



Research Article

Quality changes in paprika (*Capsicum annuum* L.) affected by storage temperature and packaging materials

저장 온도 및 포장재에 따른 파프리카의 품질 변화

Mi-Ryung Kim^{1†}, Jun-Hyung Lim^{1†}, Chang-Soo Kang^{2*}

김미령^{1†} · 임준형^{1†} · 강창수^{2*}

¹Department of Food Science and Culinary Art, Silla University, Busan 46958, Korea

²Department of Agriculture & Fisheries Processing, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

¹신라대학교 식품조리학과, ²한국농수산대학 농수산물가공학과

Abstract This study investigated the effects of storage temperature and packaging materials on the quality of paprika (*Capsicum annuum* L.), focusing on weight loss, hardness, soluble solids contents, appearance, carotenoids contents, and DPPH radical scavenging activity. Various packaging materials were tested for 28 days under 10°C, 22°C, and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) to simulate diverse distribution conditions. The packing materials for paprika storage were non-packing as control, non-perforated, perforated, oxygen-restricted, and thermoplastic starch (TPS) film, respectively. Results revealed that cool storage at 10°C, particularly with oxygen-restricted film, was the most effective for quality retention, whereas higher storage temperatures accelerated quality deterioration. This study shows that an optimal combination of low temperature and suitable packaging, specifically oxygen-restrictive materials, could significantly enhance the shelf life and maintain the quality of paprika for domestic distribution and export.

Keywords paprika, distribution, quality, packaging materials, storage temperature



OPEN ACCESS

Citation: Kim MR, Lim JH, Kang CS. Quality changes in paprika (*Capsicum annuum* L.) affected by storage temperature and packaging materials. Food Sci. Preserv., 32(1), 106-117 (2025)

Received: November 30, 2024

Revised: December 30, 2024

Accepted: December 31, 2024

[†]These authors contributed equally to this study.

***Corresponding author**

Chang-Soo Kang
Tel: +82-63-238-9320
E-mail: cskang0641@korea.kr

Copyright © 2025 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

포장은 다양한 저장 환경에서 원예 산물의 신선도 유지에 효과적인 방법으로 보고되고 있다 (Erdene 등, 2022; Lee 등, 2008a). 최근 한국에서는 국내외의 여러 요인으로 인해, 다양한 환경에서 포장을 통한 파프리카의 선도 유지 개발에 대한 요구가 증가하고 있다.

파프리카(paprika)라는 용어는 원래 그리스어에서 유래하였으며, 유럽에서는 대개 고추를 통칭하는 말로 사용되고 있다(Erdene 등, 2022; Kim 등, 2011a; Park 등, 2011). 파프리카의 학명은 *Capsicum annuum* L.로 sweet pepper, bell pepper, pimento 등으로 다양하게 불리우며(Kim 등, 2011a), 한국에서는 ‘차색단고추’라고 불리기도 한다(Lee, 2001). 파프리카는 맵지 않고 단맛이 있어 샐러드와 같은 생식용으로 많이 활용되고 있다(Choi 등, 2015; Kim 등, 2011a). 따라서 국내에서는 고추를 일반적으로 조미채소로 구분하지만, 파프리카는 과채류로 분류하고 있다(Kim 등, 2011a; Park 등, 2011). 또한, 파프리카는 blocky, mini-blocky, conical 같은 형태에 따라, 혹은 2L, L, M, S, 2S 등의 크기에 따라 구분하고 있다(An과 Lee, 2023). 미성숙일 때는 녹색이지만 성숙함에 따라 적색, 황색, 주황색, 검보라색 등으로 변화하며, 이러한 색상 변화 시 카로티노이드, 페놀 화합물 등의 phytochemical을 생성하는 것으로 알려져 있다(Choi 등, 2012; Erdene 등, 2022; Jeong 등, 2008; Kim 등, 2011a; Lee 등, 2016; RDA, 2020).

한국에서의 파프리카 생산은 1900년대 초반에 시작되었으며, 2000년대부터 수출이 이루어져, 일본 시장의 60-70%를 차지하는 등, 신선 농산물 중 가장 많이 수출되는 작물이기도 하다(Park 등 2011; RDA, 2020). 이에 따라 저장 유통 과정에서 파프리카의 상품성을 확보하기 다양한 연구가 진행되었는데, 수확 후 생리적 특성(Kang 등, 2008), 착과 촉진을 위한 에틸렌 처리(Lim 등, 2005), 품종 차이의 효과(Jeong 등, 2006) 등이 있다.

