 조성한 뒤 2주간 모의 수송하였다. 대조구로 사용된 저온 컨테이너(Reefer, Daikin Industries, Ltd., Osaka, Japan)는 온도만 조절되는 컨테이너로 수송 온도는 CA 컨테이너와 동일하게 4℃로 설정하여 수송하였다. 모의 수송이 끝난 미생물 미접종 처리구의 멜론은 10℃에 저장하면서 총 9일 동안 3일 간격으로 품질분석과 부패율을 조사하였고, 미생물 접종 처리구는 동일한 조건에서 부패율만 조사하였다.

2.4. 품질 특성 조사

2.4.1. 중량감소율

생체중량의 감소율은 Kim 등(2010)을 참고하여 모의 수송 전 초기중량과 수송기간이 끝난 즉시부터 3일 간격으로 측정된 중량의 차이에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

2.4.2. 경도

멜론의 경도는 Carvalho 등(2016)의 방법을 참고하여 정상과의 가식부를 기준으로 RDA(2018)의 부위별 구분에 따라 과피를 제거하고, 과육 적도 부위의 중벽을 중심으로 4등분한 과육 중 2부위의 과육을 채취하여 측정하였다. Texture analyzer(Lloyd Instrument BG/TA plus, Ametek, Inc., Fareham, UK)의 분석 조건은 depression limit 10 mm, test speed 2 mm/sec, trigger 0.98N으로 설정하여 측정하였고, flat-tipped 형태의 직경 5 mm probe를 이용하여 측정하였다.

2.4.3. 가용성 고형물 함량(soluble solid content)

멜론의 가용성 고형물 함량은 Carvalho 등(2016)의 방법을 참고하여 RDA(2018)의 부위별 구분에 따라 정상과의 과피와 태좌 부위의 내벽을 제거하고, 적도부의 중벽을 중심으로 4등분한 과육 중 2부위의 과육을 착즙하여 디지털 당도계(PAL-1, Atago Co., LTD., Tokyo, Japan)로 측정하였다.

2.4.4. 색도

과육의 색도는 RDA(2018)의 구분에 따른 정상과 가식부의 중벽 부분을 기준으로 Kim 등(2011)의 방법을 참고해 Chromameter(CR-300, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 Hunter value인 L(lightness), a(redness) 및 b(yellowness) value를 측정하였다. 컨테이너 간의 색도 차이는 초기값에 대한 색차(color difference, △E)를 이용하여 계산하였다.

2.4.5. 호흡률 및 에틸렌 발생량

CO_2 농도는 Kim 등(2011)을 참고하여 멜론을 8.5 L 밀폐용기에 1과씩 넣어 1시간 방치한 후 내부에 축적된 head space의 기체 1 mL를 gas-tight syringe로 포집하여 GC(GC-7890B, Agilent Technol., Wilmington, DE, USA)를 이용하여 측정하였다. 이때 분석 조건으로 길이 30 m, 내경 0.32 mm의 column(HP-5, Agilent Technol.)을 사용하였고, 온도는 80℃에 이동상은 flow rate 5 mL/min의 He를 사용하였다. 검출기로는 thermal conductivity detector(TCD)를 사용하였고 호흡률은 mg CO_2/kg/h으로 계산하여 표기하였다. 에틸렌 발생량은 CO_2 농도와 동일한 방식으로 기체를 포집하였으며, GC(Bruker 450-GC, Bruker Corp., Billerica, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 에틸렌 발생량 분석 조건으로 column 온도는 70℃에 검출기로는 flame ionization detector(FID)를 사용하였고, 검출온도는 250℃로 설정하여 측정하였다. 에틸렌 발생량은 μL C_2H_4/kg/h으로 환산하여 표기하였다.

2.4.6. 부패율

멜론의 부패율은 대조구를 포함한 각 처리구당 시료 20과를 골판지상자(360×260×165 mm)에 4과씩 포장하여 10℃에서 9일간 저장하면서, 꽃자루 부위와 과피 표면에 곰팡이의 생육이 관찰된 부패과를 선별하여 전체 시료량 대비 부패과의 비율(%)로 나타내었다.

2.5. 통계 분석

통계처리는 IBM SPSS Statistics 20(IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 수행하였으며 평균간 유의차 검증은 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의차 검정을 하였다($p<0.05$). 각 처리구는 통계 분석을 위하여 반복당 5과씩 5반복으로 처리

https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.5.822

하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 중량감소율

PMRsupia 멜론의 모의 수송 후, 10℃에 저장하는 동안 생체중량의 변화는 컨테이너에 따라 차이를 나타냈다(Fig. 1(A)). 중량감소율은 CA 컨테이너와 Reefer 컨테이너 모두 저장기간이 지남에 따라 증가하는 추세를 보였다. 2주간의 모의 수송이 끝난 시점인 10℃ 저장 0일차부터 6일차까지는 두 컨테이너 간 유의차가 없었지만, 9일차에는 0.4%로 차이를 보였다. Youn 등(2011)은 저장 초기의 높은 호흡률은 수분 증발과 호흡기질로 사용되는 체내 성분의 분해를 야기하여 중량이 감소하는 것과 상관성이 높은 것으로 보고하였고, Cha 등(2013)과 Lee 등(2020)은 저장온도별 생체중량 감소율을 측정한 결과, 온도가 낮아짐에 따라 중량감소율이 감소하였다고 보고하였다. 이처럼 *PMRsupia* 멜론도 2주간의 수송기간 동안 4℃의 저온 수송과 CA 수송 모두 호흡을 억제하여 수분 증발 및 체내 성분의 손실 방지로 중량감소가 1% 미만으로 크지 않았다. 또한, 10℃에 저장

