

## 씨없는 수박의 적정 저장온도 및 MA 필름 포장 효과 구명

조미애<sup>1</sup> · 이한나<sup>2</sup> · 정주형<sup>3</sup> · 김신백<sup>4</sup> · 임희택<sup>5</sup> · 박미향<sup>5</sup> · 임은화<sup>5</sup> · 홍윤표<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>세종그룹 CXL 바이오센터

<sup>2</sup>단국대학교 농생명자원학과

<sup>3</sup>전북특별자치도농업기술원 과채류연구소

<sup>4</sup>㈜디타스

<sup>5</sup>한국농식품유통품질관리협회

<sup>6</sup>㈜마켓바이오

## Comparison of Storage Temperatures and Effects of Modified Atmosphere Film Packaging on the Postharvest Quality of Seedless Watermelon

MiAe Cho<sup>1</sup>, Hanna Lee<sup>2</sup>, Ju-Hyung Jeong<sup>3</sup>, Sinbad Kim<sup>4</sup>, Heui-Taek Lim<sup>5</sup>, Mi-Hyang Park<sup>5</sup>, Eun-Hwa Lim<sup>5</sup>, and Yoonpyo Hong<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>CXL Bio Center, Sejung Group, Chungju city, 28220, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental and Resource Economics, Dankook University Cheonan Campus, Cheonan city, 31116, Republic of Korea

<sup>3</sup>Fruit and Vegetables Research Institute, Jeonbuk State A.R.E.S, Gochang-gun, 56469, Republic of Korea

<sup>4</sup>DTAAS Co. Ltd., Seoul city 06735, Republic of Korea

<sup>5</sup>Korea Agri-food Quality Management Association Suwon city, 16432, Republic of Korea

<sup>6</sup>MarketBio Co. Ltd., Goesan-gun 28001, Republic of Korea

**Abstract** This study aimed to investigate the quality changes of seedless watermelon during storage to determine the optimal storage temperature and to identify suitable plastic films for extending shelf life to promote exportation. Seeded watermelon (cv. Dangdanghan) and seedless watermelon (cv. Seedless) were stored at 2, 4, 10, and 25°C under 85-90% relative humidity for up to 40 days, and changes in weight loss, firmness, stem-end browning, water-soaking symptoms, and freshness index were evaluated. As the storage temperature increased, quality deterioration progressed more rapidly, and water-soaking and softening occurred earlier at temperatures above 10°C. In contrast, storage at 4°C resulted in the slowest decline in firmness and water-soaking symptoms, maintaining marketable quality for up to 40 days. However, chilling injury occurred at 2°C, leading to an increased water-soaking index. Therefore, 4°C was determined to be the optimal storage temperature for seedless watermelon. To extend shelf life, the seedless cultivars ‘Seedless’ and ‘1%’ were packaged with various plastic films. The functional film containing zeolite and perlite effectively suppressed water-soaking symptoms and reduced firmness loss compared to the control. Although the specific mechanism through which the functional film interacts with watermelon tissue to produce these improvements remains unclear, it effectively delayed overall quality deterioration. This outcome indicates that the film has practical potential for long-term storage and distribution of seedless watermelons, particularly for export-oriented supply chains.

**Keywords** seedless watermelon, storage temperature, film packaging, water-soaking, freshness index

## 서론

\*Corresponding Author: Yoonpyo Hong  
DTAAS Co. Ltd., Seoul city 06735, Republic of Korea  
Tel: +82-10-3327-6124  
E-mail: hongyp0113@naver.com

수박(*Citrullus lanatus*(Thunb.) Matsum. Et Nakai)은 박과(Cucurbitaceae) 채소의 대표적인 과채에 속한다. 수박은

씨가 있는 품종과 씨가 없는 품종으로 나눌 수 있으며, 최근에는 소비자의 편의성을 중시하는 경향에 따라 씨 없는 수박의 재배 면적은 2010년 130ha에서 2024년 930ha로 약 7배 정도 증가하였다. 2022년에 개정된 한국의 농산물 표준규격에서는 ‘씨 없는 수박’을 4등분 단면에서 보이는 씨가 7개 이하인 것으로 정의하고 있으며, 이와 같은 기준은 씨 없는 수박이 국내의 유통 시장에서 독립적인 품목으로 자리 잡고 있음을 보여준다.

저장온도와 관련하여, 수박은 10-15°C 범위에서 약 2-3주간 품질이 유지되며<sup>1,2)</sup>, 10°C 또는 7°C 이하에서는 과피와 과육에서의 수침현상(water soaking), 갈변, 연화, 과육 색소 감소, 상온 전환 시 부패 증가 등의 저온장해가 발생할 수 있다고 알려져 있다<sup>1,3,4)</sup>.

씨 없는 수박은 씨 있는 수박과 비교하여 수확 후 생리적 변화와 저장 특성에서 차이를 보인다. 여러 연구에서 씨 있는 수박은 저장 중 무게 및 수분 손실, 총용해성 고형물(SSC) 감소, 경도 저하, 색도 변화 등에 더 민감하게 반응하여 저장성 측면에서 상대적으로 불리하다고 알려져 있으나<sup>4,6)</sup>, 씨 없는 수박의 수확 후 관리에 대한 연구는 다른 과채류에 비해 매우 제한적이며, 보고된 저장온도들도 매우 다양하다.

Yau 등<sup>7)</sup>은 씨없는 수박을 28°C, 70-80% RH 조건에서 저장한 결과, 최적 섭취 품질은 수확 후 1주일 이내였으며, 최대 2주까지 보관이 가능하다고 하였다. Saftner 등<sup>4)</sup>은 씨 없는 수박(cv. ‘Sugar Heart’)을 12°C에서 저장한 후 절단하여 5°C에서 보관하였을 때, 절단 과실의 저장수명이 약 12일에 불과하였으며, 1-MCP 및 ethylene 처리는 품질 저하를 유의하게 개선하지 못한다고 보고하였다. Maimunah Mohd Ali 등<sup>8)</sup>은 씨없는 수박을 10°C, 85% RH 조건에서 21일간 저장한 결과, 저장 기간 동안 과육의 채도(C) 값과 색차(ΔE)가 뚜렷하게 증가한다고 하였다. 이어 동일한 조건에서 씨없는 수박을 저장한 결과, 무게 손실, 총용해성 고형물(SSC) 감소, 경도 저하가 뚜렷하게 나타났으며, 씨 있는 수박보다 품질 저하 속도가 더 빠르다고 보고하였다<sup>9)</sup>. 최근 Jeong 등<sup>6)</sup>은 씨없는 수박(cv. ‘Seedless Plus’)을 5°C, 10°C, 20°C 조건에서 2-4주간 저장하여 품질을 비교한 결과, 5°C에서 아삭한 식감과 외관 품질이 가장 잘 유지되었다고 보고하였다.

최근 신선 농산물의 선박 수출 수요가 증가하고 있으나, 씨없는 수박은 장기 저장과 유통 과정에서 수침현상, 연화, 꼭지마름 등 품질 저하가 빠르게 진행되어 원거리 수출 확대에 제약이 되고 있다. 2023년 수박 수출량은 약 806톤이며, 주요 수출 대상국도 일본, 홍콩 등 인접국가에 한정되어 있는 점이 이를 반영한다. 수박의 저장성 연장을 위해 에틸렌 작용 억제제(1-MCP) 처리<sup>3)</sup>가 보고되었으나, 씨없는 수박의 장기간 유통에 필요한 안정성을 확보하기에는 한계가 있었고<sup>4,7)</sup>, 포장 기술을 이용한 장기 저장성 개선 효과

또한 충분히 검증되지 않았다.