파프리카와 같은 과채류는 수확 후 저장 및 유통 중 호흡 및 증산과 같은 생리 활동과 미생물 오염으로 부패가 발생하여 상품성이 저하될 수 있다(Jang 등, 2017; Lee 등, 2016). 한국에서는 파프리카가 수확 후 컨테이너 또는 골판지 상자에 담겨 저장 및 운송되고 있으며, 이때 공기 노출로 인해 시들음이 빠르게 진행되는 것으로 알려져 있다(Lim 등, 2005; RDA, 2020). 또한, 수확 후에는 영양 성분 감소, 수분 손실, 색소 변화 등으로 인해 품질 저하가 발생하며, 이를 억제하고 선도를 유지하기 위해 필름 포장을 활용한 기술이 보고된 바 있으나(Jang 등, 2017), 저장 및 유통 중의 온도, 포장 등의 환경 관리가 파프리카 신선도 및 상품성에 미치는 영향에 대한 종합적 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 한국내 파프리카 유통 상황을 가정하여, 저온, 상온, 변온의 온도 조건을 설정하고 다양한 특성의 포장재를 도입하여 저장 및 유통 중 파프리카의 품질 변화를 분석하고자 하였다. 이러한 연구로부터 파프리카의 신선도 유지에 효과적인 온도 조건 및 포장재 특성을 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용된 파프리카는 전라북도 남원 지역의 운봉농협에서 구매하였으며, 한 농가에서 수확한 *Mavera F1*(Enza Zaden, Nederland) 품종으로 하였다. 규격은 M(보통) 사이즈로 모양과 상태가 균일한 것을 선별하여 사용하였다. 실험에 쓰

인 파프리카는 착과 후 45-50일 정도의 적숙(適熟) 상태인 것을 이용하였다.

2.2. 포장재

본 연구에서 사용한 포장재는, 일반적으로 사용되는 polypropylene (PP) 소재의 유공 필름((주)지쿠지원, Kimhae, Korea), 동일 PP 소재의 무공 필름, 그리고 기능성 필름으로, thermoplastic starch (TPS) 필름과 산소 제한 필름으로 하였다(Fig. 1). 유공 필름(Thickness 40 μm)은 oriented polypropylene film(OPP) 20 μm , cast polypropylene(CPP) 20 μm 로 구성되어 있으며, 미세천공 3 mm를 포함하고 있다. 무공 필름도 유공 필름과 동일한 소재로 구성되어 있으며, 천공은 포함되지 않았다. TPS 필름(Everchemtech, Hwasung, Korea)은 산화 아연이 포함되어 있으며 TPS 30%와 생분해성 고분자인 poly-butylene adipate terephthalate(PBAT) 70%로 구성된 필름으로 산소 투과도는 6,000 $\text{cc}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 이었다. 산소 제한 필름(Everchemtech)은 OPP 30 μm , 천연물 제한층 3 μm , CPP 40 μm 로 구성되어 있으며, 산소 투과도는 0.7 $\text{cc}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 이다. 모든 포장재의 크기는 가로 15 cm, 세로 15 cm로 하였고 개별 포장하였다.

2.3. 저장 온도 및 기간

본 연구에서 적용된 저장 온도 조건은 저온 및 상온, 그리고 저온에서 저장되어 상온에서 유통되는 변온조건으로 하였다. 저장 기간은 한국 및 해외 운송 등을 고려한 운송 및 저장 기간 14일과 유통기간 14일을 가정하여 총 28일로 설정하였다. 저온 조건은 10°C, 상온 조건은 22°C로 하고 저온 창고(CBL-020MS, Coolmax, Yangju, Korea)에서 28일간 저장하였으며, 변온 조건은 10°C에서 14일 동안 저장한 후 22°C로 온도를 변경하여 추가로 14일 동안 저장하였다.

2.4. 품질 특성 분석

저장 중 파프리카의 품질 변화를 평가하기 위해 Erdene 등 (2022)의 조사기준을 참고하여 생체중량 감소, 경도, 가용성 고

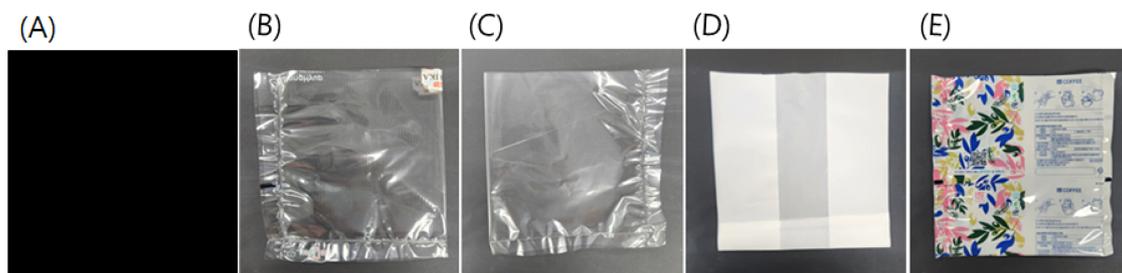


Fig. 1. Types of packaging materials for storing paprika cultivars, *Mavera F1*. (A), Unpackaged treatment; (B), perforated PP film; (C), non-perforated PP film; (D), thermoplastic Starch film; and (E), oxygen restricted film.