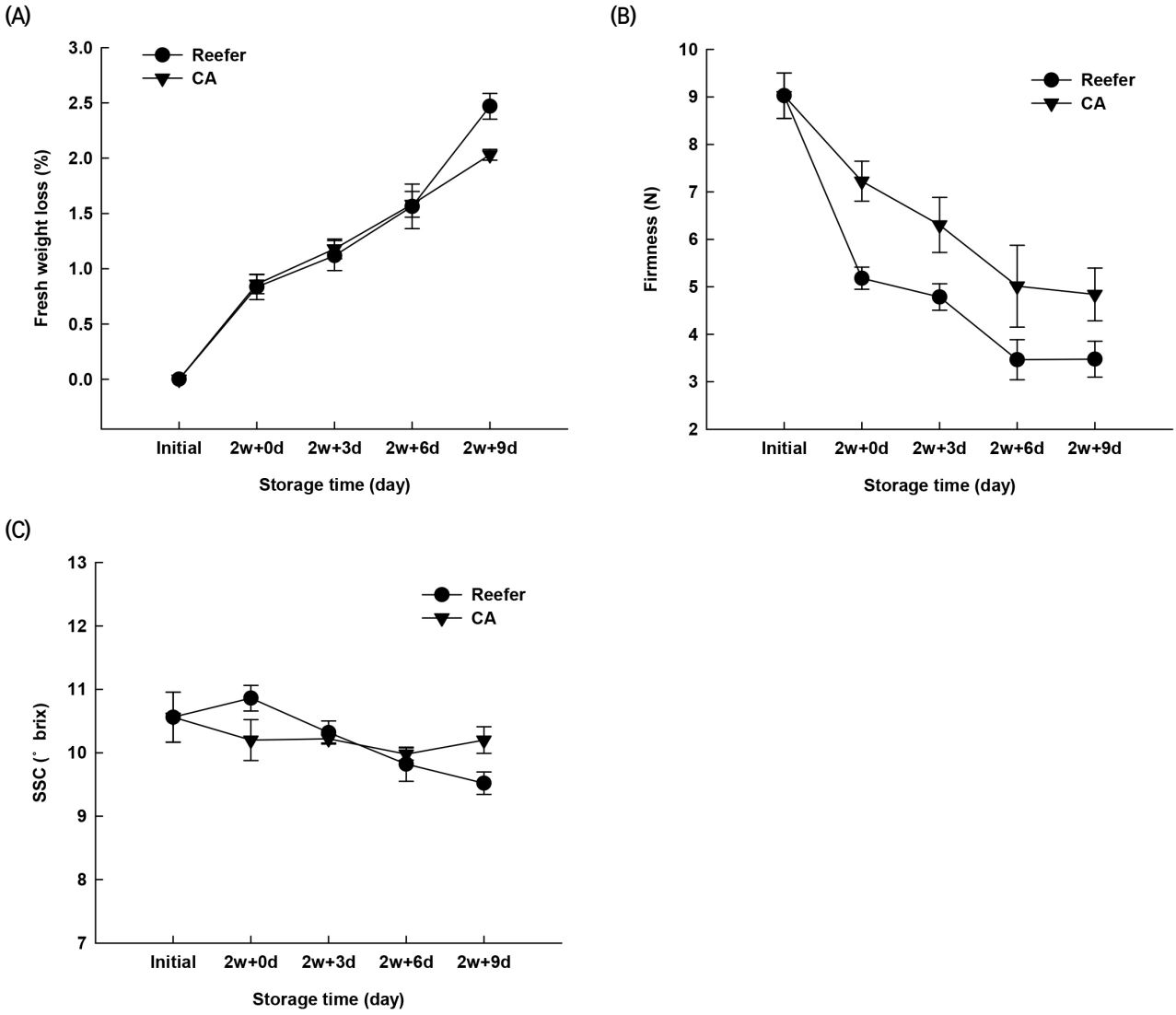

Fig. 1. Changes in fresh weight loss rate (A), firmness (B), and SSC (C) of *PMRsupia* melon by container type. ●, Reefer container; ▼, CA container. Values represent the mean±SD (n=10). Data represent the mean±SE of ten replicates. Some error bars are marked by the symbols.