따라서 본 연구는 씨없는 수박의 저장 중 품질변화를 온도별로 비교하여 적정 저장온도를 구명하고, 다양한 플라스틱 필름 포장재를 적용하여 저장성 연장에 적합한 필름 유형을 평가하고자 하였다. 본 연구 결과는 씨없는 수박의 장기 저장 및 해상 수송 시 품질 관리 전략에 필요한 기초자료로 활용될 수 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료 및 방법

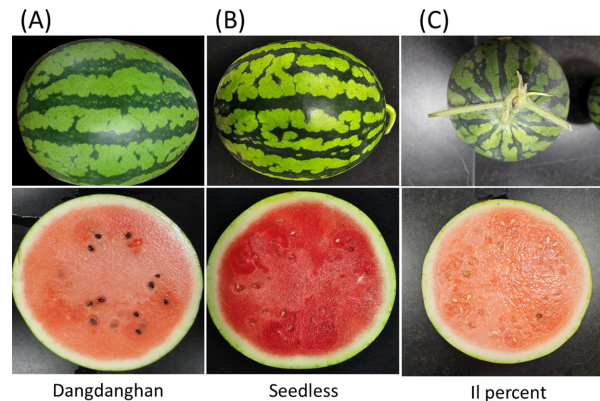
#### 1.1. 적정 저장온도 구명

실험 재료로는 2024년 충청북도 음성군 금왕 지역에서 생산된 적숙기의 수박을 사용하였다. 씨없는 수박품종으로 ‘씨드리스’(NH Nongwoo Bio Co., Ltd., Korea)를, 씨있는 수박 품종으로 ‘당당한’(Farm Hannong Co., Ltd., Korea)을 대조구로 사용하였다(Fig. 1). 두 품종 모두 평균과중은 7-8 kg, 평균 당도는 11-12°Bx 범위의 것을 비파괴 선별하여 사용하였다.

수박꼭지는 부착한 상태로 저장하였으며, 저장 온도는 2°C, 4°C, 10°C 및 실온(약 25°C)의 네 조건으로 설정하였다. 수박은 윗면이 뚫린 골판지 상자(430 × 350 × 340 mm, 바닥에 완충 골판지 삽입)에 한 통씩 넣어 팔레트 단위로 적재하여 저장하였다. 저장 기간 동안 저장고 내 상대습도는 85-90% 수준으로 유지하였다. 저장 기간은 최대 40일까지 두었으며, 일주일 간격으로 품질 평가를 수행하였다. 평가 항목으로는 중량감소율, 경도, 꼭지마름 정도, 부패율, 수침현상(water-soaking) 발생정도 및 신선도 지수를 포함하였다.

#### 1.2. 플라스틱 필름 처리 및 효과 검증

씨없는 수박 품종의 선박 수출 시 유통 기한 연장을 위하여, 2024년 충청북도 음성군 금왕 지역에서 재배된 씨없

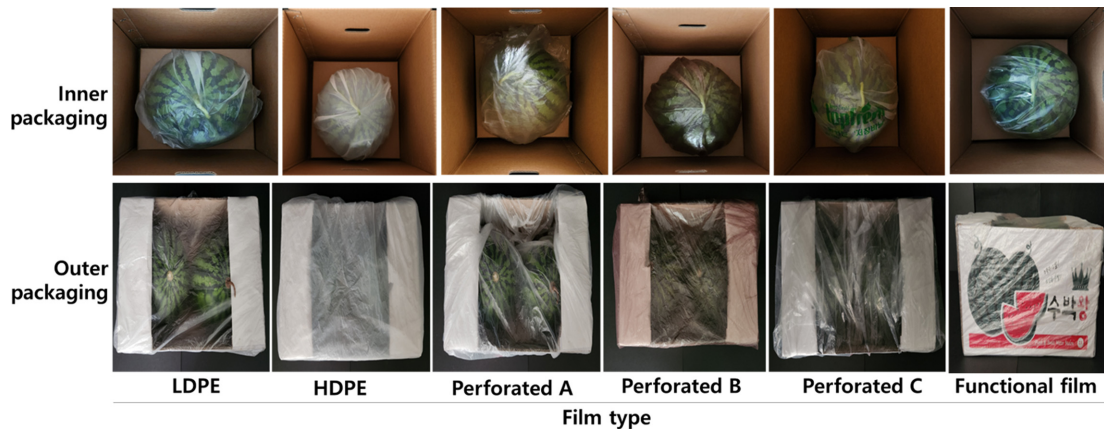


**Fig. 1.** External and internal morphology of the seeded watermelon ‘Dangdanghan’ (control) and the seedless cultivar ‘Seedless’ and ‘il percent’ used in the experiment.

**Table 1.** Packaging treatments and film characteristics for seedless watermelon

No.	Treated film type	Thickness (μm)	Oxygen transmission (OTR)	Micro perforation	Basic material composition
1	Control (non-packaging)	-	-	-	-
2	LDPE	30	9,000	×	LDPE
3	HDPE	20	7,000	×	HDPE
4	Perforated A	35	12,000	○	LDPE + Nylon multilayer film, perforation rate 2.5%
5	Perforated B	25	7,000	○	LDPE + Nylon multilayer film, perforation rate 3%
6	Perforated C	30	6,000	○	LDPE + Nylon multilayer film, perforation rate 4%
7	Functional film(prototype)	35	8,000	×	LDPE + mixture of perlite and zeolite

Film size : 1,100×1,000mm



**Fig. 2.** Packaging treatments of seedless watermelon using six types of plastic films (LDPE, HDPE, perforated A, perforated B, perforated C, and functional prototype film with PGT+ETZ), applied as inner or outer packaging in corrugated boxes.

는 수박 품종 ‘씨드리스’와 ‘일퍼센트’(스마일에프앤드㈜전 유신, 한국)를 적숙기에 수확하여 비파괴선별기로 평균 과 중과 평균당도가 각각 7-8 kg, 11-12°Bx이며, 결점과가 없는 것을 선별하여 실험에 사용하였다. 수확한 수박을 6종의 플라스틱 필름(LDPE, HDPE, 유공 A, 유공 B, 유공 C 및 PGT+ETZ 물질이 혼합된 기능성 시작품 필름)으로 수박 개별 골판지박스(430 × 350 × 340 mm, 바닥에 완충 골판지 삽입)에 외포장 및 내포장하였다(Table 1, Fig. 2). 외포장 또는 내포장 시 플라스틱 필름의 끝부분을 완전히 겹쳐 덮되 밀폐하지 않은 상태로 포장하였다. 대조구로는 필름 포장하지 않은 처리구를 두었다. 포장한 씨없는 수박을 적정 저장온도로 구멍된 4°C에서 40일간 저장하면서 10일 간격으로 품질 특성을 조사하였다. 저장 기간 동안 저장고 내 상대습도는 85-90% 수준으로 유지하였다. 품질 평가 항목으로는 경도와 수침현상 발생 정도를 조사하였다.

1.3. 품질 특성 조사

1.3.1. 중량감소율

저장기간의 수분 손실 정도를 확인하기 위하여 각 처리구의 저장 전 초기 중량과 저장 후 측정 중량을 정밀 저울로 측정하여 백분율로 환산하여 나타내었다.

1.3.2. 경도

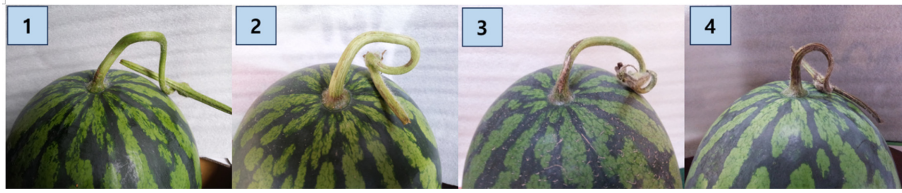
경도는 총가용성고형물 함량 측정을 위해 절취한 동일 디스크에서 중간 부위를 이용하였다. 각 디스크에서 상부와 하부 두 지점을 선정하여 텍스처 분석기(Texture Analyzer, TA-XT2i, Stable Micro Systems, UK)에 5 mm probe를 장착하고 2 mm/s 속도로 압입하여 측정하였다. 각 지점의 측정값을 평균하여 N 단위로 표시하였다.

1.3.3. 썩지마름 정도

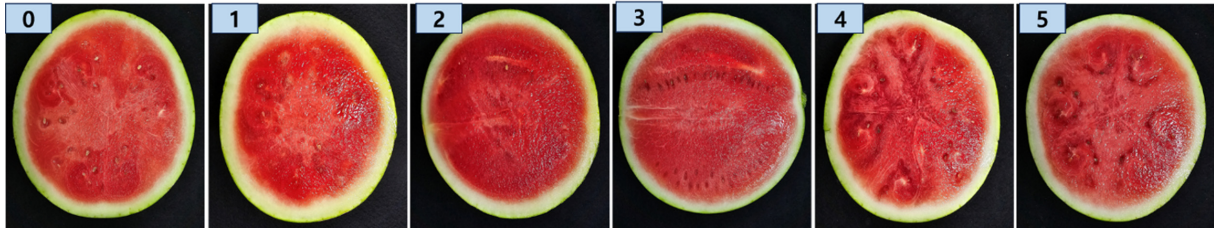
썩지마름 정도는 저장 중 썩지 부위의 변색 및 건조 상태를 육안으로 관찰하여 평가하였다. 평가는 4단계 척도로 구분하였으며, 1은 아주 양호(시들음 및 갈변 없음), 2는 양호(약간의 시들음과 갈변 시작), 3은 불량(썩지의 약 1/2 정도 갈변), 4는 아주 불량(완전히 시들 및 갈변)으로 정의하였다(Fig. 3). 각 저장 조건과 저장 경과일수별 평가 결과를 평균하여 분석에 사용하였다.

1.3.4. 부패율

부패율은 저장 중 곰팡이 발생, 연부병, 변색 등의 부패 증상을 보인 과실의 개수를 조사하여 전체 시료 대비 비율(%)로 산출하였다.



**Fig. 3.** Scoring scale for peduncle wilting index of watermelon during storage: 1 = very good(no wilting), 2 = good(slight wilting with initial browning), 3 = poor(approximately 1/2 of the peduncle browning), and 4 = very poor(completely wilted).



**Fig. 4.** Scoring scale for water-soaking index of watermelon flesh during storage: 0 = none, 1 = trace, 2 = slight (<10%), 3 = moderate (<30%), 4 = severe (<50%), and 5 = very severe (≥50%).

#### 1.3.5. 수침현상(water-soaking) 발생 정도

수침현상은 과피 표면에 나타나는 수분 침투 부위를 육안으로 관찰하여 평가하였다. 수침 부위의 면적 비율에 따라 6단계로 구분하였으며, 0은 없음, 1은 아주 적음, 2는 10% 이내의 적음, 3은 30% 미만의 보통, 4는 50% 미만의 많음, 5는 50% 이상의 아주 많음으로 정의하였다(Fig. 4). 각 저장 조건과 경과일수별 평가 결과를 평균하여 분석에 사용하였다.

#### 1.3.6. 신선도 지수

신선도 지수는 외관(appearance), 식감(texture), 풍미(flavor) 세 항목을 종합적으로 평가하였다. 외관은 과피 및 과육의 변색, 탈수, 곰팡이 발생 등 시각적 품질 변화를, 식감은 과육의 경도, 수분 유지력, 조직감의 탄력성을, 풍미는 당도 저하, 발효취 및 이취 발생 여부, 신선한 향의 유지 정도를 평가 기준으로 삼았다. 신선도 지수는 5점 척도(5: 매우 우수, 4: 우수, 3: 보통, 2: 불량, 1: 매우 불량)로 평가하였다. 이 결과는 소비자가 수박을 구매할 의향을 나타내는 시각적 구매의향으로 간주하여, 저장 중 외관 품질의 소비자 수용 가능성을 간접적으로 추정할 수 있다. 본 지수는 Mehrweg 등<sup>10)</sup>의 척도를 기초로 하여 수박의 저장 특성에 맞게 수정, 보완한 정량적 평가 지표로, 저장 중 품질 변화를 종합적으로 반영하기 위한 보조 지표로 활용하였다. 다만, 본 연구는 실험실 규모의 저장시험에 국한되어 표준화된 관능검사 프로토콜(KS H ISO 8586)을 완전히 적용하지 못한 한계를 가진다.

#### 1.4. 통계분석

본 실험은 완전임의배치로 3반복으로 수행하였다. 모든

측정값은 처리 또는 처리×저장기간 조합별 평균 ± 표준편차로 제시하였다. 처리 간 평균 비교는 덩킨 다중범위검정(Duncan's multiple range test,  $\alpha=0.05$ )으로 수행하여 유의차를 판정하였다. 통계 분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 적정 저장온도 구명

#### 1.1. 저장 기간 동안의 중량감소율

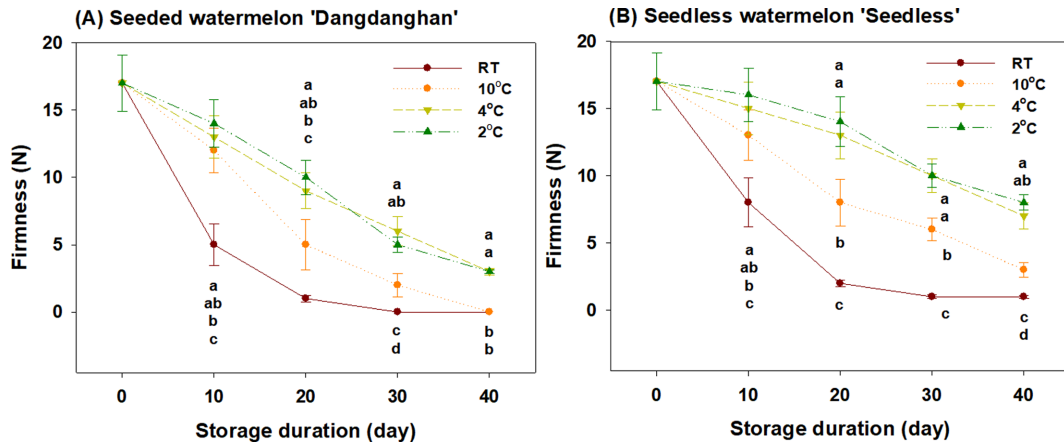
저장 말기 수박의 중량감소율은 실온 저장 구에서 약 5% 이내, 2°C, 4°C 및 10°C의 저온 처리구에서는 2% 이하의 중량감소가 발생하였다(데이터 미제시). 5% 이하의 중량감소 상태에서 수박 과일의 표피는 위조가 발생하지 않은 상태로 겉보기 품질은 양호한 상태였다.