하면서 멜론은 수송 컨테이너별 저장 종료 시까지 중량감소가 Reefer 컨테이너는 2.47%, CA 컨테이너는 2.03%로 모두 3% 미만으로 조사되어 컨테이너 종류에 따른 중량 변화가 크지 않았기 때문에 중량은 컨테이너 종류에 따라 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

3.2. 경도

PMRsupia 멜론의 경도는 모의 수송 후, 10℃에 저장하는 동안 감소하였는데, 컨테이너 종류에 따라 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 1(B)). 멜론의 경도 변화는 후숙 여부 및 품질을 판단할 수 있는 지표로서(Parveen 등, 2012), *PMRsupia* 멜론의 모의 수송 후 저장 중 경도 변화는 컨테이너 종류에 따라 다소 다른 경향을 보였다. Reefer 컨테이너에 보관한 멜론의 경도는 모의 수송 직후인 10℃ 저장 0일차에 5.18N으로 수송 전 경도 9.03N 대비 약 40% 가까이 급격히 감소하였지만, CA 컨테이너는 10℃ 저장 0일차에 7.22N으로 Reefer 컨테이너보다 2주간의 수송기간 동안 경도 유지 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 이는 2주간의 수송기간 중에도 후숙이 진행되는 것으로 판단되며, CA 컨테이너 내부의 공기 조성 조건은 수송기간 동안 *PMRsupia*의 후숙 지연에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 모의 수송 후 저장기간 중의 경도 변화에서도 CA 컨테이너는 Reefer 컨테이너보다 경도의 감소 폭이 완만한 것으로 나타났고, 저장종료일인 9일차의 경도도 CA 컨테이너는 4.84N, Reefer 컨테이너는 3.48N으로 1N 이상의 큰 차이를 보였다. 멜론의 경도와 관련해 Abu-Goukh 등(2019)은 멜론의 연화는 과육의 단단한 정도와 관련이 있으며, 멜론의 숙기에 영향을 미친다고 하였고, 이러한 경도 변화는 수확후 유통기한과 품질을 결정하는 중요한 인자라고 보고하였다. Wills와 Golding(2016)은 경도의 감소는 세포벽 다당류가 polygalacturonase(PG) 등의 효소에 의해 가용성 pectin으로 전환되어, 이는 세포벽을 약화시키고 세포를 서로 결합하게 하는 응집력을 감소시키기 때문이라고 보고하였다. 또한, Marin-Rodriguez 등(2002)은 세포벽 분해와 펙틴의 변형은 후숙 과정 중 세포벽에서 일어나는 가장 뚜렷한 변화 중 일부라고 보고하였다. *PMRsupia* 멜론은 CA 컨테이너와 같은 수송 기술을 통해 수송기간 동안 후숙이 지연되고, 판매 또는 저장기간 동안 경도가 유지되는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 가용성고형물 함량

PMRsupia 멜론의 가용성고형물 함량은 컨테이너별 모의 수송 후, 10℃에 저장하는 동안 큰 차이는 보이지 않았다(Fig. 1(C)). 가용성고형물은 멜론의 품질, 당도 및 숙기를 판정하는 척도로 오랫동안 이용됐으며, 품질과 높은 상관관계가 있다고 보고되고 있다(Lee 등, 2020). 모의 수송 후 저장기간 동안 가용성고형물 함량은 Reefer 컨테이너는 9.5-10.6 °brix, CA 컨테이너는 10.2-10.6 °brix 수준에서 유지되는 경향을 보였으며, 컨테이너 종류에 따라 수송 직후인 저장 0일차와 저장 종료 시점인 9일차에만 유의적인 차이를 보였다. 수송 직후인 저장 0일차, Reefer 컨테이너의 가용성고형물 함량은 수송 전 10.6 °brix보다 다소 증가한 10.9 °brix로 2주간의 수송기간 동안 후숙이 진행된 것으로 보이며, 0일차 이후부터는 감소하여 저장기간 동안 상품성이 유지되지 못한 것으로 보인다. 이는 관행적으로 수출 멜론의 장거리 수출 시 완숙 단계의 멜론을 수송하게 되면 수송기간 동안 과숙되어 수출대상국 현지에서 유통기한이 짧아지거나 상품성에 손실이 발생하는 것으로 우려하여 미숙한 멜론을 수확해 수출하는 것과 관련이 있는 것으로 예상된다. 멜론은 climacteric 과일로 당으로 전환될 수 있는 전분을 함유하고 있지 않아 성숙도가 높아지면서 당이 소모되는데, 이는 호흡 증가로 인한 당 대사에 기인한다고 보고되었다(Ahmed, 2009). 본 연구에서도 Reefer 컨테이너로 수송한 *PMRsupia* 멜론은 수송기간 동안 진행된 후숙으로 인해 수송 후 저장기간 동안 과숙되어 가용성고형물 함량이 감소한 것으로 판단된다. 반면, CA 컨테이너로 수송한 멜론의 가용성고형물 함량은 수송기간 및 저장기간 동안 꾸준하게 유지되었는데, 이는 CA 컨테이너 내부의 공기 조성이 멜론의 호흡을 억제하여 후숙을 지연시킨 것으로 운송 및/또는 저장용으로 사용된 CA 조건은 유통기한을 연장할 가능성이 있다는 보고(Shellie and Lester, 2004)와 유사하였다.