#### 1.2. 저장온도에 따른 경도 변화

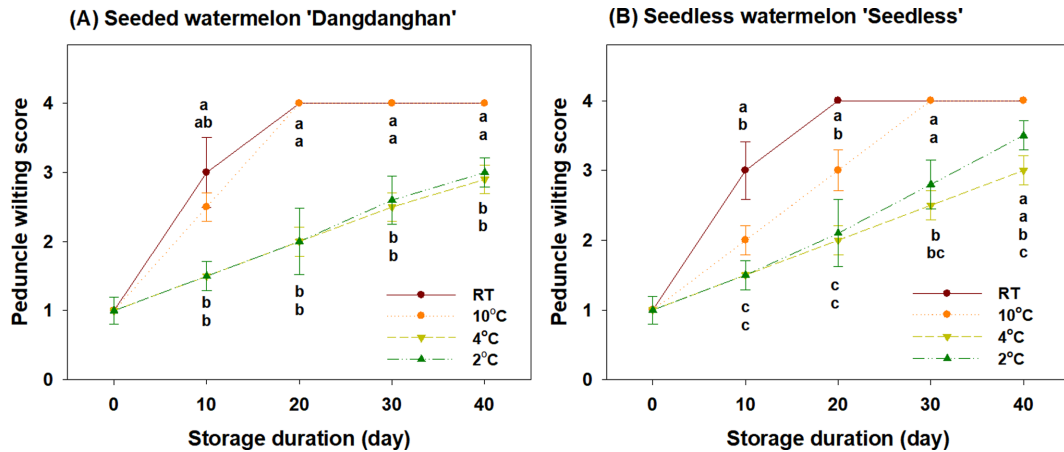
수박의 경도는 모든 처리구에서 저장기간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5). 상온(RT) 저장에서는 씨있는 수박과 씨없는 수박 모두 저장 10일 이후 급격한 연화가 나타났으며, 30일 이후에는 경도가 거의 유지되지 않은 상태였다. 저온 저장에서는 경도 저하가 상대적으로 완만하게 진행되었으며, 특히 2°C와 4°C 처리구에서 가장 높은 경도가 유지되었다. 씨없는 수박은 동일한 조건에서 씨있는 수박보다 경도 감소 속도가 더 느리게 진행되어 저장성 측면에서 상대적으로 유리함이 확인되었다.

#### 1.3. 저장온도에 따른 꼭지마름 지수 변화

꼭지마름지수(peduncle wilting score)는 저장기간이 길어



**Fig. 5.** Changes in firmness of watermelon during storage at different temperatures: (A) seeded watermelon (cv. Dangdanghan) and (B) seedless watermelon (cv. Seedless). All values are presented as the mean  $\pm$  SE (n = 5). Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .



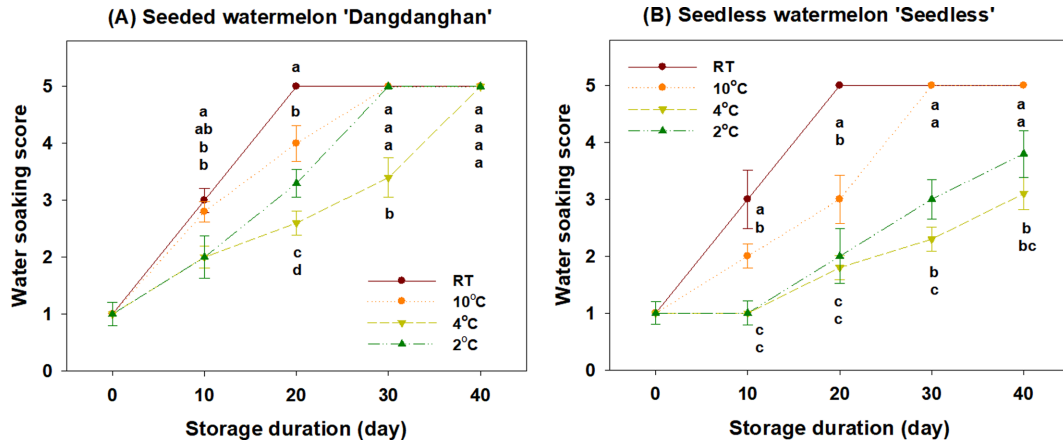
**Fig. 6.** Changes in peduncle wilting score of watermelon during storage at different temperatures: (A) seeded watermelon (cv. Dangdanghan) and (B) seedless watermelon (cv. Seedless). Peduncle wilting score: 1 = very good, 2 = good, 3 = poor, and 4 = very poor. All values are presented as the mean  $\pm$  SE (n = 5). Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

짐에 따라 모든 처리구에서 점차 증가하였다(Fig. 6). 상온(RT) 저장구에서는 씨있는 수박과 씨없는 수박 모두에서 저장 10일 이후 급격히 꼭지마름이 진행되었으며, 20일 이후에는 최고 수준에 도달하여 저장 내내 유지되었다. 10°C 저장구 역시 시간이 경과함에 따라 꾸준히 꼭지마름지수가 상승하였으나, 상온보다는 낮은 수준이었다. 반면 4°C 및 2°C 저장구에서는 꼭지마름 진행 속도가 상대적으로 완만하여 저장 40일까지도 지수가 낮게 유지되었다. 특히 씨없는 수박은 씨있는 수박과 비교할 때 동일한 저장 조건에서 꼭지마름이 다소 늦게 진행되는 경향을 보였다.

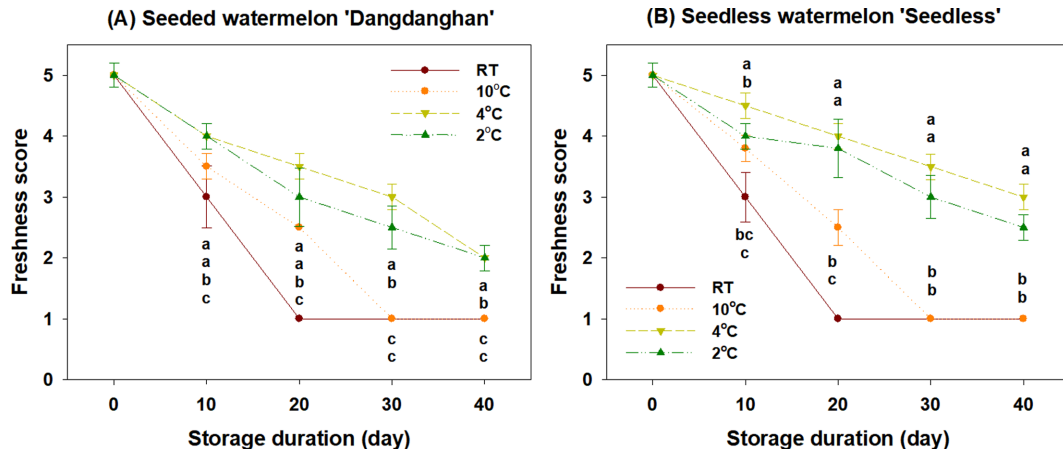
**1.4. 저장온도에 따른 수침 현상 발생 지수 변화 및 부패율**  
수박의 과육 내 수침지수(water soaking score)는 저장기

간이 길어짐에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). 상온(RT) 저장에서는 씨있는 수박과 씨없는 수박 모두 저장 20일 이후 급격히 수침현상이 진행되어 최종적으로 가장 높은 수침지수를 나타냈다. 10°C 처리구에서도 저장 후반부에 수침이 뚜렷하게 증가하였다. 반면 4°C 저장에서는 수침 발생이 상대적으로 억제되어 저장 40일까지 낮은 수준을 유지하였다. 그러나 2°C 저장구에서는 4°C보다 수침지수가 높게 나타나, 저장 후반부에 수침현상이 심화되었다. 이는 2°C 조건에서 저온장해(chilling injury)가 발생하였음을 의미한다. 또한 씨없는 수박은 동일한 저장 조건에서 씨있는 수박보다 수침지수의 상승 속도가 완만하여, 수침현상 억제 측면에서 상대적으로 유리한 것으로 나타났다.

저장 기간 동안 수박의 부패율을 조사한 결과, 내부 품질



**Fig. 7.** Changes in water soaking score of watermelon during storage at different temperatures: (A) seeded watermelon (cv. Dangdanghan) and (B) seedless watermelon (cv. Seedless). Water soaking score: 0 = none, 1 = trace, 2 = slight (<10%), 3 = moderate (<30%), 4 = severe (<50%), and 5 = very severe ( $\geq 50\%$ ). All values are presented as the mean  $\pm$  SE ( $n = 5$ ). Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .



**Fig. 8.** Changes in freshness score of watermelon during storage at different temperatures: (A) seeded watermelon (cv. Dangdanghan) and (B) seedless watermelon (cv. Seedless). All values are presented as the mean  $\pm$  SE ( $n = 5$ ). Means with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

요인인 수침지수가 최대치에 도달할 때까지 어떠한 부패도 관찰되지 않았다. 즉 과육 내 수침 현상 발생과 그 심화는 저장 기간이 경과함에 따라 뚜렷하게 확인되었으나, 외부적으로 병원성 미생물에 의한 부패는 동반되지 않았다.

### 1.5. 저장온도에 따른 신선도 지수

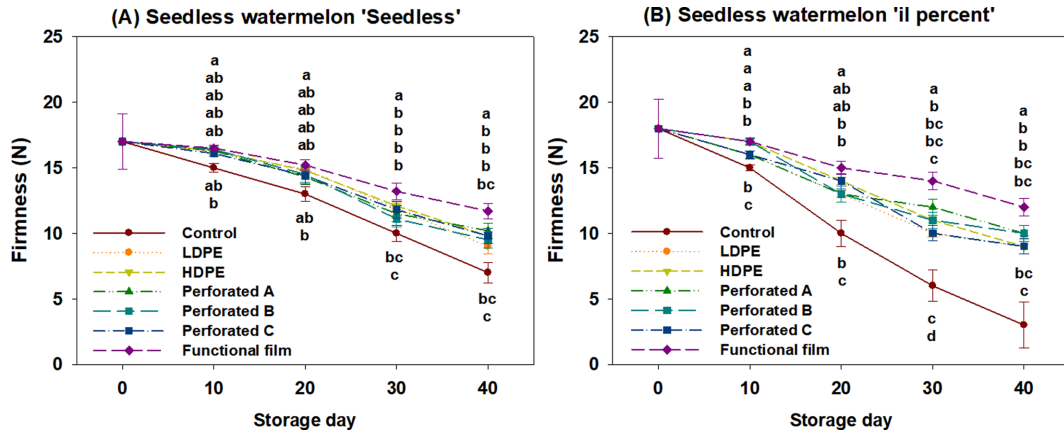
신선도 지수는 과실의 외부 및 내부의 외관 등을 종합적으로 평가하여 5점 척도로 정의하였다(5=아주 좋음, 4=좋음, 3=보통, 2=나쁨, 1=아주 나쁨). 저장 기간이 경과함에 따라 신선도 지수는 전반적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 8). 상온(RT) 저장에서는 씨있는 수박과 씨없는 수박 모두 10일 이후 급격한 저하가 나타나, 20일 이후에는 '나쁨(2)' 이하의 수준에 도달하였다. 10°C 저장구에서도 저장 20일 이후 '보통(3)' 이하로 떨어지며 빠른 신선도 저하가 확인되었다.

반면 4°C와 2°C 저장구에서는 신선도 감소가 완만하게 진행되었으며, 40일까지도 '보통(3)' 이상의 수준을 유지하였다. 특히 씨없는 수박은 동일한 저장 조건에서 씨있는 수박보다 더 높은 신선도 지수를 보여, 장기 저장 시 신선도 유지력이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 상온저장시 수침현상이 진행됨에 따라 이취도 비례하여 발생하였고, 저온 저장시에는 모든 처리구에서 이취는 발생하지 않았다.

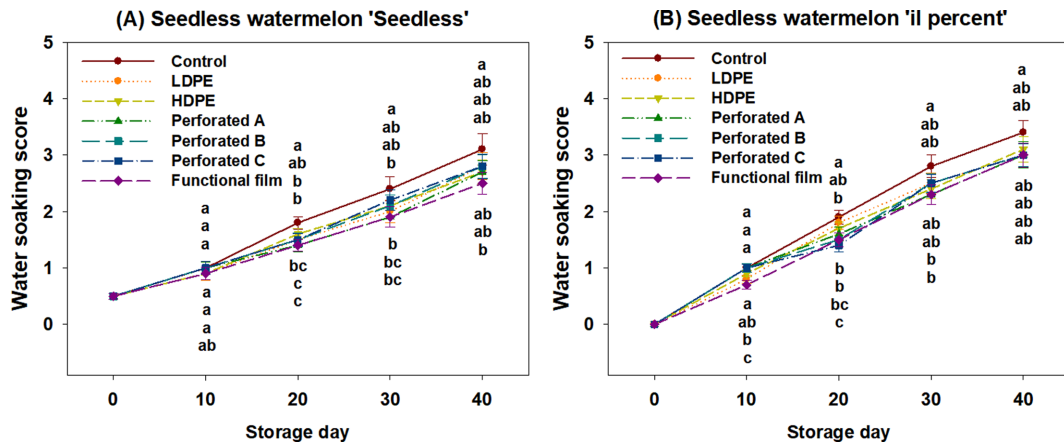
## 2. MA 필름 포장재에 따른 씨없는 수박의 저장 중 품질 특성 변화

### 2.1. 씨없는 수박의 저장 중 경도 변화

수박의 저장 중 경도 변화를 비교한 결과, 모든 처리구에서 저장 기간이 경과함에 따라 경도가 점진적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 9). 내포장 및 외포장의 차이는 발생



**Fig. 9.** Changes in firmness of seedless watermelon cultivars ‘Seedless’ (A) and ‘il percent’ (B) during storage at 4°C using different packaging materials (Control, LDPE, HDPE, Perforated A–C, and Functional film). All values are presented as the mean ± SE (n = 5). Means with the same letters are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at  $p < 0.05$ .



**Fig. 10.** Changes in water soaking score of seedless watermelon cultivars ‘Seedless’ (A) and ‘il percent’ (B) during storage at 4°C using different packaging materials (Control, LDPE, HDPE, Perforated A–C, and Functional film). All values are presented as the mean ± SE (n = 5). Means with the same letters are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at  $p < 0.05$ .

하지 않았다. 씨없는 수박 ‘씨드리스’와 ‘일퍼센트’ 품종 모두 4°C 저장 동안 포장재의 종류에 따라 경도 유지 정도에 차이를 나타냈다. 대조구(Control)는 40일 저장 기간 동안 가장 낮은 경도를 보였으며, 포장한 처리구들은 유사한 수준의 경도 감소를 보였다. 기능성 필름 처리구는 두 품종 모두에서 가장 높은 경도를 유지하였으며, 이는 포장재에 함유된 제올라이트와 펄라이트가 에틸렌을 흡착 및 분해하며, 포장 내부의 상대습도를 조절하여 저장 중 품질 변이를 줄일 수 있음을 의미한다.

**2.2. 씨없는 수박의 저장 중 수침 현상 발생 지수 변화**

씨없는 수박의 저장 중 수침현상 발생 정도를 평가한 결과, 모든 처리구에서 저장 기간이 경과함에 따라 수침현상 지수가 점진적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 10). 내포장 및 내포장의 차이는 발생하지 않았다. ‘씨드리스’와 ‘일

퍼센트’ 두 품종 모두 4°C 저장 동안 포장재의 종류에 따라 수침 정도의 차이를 나타냈다. 대조구(Control)는 저장 40일차에 가장 높은 수침 지수를 나타내었으며, 이는 비포장 상태에서 세포막 손상이 상대적으로 빠르게 진행된 결과로 판단된다. 반면, 포장 처리구에서는 수침현상 발생이 대조구에 비해 느리게, 특히 기능성 필름 처리구가 가장 낮은 수침 지수를 유지하였다. 이러한 결과는 기능성 필름에 함유된 제올라이트와 펄라이트가 포장 내부의 수분 및 가스 조성을 안정적으로 조절하여 과육 내 세포막 파괴와 조직 내 수분 이동을 억제했기 때문으로 해석된다.