3.4. 색도

소비자는 일반적으로 많은 과일의 숙성 과정 중 수반되는 색상의 변화를 내부 특성과 연관시키는 것으로 알려져 있다

https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.5.822

(Obando 등, 2008). 멜론 과육의 색도 변화에서 L값(dark-light)은 수송기간 및 저장기간 동안 컨테이너에 따라 유의차 있게 차이가 있었으며, CA 컨테이너로 수송한 멜론의 L값이 Reefer 컨테이너보다 높게 유지되었다(Fig. 2(A)). a값(green-red)은 두 컨테이너 간 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났으며(Fig. 2(B)), b값(blue-yellow)은 수송 후 10℃ 저장 3일차까지는 유의적인 차이는 없었지만, 6일차부터 CA 컨테이너가 높게 유지되었다(Fig. 2(C)). 따라서 CA 컨테이너로 수송한 *PMRsupia* 멜론 과육의 색상은 수송 후 저장기간이 경과함에 따라 Reefer 컨테이너보다 색택이 밝게 유지되고, 황색이 유지되는 것으로 나타났다. 색상 항목별 변화에서 L값은 수송 전 68.11이었고, 수송 후 저장종료일인 9일차에는 Reefer 컨테이너가 65.32, CA 컨테이너가 67.29로 Reefer 컨테이너보다 높게 나타났다. a값은 수송 전 -7.45였고 수송 직후인 저장 0일차에는 Reefer 컨테이너가 -7.89, CA 컨테이너가 -7.64로 통계적

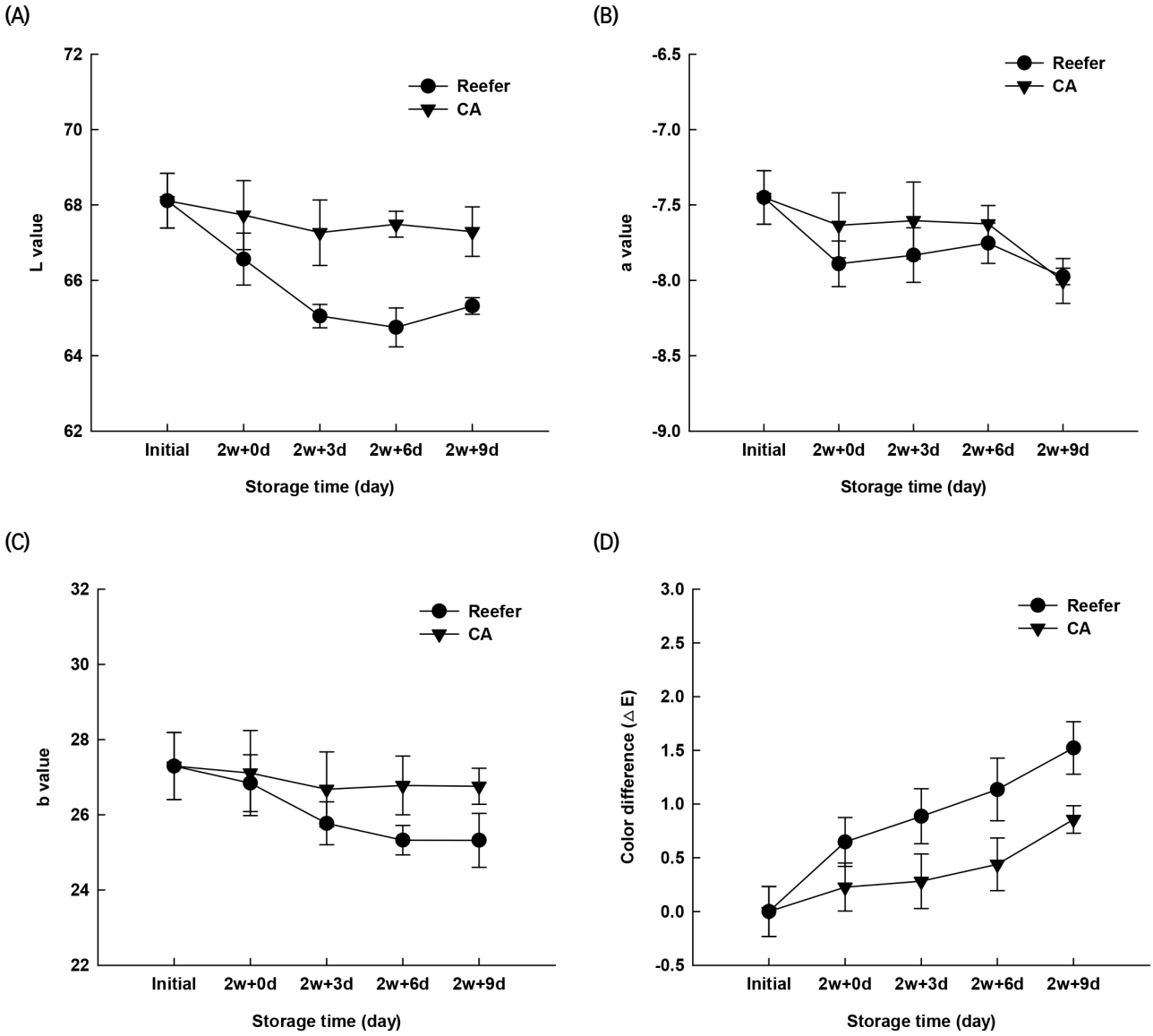

Fig. 2. Changes in Hunter L value (A), a value (B), and b value (C), and color difference (D) of *PMRsupia* melon by container type. ●, Reefer container; ▼, CA container. Values represent the mean±SD (n=10). Data represent the mean±SE of ten replicates. Some error bars are marked by the symbols.