**3. 고찰**

**3.1. 수박의 중량감소에 영향을 미치는 요인**

박과채소의 저장 중 중량감소는 주로 과피와 대기 간의 수분 기울기에 의해 발생하며, 저온·고습 조건과 적절한 포

장필름(MAP 포함)의 적용을 통해 유의하게 억제된다고 보고되었다<sup>11-15</sup>). 오이의 경우 포장필름의 종류, 두께 및 투과도(유공/무공)에 따라 7-20°C 범위의 저장에서 감모율이 0.5-1% 수준까지 낮아지거나 2-3%대로 높아지는 차이가 나타났으며, 이는 포장재 선택이 수분손실의 주요 지배요인임을 보여준다. 밤호박은 12°C 저장 온도에서 상대습도(40%, 60%, 80%) 조건에 따라 중량감소율의 차이가 약 7-17%까지 발생하였다. 참외를 0.03 mm PE 필름으로 포장하여 4°C에서 10일간 CA 컨테이너(산소 5% +이산화탄소 12%)로 저장하였을 때 중량감소율은 0.6%로, 대조구인 리퍼 컨테이너에서 발생한 1.3%의 중량감소율에 비해 절반 이하로 낮았다. 이는 고이산화탄소 환경이 증산을 억제하고 필름 포장에 의해 수분 투과성이 낮아진 것이 상호 작용한 결과로 해석된다<sup>16</sup>). 이러한 결과들은 박과채소류의 저장 중 감도가 대기 환경 조건 뿐만 아니라 포장 구조적 특성에 의해 크게 영향을 받음을 의미한다. 반면 수박은 과피가 두껍고 기공밀도가 낮아 다른 박과채소에 비해 감모율이 상대적으로 낮게 보고되었다. Perkins-Veazie와 Collins<sup>17</sup>)는 종자형 및 무종자형 수박을 5-21°C, 75% RH에서 별도의 필름 포장 없이 14일간 저장하였을 때 중량감소율이 1% 미만으로, 수분손실이 극히 적었다고 보고하였다. Özdemir 등<sup>14</sup>) 또한 저장 및 유통 중 수박의 감모율이 1% 이하임을 확인하였으며<sup>14</sup>), 이는 본 연구의 결과와 일치한다. Araújo Neto 등<sup>13</sup>)은 상온(22-26°C, 52-60% RH) 저장 21일째 수박의 중량감소율이 3.8%에 달하였으나, 과실은 위조나 외관 손상 없이 상품성을 유지하였다고 보고하였다. 본 실험에서 25°C 부근의 상온에서 40일 경과시 중량감소율은 약 5% 이내로 나타났으며, 이 때 위조나 부패는 관찰되지 않아 Neto 등<sup>13</sup>)의 결과와 일치하였다. Ertürk Çandır 등<sup>15</sup>)은 0±0.5°C, 90±5% RH 조건에서 접목 및 무접목 수박을 21일간 저장한 결과, 모든 처리구에서 중량감소율이 1% 미만으로 매우 낮았다고 보고하였다<sup>15</sup>). 이는 저온과 고습 환경이 과피와 대기 간의 증기압차를 최소화하여 증산을 억제하고, 절단되지 않은 온전한 상태(intact fruit)로 저장되어 과피의 수분 투과 저항이 유지된 결과로 해석하였다. 한편 수박의 중량감소에 영향을 미치는 요인 중 하나로 접목 여부를 들 수 있다. 접목 수박은 무접목 수박보다 다소 낮은 중량감소율을 보였으며, 이는 대목(rootstock)의 왕성한 수분 흡수 및 이동 능력과 접수(scion) 조직 간의 생리적 결합 강화로 인해 과실 내 수분 유지능이 향상된 결과라고 보고되었다<sup>15</sup>). 국내에서는 유통되는 수박 묘의 약 95% 이상이 접목묘이며, 비접목묘 재배는 실험적 목적이나 특정 토양병이 없는 시설 일부 지역에서 제한적으로 이루어지고 있다. 수박꼭지의 제거 유무는 저장 기간 중 중량감소에는 영향을 미치지 않았다<sup>18</sup>).

이상의 보고된 결과를 통해 수박 저장시 관찰된 낮은 중

량감소율의 원인으로는 저장 환경의 저온·고습 조건, 수박 과피의 구조적 특성(두꺼운 과피, 낮은 기공밀도)을 들 수 있다. 접목묘의 종류 및 접목 방법이 수박의 품질과 식미도에 미치는 영향에 대해서는 보고되었으나<sup>19</sup>), 수박 과일의 저장 중 수분 투과 저항성의 정도에 대한 영향은 아직 보고된 바가 없다.

### 3.2. 씨있는 수박과 씨없는 수박의 저장성 비교

동일 환경에서 씨있는 수박(cv. 당당한)과 씨없는 수박(cv. 씨드리스)의 품질 변화를 비교한 결과, 씨없는 수박은 경도 감소 속도, 수침 발생 정도, 신선도 지수 측면에서 씨있는 수박보다 저장성이 높았다. 이는 씨없는 수박이 저장 중 구조적 또는 생리적 변화에 상대적으로 안정적이라는 기존 연구<sup>8,9</sup>)와 일치한다. Ali 등<sup>9</sup>)은 씨있는 수박(cv. Crimson Sweet)과 씨없는 수박(cv. Seedless Red)을 10°C, 85% RH에서 21일 저장한 결과, 두 품종 모두에서 경도 및 SSC가 감소하였으나, 씨없는 수박의 경도 저하 속도가 유의적으로 느리다고 보고하였다. 또한 동일 연구팀은 저장 중 광산란 특성을 이용한 비파괴 측정을 통해 씨없는 수박의 색 변화가 더 완만하게 진행된다고 제시하였다<sup>8</sup>). 색소 함량 측면에서, Perkins-Veazie와 Collins<sup>17</sup>)는 씨있는 수박(cv. Summer Flavor 800)과 씨없는 수박(cv. Sugar Shack)을 2°C에서 저장한 결과, 리코펜 함량이 각각 6%, 11% 감소하였고, 과즙 누출률은 각각 13%, 11%로 보고하였다. 이는 씨없는 수박이 색소 산화에는 다소 취약할 수 있으나 수분 유지력에서는 양호한 경향을 보임을 의미한다<sup>17</sup>). 씨없는 수박의 중량감소율과 경도 유지 효과는 수박의 세포벽 구성 및 수분결합력 차이에 따른 것으로, Maimunah Mohd Ali 등<sup>9</sup>)이 보고한 씨없는 수박의 연화 지연 특성과 일치한다.

수박의 씨 존재 유무에 따른 저장성 차이는 배수성에 기인한 조직 구조, 수분 보유력, 항산화 활성 및 호흡 대사 차이로 설명되었으며<sup>9</sup>), 종자의 존재가 과육의 저장 품질 저하를 직접 유발한다는 보고는 없다. 그러나 간접적 근거 및 유효한 생리적 메커니즘을 고려하면 이 가능성을 배제할 수 없다. 씨는 생리활성 물질을 포함할 수 있으며 이는 인접 과육 조직의 활성 산소 균형, 세포벽 분해 효소 활성 또는 호르몬 신호 전달에 영향을 줄 수 있다. 따라서 씨가 국소적으로 산화 스트레스를 유도하거나 수분 이동 경로에 영향을 주며, 미생물 확산을 용이하게 함으로써 과육의 변화를 가속화시킬 수 있다. 향후 과육과 씨 조직간 간격별 품질 지표 및 유전자 발현 수준 비교 등을 통해 이 가설을 검증할 필요가 있다.

### 3.3. 씨없는 수박의 적정 저장 온도

씨없는 수박(cv. 씨드리스)의 저장 중 품질특성을 온도별(2, 4, 10, 25°C)로 분석한 결과, 4°C 저장 조건에서 모든

품질지표가 가장 안정적으로 유지되었다. 이러한 결과는 기존에 보고된 씨없는 수박의 저장 특성과 유사하거나, 일부 항목에서 개선된 경향을 보였다.

Ali 등<sup>9)</sup>은 씨없는 수박을 10°C, 85% RH 조건에서 저장하였을 때, 저장기간이 경과함에 따라 경도 감소와 함께 과육의 채도(C) 값 증가 및 색차(ΔE) 변화가 뚜렷하게 나타났다고 보고하였다. 이에 비해 본 연구에서는 4°C 저장에서 경도 저하가 매우 완만하였으며, 40일까지도 시들음이나 연화가 발생하지 않아 상품성이 유지되었다. 이는 저장온도를 기존 연구보다 낮춘 결과로, 저온 환경이 세포벽 분해효소의 활성을 억제하여 조직 연화를 지연시킨 것으로 해석된다.

Saftner 등<sup>4)</sup>은 씨없는 수박(cv. 'Sugar Heart')을 whole fruit 상태로 20°C에서 7-14일간 저장한 결과, 과피 부패나 과육 연화 없이 외관상 건전한 상태를 유지하였다고 보고하였다. 본 연구의 25°C 저장 조건에서도 저장 20일경부터 경도 감소와 수침현상이 뚜렷하게 나타났으며, 신선도 지수가 급격히 낮아져 실온에서의 저장 가능 기간이 제한적이었다. 반면 4°C에서는 40일간 저장하였음에도 신선도 지수가 '보통(3)' 이상으로 유지되었다. 따라서 씨없는 수박의 품질안정성은 10°C 이하의 환경에서 높게 유지되며, 25°C 이상에서는 호흡속도 증가와 세포 내 수분 손실이 가속되어 품질 저하가 조기에 진행되는 것으로 파악된다. Yau 등<sup>7)</sup>은 씨없는 수박을 28°C, 70-80% RH 조건에서 저장한 결과, 품질이 1주 이내 급격히 저하되어 2주 이상 저장이 불가능하다고 하였다. 수박은 비호흡급등형 품목이지만 에틸렌에 반응하여 연화 및 수침이 진행될 수 있으므로<sup>3)</sup> 저장 환경의 온도, 상대 습도 및 에틸렌 관리가 필수적이다.

Maimunah Mohd Ali 등<sup>9)</sup>은 씨없는 수박을 10°C에서 저장한 결과, 수침현상(water soaking)과 경도 저하가 동시에 진행되었다고 보고하였다. 본 연구에서도 10°C 저장구의 후반부에서 수침 지수가 뚜렷이 상승하였으나, 4°C 처리에서는 수침 발생이 억제되었고, 2°C에서는 저온장해로 인한 수침이 오히려 증가하였다. 따라서 씨없는 수박의 최적 저장온도는 4°C로 판단되며, 이는 Jeong 등<sup>6)</sup>이 보고한 5°C에서 외관 품질이 가장 우수하다는 결과와 일치한다.

또한 꼭지마름지수는 모든 처리에서 시간이 경과함에 따라 증가하였으나, 4°C 저장에서 상승 속도가 가장 완만하였다. 이는 Kader 등<sup>1)</sup>이 제시한 수박의 적정 저장온도(10-15°C)보다 낮은 온도에서도, 상대습도(85-90%)를 충분히 유지할 경우 중량감소의 억제가 가능함을 보여준다.

결과적으로 본 연구에서 확인된 낮은 중량감소율(≤ 2%), 높은 경도 유지력, 낮은 수침 및 꼭지마름 지수, 그리고 4°C 저장에서의 우수한 신선도 유지 결과는 기존 보고보다 품질 유지 기간이 연장될 수 있었음을 나타낸다. 이는 저온(4°C)과 고습(85-90% RH) 환경에서의 증산 억제, 과피의 낮은 수분 투과성, 그리고 재배 단계에서의 원물의 특성이

복합적으로 작용한 결과로 보인다.

이러한 결과는 국내 유통뿐 아니라 해상 수송 등 수출시에도 적용 가능성이 높아 기존의 일본이나 홍콩 등 근거리 위주의 수출 시장에서 중거리 시장까지 확대할 수 있는 기술적 기반을 제공한다.

#### 3.4. 수박 수침 현상 발생 원인 및 MA 필름 포장 효과

수침현상은 수박 과육 조직 내에서 일련의 구조적·생화학적 붕괴 과정의 결과로 발생한다. 먼저, 에틸렌(ethylene)의 내인성 생성 증가 또는 외인적 처리에 의해 과육 내 세포벽 분해 효소(polygalacturonase, pectin methylesterase 등)의 발현 및 활성이 촉진된다. 이러한 효소 활성 증가는 펙틴 및 기타 세포벽 다당류의 탈중합과 분해를 유도하여 세포 간 연결성이 약화되고 조직이 느슨해진다. 이와 동시에, 저장 중 발생하는 저온 스트레스(cold stress), 기계적 손상, 및 급격한 습도 변화는 세포막의 구조적 안정성을 저하시켜 활성산소종(reactive oxygen species, ROS) 생성을 촉진한다. 이로 인해 세포막 지질의 과산화(lipid peroxidation)가 일어나며, 막 투과성이 증가하여 전해질 및 수분이 세포 외부로 누출된다<sup>20)</sup>. 누출된 수분은 세포 간 공간(intercellular space)에 축적되어 과육 내부에 반투명한 액체층(liquid layer)을 형성하며, 이로 인해 외관상 수침조직이 형성된다. 또한, 포장 내부의 통기성이 낮거나 수분 배출이 원활하지 못한 경우, 내부에서 발생한 수증기와 응결수(condensation)가 제거되지 못하고 과잉 축적되어 조직 표면 또는 세포 간 공간에 수분이 고이게 된다. 이러한 수분 축적은 세포막 손상 부위로의 수분 이동을 촉진하여 수침현상을 가속화할 수 있다<sup>21)</sup>. 한편, 세포벽 안정성 유지에 중요한 역할을 하는 칼슘(Ca<sup>2+</sup>)이 부족할 경우, 세포벽의 펙틴산(polysaccharide) 간 교차결합(cross-linking)이 약화되어 세포 간 결합이 느슨해지고, 이로 인해 조직 붕괴와 수침 발생률이 높아진다<sup>22, 23)</sup>.

최근 Wanli You 등<sup>24)</sup>은 캔탈루프 멜론(*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) 절단과실에서 1% CaCl<sub>2</sub> 처리가 수침현상을 현저히 완화함을 보고하였다. 처리군에서 수침조직의 비율이 대조군 대비 약 46.5% 감소하였으며, ROS 축적이 억제되고 항산화 효소(SOD, APX, CAT, POD)의 활성이 증가하였다. 또한 CaCl<sub>2</sub> 처리가 미토콘드리아 구조 손상을 완화하고 오탄당인산경로(pentose phosphate pathway, PPP) 관련 효소(G6PDH, 6PGDH, NADK, NADP-ICDH)의 활성을 조절하여 NADPH 생성을 촉진함으로써 산화 손상을 경감시켰다고 하였다. 이러한 결과는 수침현상이 단순한 수분 축적 현상이 아니라 세포 내 산화적 불균형과 연계된 생리적 손상임을 보여준다. 이러한 결과는 수침현상이 단순한 수분 축적 현상이 아니라 세포 내 산화적 불균형과 연계된 생리적 손상임을 보여주며, 수박에서도 이 메커니즘이

적용될 가능성이 있다.

본 연구에서도 대조구에 비해 MA 필름 처리구에서 수침 현상 발생이 억제되었고, 특히 기능성필름 처리구에서는 저장 40일째 가장 낮은 수침 현상 발생 지수를 보였다(Fig. 10). 이는 필름 내부에 혼입된 제올라이트(zeolite)와 펄라이트(perlite)가 포장 내부의 수분과 기체 조성을 효과적으로 제어한 결과로 판단된다. 제올라이트는 다공성 알루미늄실리케이트 구조를 통해 에틸렌과 CO<sub>2</sub>를 선택적으로 흡착·방출하여 호흡 속도를 완화시키고, 펄라이트는 높은 표면적을 통한 수분 흡·방출 능력으로 내부 응결수의 축적을 억제한다<sup>21)</sup>. 이러한 복합 작용은 수박 과육 내 수분 이동을 안정화시키고 세포막 손상을 완화하여 수침 발생을 지연시킨 것으로 해석된다.