으로 유의차는 없었지만, Reefer 컨테이너로 수송한 멜론 과육의 녹색이 수송기간 동안 더 옅어진 것으로 나타났다. b값은 수송 전 27.30이었고 수송 후 저장종료일인 9일차에는 Reefer 컨테이너가 25.32, CA 컨테이너가 26.76으로 CA 컨테이너가 Reefer 컨테이너보다 높게 유지되는 것으로 보아 황색을 유지하는 기간이 긴 것으로 판단된다. 전체 색 변화를 나타내는 색차 △E값의 경우, 수송 후 저장기간이 경과함에 따라 증가하였으며(Fig. 2(D)), CA 컨테이너 수송 후 저장 9일차의 △E값은 0.86으로 Reefer 컨테이너보다 낮았다. 멜론의 색 변화는 전반적으로 저장기간이 길수록 증가하는 경향을 보였으며, CA 컨테이너가 Reefer 컨테이너보다 색 변화 정도가 적은 것으로 나타났다.

3.5. 호흡률 및 에틸렌 발생량

원예작물에서 호흡은 수확후 발생하는 중요한 대사 작용으로(Kader, 2002), 멜론의 호흡률 및 에틸렌 발생량 증가는 숙성 과정과 관련이 있다고 알려져 있다(Portela와 Cantwell, 1998). *PMRsupia* 멜론의 호흡률은 컨테이너 종류에 따라 유의적인 차이를 보였다(Fig. 3(A)). CA 컨테이너로 수송한 멜론의 호흡률은 수송 전 11.13 mg CO_2/kg/h에서 수송 후 저장 0일차에 17.37 mg CO_2/kg/h으로 증가한 것으로 나타났으며, 반대로 Reefer 컨테이너는 수송 전보다 감소한 5.08 mg CO_2/kg/h로 수송기간 동안 호흡이 감소한 것으로 조사되었다. 이는 수송기간 동안 컨테이너 내부의 공기 조건에 영향을 받은 것으로 판단되며, CA 컨테이너로 수송한 멜론은 수송기간 동안 호흡이 억제된 상태에서 수송기간이 끝난 후 저장고로 옮겨오면서 호흡이 일시적으로 급등한 것으로 보인다. 저장기간 중의 호흡률 변화를 살펴보면 CA 컨테이너로 수송한 멜론은 5.65-7.12 mg CO_2/kg/h으로 Reefer 컨테이너로 수송한 멜론보다 낮은 호흡률을 보여 CA 컨테이너로 수송한 멜론의 가용성고형물 함량이 유지되는 것과도 연관이 있는 것으로 판단된다. *PMRsupia* 멜론의 에틸렌 발생량도 호흡량 결과와 유사한 경향을 보였다(Fig. 3(B)). CA 컨테이너와 Reefer 컨테이너로 수송한 멜론 모두, 에틸렌 발생량은 2주간의 수송기간 동안 감소한 것으로 나타났다. 하지만 10℃ 저장고로 옮긴 후부터 유의적인 차이를 보였는데, 저장기간 동안 Reefer 컨테이너로 수송한 멜론이 CA 컨테이너로 수송한 멜론보다 에틸렌 발생량이 높은 것으로 나타났다. 호흡률과 에틸렌 발생량은 가용성고형물 함량, 경도와도 연관이 있는 것으로 보고된 바 있다. Youn 등(2011)은 멜론의 호흡률은 저장성과 밀접한 관계가 있다고 하였고, Watada 등(1996)은 CA 조건보다 일반 대기 조건에 저장된 멜론의 호흡률이 더 높다고 보고하였다. 또한, CA 조건은 호흡률과 에틸렌 발생량