## 요 약

본 연구는 씨없는 수박의 저장 중 품질 변화를 비교·평가하여 적정 저장온도를 구명하고, 수출 확대를 위하여 다양한 플라스틱 필름으로 포장하여 유통기한 연장에 적합한 필름을 선정하고자 하였다. 씨있는 수박(cv. 당당한)과 씨없는 수박(cv. 씨드리스)을 2, 4, 10, 25°C의 조건과 85-90% 상대습도에서 40일까지 저장하며 중량감소율, 경도, 꼭지마름, 수침현상, 신선도 지수를 조사하였다. 저장온도가 높을수록 품질 저하가 빠르게 진행되었고, 10°C 이상에서는 수침현상과 연화가 조기에 발생하였다. 반면 4°C 저장에서는 경도 저하와 수침 발생이 가장 완만하여 40일까지 상품성을 유지하였다. 2°C 저장에서는 저온장해가 발생하여 수침 지수가 증가하였다. 따라서 씨없는 수박의 적정 저장온도는 4°C로 판단된다. 씨없는 수박의 유통기한 연장을 위하여 ‘씨드리스’와 ‘일퍼센트’ 품종을 다양한 플라스틱 필름에 포장한 결과, 제올라이트와 펄라이트를 함유한 기능성 필름은 무처리 대조구에 비해 수침 발생을 억제하고 경도 손실을 감소시켰다. 이러한 개선 효과는 기능성 필름으로 공시된 재질이 수박과 어떤 메커니즘으로 작용을 하여 나타난 결과인지 정확히 알 수 없으나 품질 변화를 지연시키는데 효과적이어서 향후 수박의 장기 저장 등에 실용적으로 활용될 가능성을 제시하였다고 볼 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(RS-2024-00439032)에 의해 수행되었으며 해당 연구자들에게 감사의 말씀드립니다.

## 참고문헌

1. Kader A.A. 2002. Postharvest Technology of Horticultural

- Crops, 3rd Edition. University of California Agriculture & Natural Resources, Davis, CA, USA. Publication 3311. pp. 532-534.
2. Innocent K. and Matenda R. 2018. Postharvest technology and value addition of watermelons (*Citrullus lanatus*): An overview. *J. Postharvest. Technol.* 6:75-83.
3. Mao L., Karakurt Y. and Huber D.J. 2004. Incidence of water-soaking and phospholipid catabolism in ripe watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit: induction by ethylene and prophylactic effects of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 33:1-9.
4. Saftner R., Luo Y., McEvoy J., Abbott J.A. and Vinyard B. 2007. Quality characteristics of fresh-cut watermelon slices from non-treated and 1-methylcyclopropene- and/or ethylene-treated whole fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 44:71-79.
5. Ali M.M., Hashim N., Bejo S.K. and Shamsudin R. 2017. Determination of the difference on color changes of watermelons by laser light backscattering imaging. *J. Food Sci. Technol.* 54:3650-3657.
6. Jeong J.H., Kim J.H., Lee E.Y., Cho S.H., Kim H.G., Song E.J. and Seo K.W. 2024. Comparison of changes in quality characteristics of seedless watermelon according to storage temperature. *Proceedings of the 2024 Autumn Conference of the Korean Society for Horticultural Science*, Changwon, Korea. p. 375.
7. Yau E., Rosnah S., Noraziah M., Chin N. and Osman H. 2010. Physico-chemical compositions of the red seedless watermelons (*Citrullus lanatus*). *Int. Food Res. J.* 17:327-334.
8. Ali M.M., Hashim N., Bejo S.K. and Shamsudin R. 2017. Quality evaluation of watermelon using laser-induced backscattering imaging during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 123:51-59.
9. Ali M.M., Hashim N., Bejo S.K. and Shamsudin R. 2020. Correlation between physicochemical changes of seeded and seedless watermelons during postharvest storage. *Int. J. Postharvest Technol. Innov.* 7:73-86.
10. Mehrweg S.I., Pelka M., and Kreyenschmidt J. 2013. Determination of spoilage levels of fresh fruit and vegetables according to the type of packaging, Evaluation Report. University of Bonn, Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics and Cold-Chain Management Working Group. 15:1-34.
11. Lee J.S., Kim G., Kim H., Jeong D., Chei D.K., Chea Y.R., Park M.H., Jang M.S. and Hong Y.P. 2021. The effect of packaging and storage temperature on quality changes of 'White Dadagi'cucumber. *Korean J. Packag. Sci. Technol.* 27:115-121.
12. Park H.W., Kim Y.H., Lee S.A. and Kim Y.M. 2007. Effect of storage temperature and ESP packaging container on quality changes of cucumber. *Korean J. Packag. Sci. Technol.* 13:5-8.
13. Araújo Neto S.Ed., Hafle O.M., Gurgel Fd.L., Menezes J.B. and Silva G.Gd. 2000. Quality and postharvest shelf life of crimson sweet watermelon marketed in Mossoro. *Rev. Bras.*

- Eng. Agric. Ambient. 4:235-239.
14. Özdemir A.E., Çandır E., Yetişir H., Aras V., Arslan Ö., Baltaer Ö., Üstün D. and Ünlü M. 2016. Effects of rootstocks on storage and shelf life of grafted watermelons. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 89:191-201.
  15. Çandır E., Özdemir A.E., Yetişir H., Aras V., Arslan Ö., Baltaer Ö. and Ünlü M. 2021. Effects of chilling injury, physical and biochemical changes on grafted watermelons stored at low temperature. *Hort. Stud.* 38(2):71-84.
  16. Han M.S., Lee J. and Kim Y.J. 2025. Effect of controlled atmosphere containers on maintaining the quality of fresh korean agricultural products. *Korean J. Packag. Sci. Technol.* 31:65-76.
  17. Perkins-Veazie P. and Collins J.K. 2006. Carotenoid changes of intact watermelons after storage. *J. Agric. Food Chem.* 54:5868-5874.
  18. Kim N.K., Chang Y.H., Yu S.P., Ha K.J., Je H.J., Hong K.P. and Lee S.D. 2015. Storage characteristics of watermelon before and after removing the T-shaped stalk. *Food Sci. Preserv.* 22:159-166.
  19. Kwon J.K., Kweon G.B., Kang K.H., Choi Y.H., Kang N.J., Lee J.H., Jeong H.J. and Park J.M. 2005. Effect of different rootstocks and double grafting on the fruit quality and withering occurrence of greenhouse watermelon. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:382-387.
  20. Quandoh E. and Albornoz K. 2025. Fresh-cut watermelon: postharvest physiology, technology, and opportunities for quality improvement. *Front. Genet.* 16:1523240.
  21. Linke M. and Geyer M. 2013. Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables. *J. Food Eng.* 116:144-154.
  22. Hurtado G. and Knoche M. 2022. Calcium ions decrease water-soaking in strawberries. *PLoS One* 17:e0273180.
  23. Madrid R., Valverde M., Alcolea V. and Romojaro F. 2004. Influence of calcium nutrition on water soaking disorder during ripening of Cantaloupe melon. *Sci. Hortic.* 101:69-79.
  24. You W., Zhang J., Ru X., Xu F., Wu Z., Jin P., Zheng Y. and Cao S. 2025. CaCl<sub>2</sub> alleviates water-soaking disorder by attenuating mitochondrial oxidative damage in fresh-cut cantaloupe. *Food Chem.* 493:145967.
- 투고: 2025.10.13 / 심사완료: 2025.11.14 / 게재확정: 2025.11.20