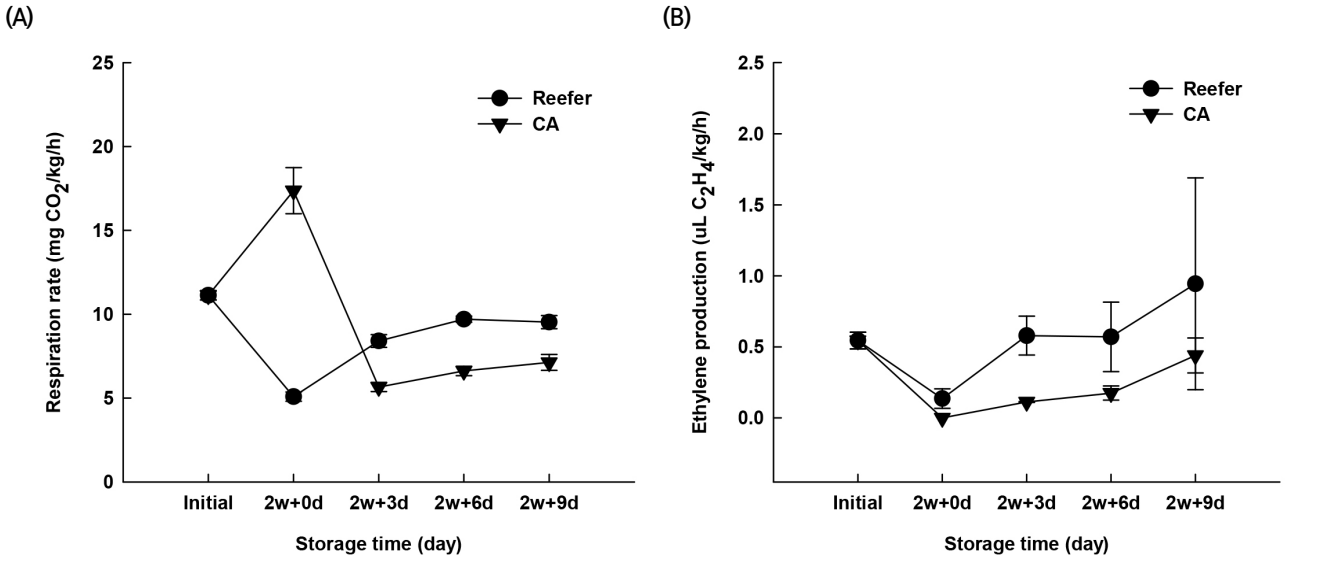

Fig. 3. **Changes in respiration rate (A) and ethylene production (B) of *PMRsupia* melon by container type.** ●, Reefer container; ▼, CA container. Values represent the mean±SD (n=5). Data represent the mean±SE of five replicates. Some error bars are marked by the symbols.

https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.5.822

을 감소시켜 연화 억제, 가용성고형물 함량 감소, 미생물 감소에도 영향을 미쳐 선도유지에 효과적이라고 하였다(Aguayo 등, 2007).

3.6. 부패율

멜론의 외관과 내부 과육은 저장기간이 경과함에 따라 부패와 물러짐 등 품질 저하 현상이 나타난다(Lee 등, 2020). CA 컨테이너의 공기 조성이 수송기간 및 저장기간 중 멜론의 부패 억제에 미치는 효과를 구명하기 위해 멜론에서 발생하는 *Penicillium oxalicum* 포자현탁액을 접종한 것과 접종하지 않은 멜론은 대상으로 부패율을 조사하였다(Table 1). 먼저 접종하지 않은 멜론에서는 수송 후 저장 9일차에 Reefer 컨테이너는 20%, CA 컨테이너는 5%의 부패율을 나타내었다. 접종한 멜론에서는 수송 후 저장 3일차부터 부패가 발생하기 시작하였는데, Reefer 컨테이너와 CA 컨테이너 모두 10%의 부패율을 나타내었지만 6일차에는 각각 40%, 30%, 9일차에는 Reefer 컨테이너는 전량 부패하였고 CA 컨테이너는 75% 부패하였지만, 부패 증상은 Reefer 컨테이너에 비해 약하게 나타났다. Reefer 컨테이너에서의 부패 증상은 과피 물러짐, 꼭지 곰팡이 발생, 접종부위 하부 과육 검은 반점 등 다양한 증상이 동반된 것으로 나타났다. Lim 등(2010)은 부패와 관련된 균이 과실 온도와 외부 습도가 높을 때 미생물의 침입이 쉬워 빠르게 부패하는 것으로 보고하였으며, 이는 본 연구에서 컨테이너별 온습도 모니터링 결과(Fig. 4)에 따라 Reefer 컨테이너의 상대 습도가 CA 컨테이너보다 높았던 요인도 부패율 차이에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 Portela와 Cantwell(1998)은 일반 공기에 저장된 멜론은 부패로 인해 상품성 손실이 컸다고 보고하였고, Madrid와 Cantwell(1993)은 15% CO_2 조건은 부패와 과육의 반투명도 정도를 줄여 멜론의 선도유지에 효과적이었다고 보고하였는데 이는 본 연구 결과와 유사하였다.

Table 1. Changes in decay rate of *PMRsupia* melons by spoilage inoculation treatment and container type

	Treatment		Storage time (day)				
			Initial	2w+0	2w+3	2w+6	2w+9
Decay rate (%)	Non-inoculated	Reefer	0.00±0.00$^{Ab1)}$	0.00±0.00^{Ab}	0.00±0.00^{Ab}	0.00±0.00^{Ab}	20.00±0.40^{Aa}
		CA	0.00±0.00^{Ab}	0.00±0.00^{Ab}	0.00±0.00^{Ab}	0.00±0.00^{Ab}	5.00±0.40^{Ba}
	Inoculated	Reefer	0.00±0.00^{Ac}	0.00±0.00^{Ac}	10.00±0.49^{Ac}	40.00±0.80^{Ab}	100.00±0.00^{Aa}
		CA	0.00±0.00^{Ac}	0.00±0.00^{Ac}	10.00±0.80^{Abc}	30.00±0.75^{Ab}	75.00±0.63^{Ba}

[1)]Mean±SD (n=40) with the same uppercase letter vertically and the same lowercase letter horizontally for each parameter do not differ significantly ($p<0.5$). Statistical analysis of vertical data was performed separately for non-inoculated and inoculated treatments.

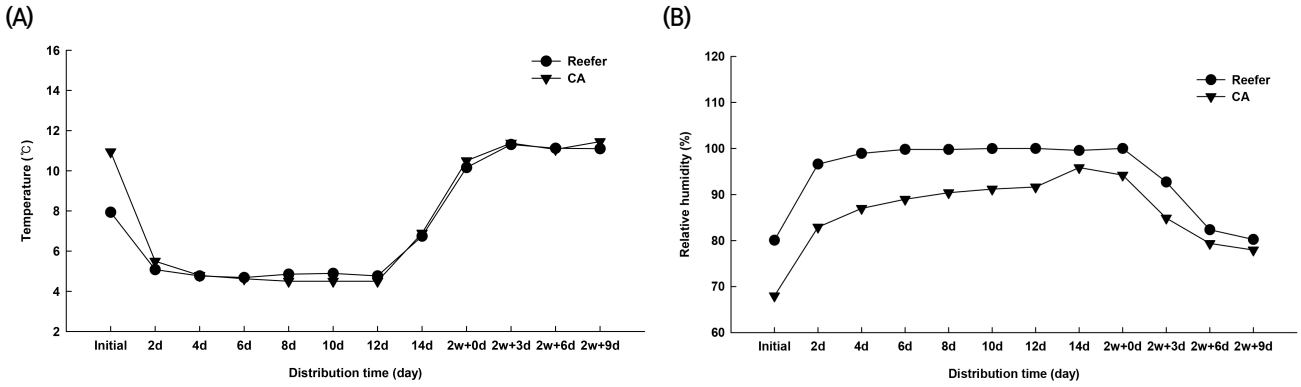

Fig. 4. Temperature (A) and relative humidity (B) during export and storage by CA and Reefer container. Data were collected using a data logger inside the box.

4. 요약

본 연구에서는 수출 멜론의 선도유지를 위하여 컨테이너 종류별 모의 수송 후 저장기간 동안의 품질변화를 분석하여 CA 컨테이너의 효과를 구명하고자 수행하였다. 멜론은 전남 영암군에서 재배된 멜론을 수확 후, Reefer 컨테이너와 CA 컨테이너로 나눠 수송하였고, CA 컨테이너의 환경조건은 온도 4℃, O_2 5%, CO_2 12%, Reefer 컨테이너는 4℃로 설정하였다. 2주간의 모의 수송이 끝난 후 수출대상국 현지에서의 판매 조건인 10℃에 저장하면서 생체중 감소율, 가용성 고형물 함량, 경도, 색도, 호흡률, 에틸렌 발생량 및 부패율 등을 조사하였다. 또한, CA 컨테이너 환경조건이 멜론에서 발생하는 *Penicillium oxalicum* 균의 억제 효과를 구명하기 위해 포자현탁액을 접종하여 부패 억제 효과를 분석하였다. 생체중 감소율은 수송 2주 후 0, 3, 6일 차에는 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았지만, 9일차에 CA 컨테이너 처리구의 중량감소가 적었다. 경도는 Reefer 컨테이너 처리구가 모의 수송 직후 5.18N으로 급격하게 낮아졌으며 유통기간 동안 CA 컨테이너 처리구의 경도가 높게 유지되었다. 가용성 고형물 함량은 Reefer 컨테이너 처리구에서 모의 수송 직후인 0일차에 10.9 °brix로 CA 컨테이너 처리구보다 높게 나타난 후 이후부터는 꾸준하게 감소하였지만, CA 컨테이너 처리구는 모의 수송 및 저장기간 중 큰 변화는 없었다. 과육의 색 변화 정도를 나타내는 △E는 Reefer 컨테이너 처리구가 수송 후 저장기간이 길어질수록 증가하였고, CA 컨테이너 처리구는 Reefer 컨테이너 처리구보다 낮게 유지되었다. 부패율은 미생물을 접종하지 않은 시험 처리구에서 Reefer 컨테이너는 20%, CA 컨테이너에서는 5% 정도 부패가 발생하였고, 미생물을 접종한 시험 처리구에서는 Reefer 컨테이너는 100%, CA 컨테이너에서는 75% 정도 부패가 발생하였다. 따라서 멜론은 수확후 CA 컨테이너로 수송하여 유통 또는 저장하는 것이 품질 및 선도유지에 효과적이라 판단된다.

Acknowledgements

This research was funded by the “Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2022-RD010414) and 2023 the RDA Fellowship Program of NIHHS, Rural Development Administration, Republic of Korea.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Lee JH. Methodology: Chang MS, Eum HL, Lim S, Yun YE, Choi HR. Formal analysis: Park P, Cho JH, Park MH, Choi JW. Validation: Hong Y. Writing - original draft: Yang H. Writing - review & editing: Yang H, Lee JH.

Ethics approval

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

ORCID

Haejo Yang (First author)
https://orcid.org/0000-0002-1903-3799
Min-Sun Chang
https://orcid.org/0000-0002-3079-8338
Puehee Park
https://orcid.org/0000-0002-4892-171X
Hyang Lan Eum
https://orcid.org/0000-0002-8523-6682
Jae-Han Cho
https://orcid.org/0009-0009-3830-1881
Ji Weon Choi
https://orcid.org/0000-0003-1929-4697
Sooyeon Lim
https://orcid.org/0000-0002-8929-3377
Yeo Eun Yun
https://orcid.org/0000-0003-0153-9430
Han Ryul Choi
https://orcid.org/0000-0001-7941-6428
Me-Hea Park
https://orcid.org/0000-0003-3123-6318

https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.5.822

Yoonpyo Hong
https://orcid.org/0000-0002-8514-7401
Ji Hyun Lee (Corresponding author)
https://orcid.org/0000-0002-9139-5444

References

Abu-Goukh ABA, Elhassan SY. Changes in pectic substances and cell wall degrading enzymes during muskmelon fruit ripening. U of K J Agric Sci, 25, 73-93 (2019)

Aguayo E, Escalona VH, Artes F. Quality of minimally processed *Cucumis melo* var. saccharinus as improved by controlled atmosphere. Eurp J Hort Sci, 72, 39-45 (2007)

Ahmed OK. Evaluation of objective maturity indices for Muskmelon (*Cucumis melo*) cv. "Galia". Science, 21, 317-326 (2009)

Carvalho RL, Cabral MF, Germano TA, de Carvalho WM, Brasil IM, Gallao MI, Moura CFH, Lopes MMA, de Miranda MRA. Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidand metabolism of fresh-cut melon. Postharvest Biol Technol, 113, 29-39 (2016)

Cha HS, Lee SA, Kwon KH, Kim BS, Choi DJ, Youn AR. Effects of initial storage temperature of a PA film-packaged muskmelon (*Cucumis melo* L) during its storage. Korean J Food Preserv, 20, 14-22 (2013)

Fahmy K, Nakano K. Effective transport and storage condition for preserving the quality of 'Jiro' persimmon in export market. Agric Agric Sci Procedia, 9, 279-290 (2016)

Gross K, Wang C, Saltveit M. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. In: Agricultural Handbook, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, p 66 (2018)

Ikegaya A, Yamazaki S, Yamaga I, Kosugi T, Toyoizumi T, Nagafuji A, Arai E. Controlled atmosphere maintains the quality of certain fresh produce in mixed cargo shipments. J Food Process Eng, 46, e14297 (2023)

Kader AA. Postharvest biology and technology: An overview. In: Kader AA (Editor), 3rd ed, Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Agriculture and Natural Resources, Pub. 3311, Oakland, CA, USA, p 39-47 (2002)

Kim BS, Kim JY, Lee HO, Yoon DH, Cha HS, Kwon KH. Quality changes of muskmelon (*Cucumis melo* L.) by maturity during distribution. Kor J Hortic Sci Technol, 28, 423-428 (2010)

Kim JY, Kwon KH, Gu KK, Kim BS. Selection of quality indicator to determine the freshness of muskmelon (*Cucumis melo* L.) during distribution. Korean J Food Preserv, 18, 824-829 (2011)

Lee JS, Chang MS, Jeong CS. Changes in quality factors of 'Honey One' melon during storage at different temperature. Kor J Hortic Sci Technol, 38, 249-262 (2020)

Madrid M, Cantwell M. Use of high CO_2 atmosphere to maintain quality of intact and fresh-cut melon. In: Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, NY, USA, p 736-745 (1993)

Marin-Rodriguez MC, Orchard J, Seymour GB. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. J Exp Bot, 53, 2115-2119 (2002)

Nippon Yusen Kabushiki Kaisha. NYK spark book. Available from: https://www.nyk.com/english/ir/pdf/2016_sparkbook_all.pdf. Accessed Dec. 1, 2020.

Obando J, Fernandez-Trujillo JP, Martinez JA, Alarcon AL, Eduardo I, Arus P, Monforte AJ. Identification of melon fruit quality quantitative

trait loci using near-isogenic lines. J Amer Soc Hort Sci, 133, 139-151 (2008)

Pace B, Cefola M, Logrieco AF, Sciscio B, Sacchetti A, Siliberti M, Laforgia P, Amodio A, Calderoni G, Garavelli CA, Amodio ML, Colelli G. Shipping container equipped with controlled atmosphere: Case study on table grape. JAE, 51, 1-8 (2020)

Paniagua AC, East AR, Heyes JA. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes. Postharvest Biol Technol, 95, 50-59 (2014)

Parveen S, Azhar Ali M, Asghar M, Rahim Khan A, Salam A. Physico-chemical changes in muskmelon (*Cucumis melo* L.) as affected by harvest maturity stage. J Agric Res, 50, 249-260 (2012)

Portela SI, Cantwell MI. Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere. Postharvest Biol Technol, 14, 351-357 (1998)

Shellie KC, Lester G. Netted Melons. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables and Florist and Nursery Stocks. USDA-ARS, Agricultural Handbook, p 66 (2004)

Watada AE, Ko NP, Minott DA. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. Postharvest Biol Technol, 9, 115-125 (1996)

Wills RBH, Golding JB. Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. 6th ed, CABI (CAB International), Nosworthy, Wallingford, Oxfordshire OX10 8DE, UK, p 293 (2016)

Youn AR, Noh BS, Kwon KH, Kim SH, Kim BS, Cha HS. Physicochemical properties and respiration rate of four different varieties muskmelons (*Cucumis melo* L.) cultivated in Korea. J Korean Soc Food Sci Nutr, 40, 717-724 (2011)

Yuan L, Bi Y, Ge Y, Wang Y, Liu Y, Li G. Postharvest hot water dipping reduces decay by inducing disease resistance and maintaining firmness in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruit. Sci Hortic, 161, 101-110 (2013)

https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.5.822