형물 함량과 외관 및 색상 변화를 주요 조사항목으로 설정하여 분석하였다.

생체 중량 감소율은 파프리카를 저장고에 입고할 때의 초기 중량과 함께 7일 간격으로 생체 중량을 측정하여 초기 중량을 기준으로 생체 중량 감소 정도를 백분율로 나타내었다.

파프리카 경도 측정은 Lee(2023)의 방법에 따라 물성 측정기(Texture analyzer A.XT2, SMS, Godalming, UK)를 이용하여 측정하였다. 파프리카 과육을 직경 5 mm plunger를 이용하여 depression limit 25 mm, test speed 2 mm/sec 하에서 2-bite test로 경도를 측정하였다.

가용성 고형물 함량은 파프리카 과육 부위에서 즙액을 짜서 디지털 당도계(PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)를 이용하여 실온에서 측정하였다.

저장동안 파프리카의 상품성을 확인하기 위해 각 조건 별 파프리카의 외관 변화를 촬영(Samsung galaxy S22, Samsung, Suwon, Korea)하여 비교하였으며, 색상 변화는 Lee 등(2008a)의 보고를 참고하여, 색도계(CR-300, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 7일 간격으로 조사하였다. 각 시료의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)로부터 색도차(ΔE)로 환산하였고, 저장 중 색상 변화 정도로 하였다($\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$, 0-1.5=색 차이가 없음, 1.6-6.0=근소한 색 차이가 있음, 6.1 이상=감지할 수 있는 색 차이가 있음).

2.5. 총카로티노이드 함량 분석

파프리카의 총카로티노이드 함량을 측정하기 위하여 각 조건의 파프리카를 동결건조하여 사용하였다. FAO 보고 자료(2008)에 따라, 파프리카 건조 시료 0.1 g을 아세톤:물(9:1, v/v) 5 mL로 추출한 후 10분간 3,000 rpm으로 원심분리하였다. 투명한 상층액을 분리하고, 아세톤-물 3 mL를 추가하여 3회 재추출을 반복하였다. 얻은 추출물을 20 mL로 정용하고 microplate reader(Biotek Synergy Mx, Biotek Instruments, Winooski, VT, USA)를 이용하여 462 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 흡광도를 0.3-0.7 사이를 유지하고, 다음의 식(1)을 이용하여 총카로티노이드 함량을 계산하였다. 여기서 A는 시료의 흡광도, 2,100은 1% capsanthin 용액의 462 nm에서의 흡광계수, W는 시료의 무게, 20은 희석배수를 나타낸다.

$$\text{총카로티노이드 함량(mg\%)} = \frac{A}{2,100} \times \frac{20}{W} \times 1,000 \quad (1)$$

2.6. 3,4-Dihydroxy-L-phenyl-alanine(DPPH) radical 소거능 측정

DPPH radical 소거능 분석을 위해 Blies(1958)의 방법을 변형하여 사용하였다. 동결 건조하여 마쇄한 파프리카는 1:100

(w/v) 비율로 하여 95% 메탄올에서 24시간 추출하여 실험에 사용하였다. 100 μ L의 0.4 mM DPPH(Sigma, St. Louis, MO, USA)와 100 μ L의 파프리카 추출물(10 mg/mL)을 혼합하여 암실에서 30분 반응 후, 517 nm에서 Microplate Reader(Multiskan GO, Thermo Scientific, Forssa, Finland)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. DPPH radical 소거능(%)은 아래의 식(2)을 이용하여 산출하였다.

$$\text{DPPH radical 소거능(\%)} = \frac{\text{공시료군 흡광도} - \text{시료군 흡광도}}{\text{공시료군 흡광도}} \times 100 \quad (2)$$

2.7. 통계 분석

각 측정 자료에 대한 통계 분석은 온도와 필름 포장재를 독립 변수로 하여, SAS 프로그램(Version 9.2, SAS Inc., Cary, USA)을 사용하여 이변량 분산 분석을 통해 유의성을 확보하였고, least significant difference(LSD) 방법으로 사후 분석을 실시하였다. 각 측정값은 5 반복으로 얻어진 데이터의 평균(mean) \pm 표준편차(standard error, SE)로 표현하였다. 생체중량 감소율과 가용성 고형분 함량 간의 상관과 카로티노이드와 DPPH 라디칼 소거능 간의 상관성은 Pearson의 이변량 상관분석법을 이용하여 분석하였다.

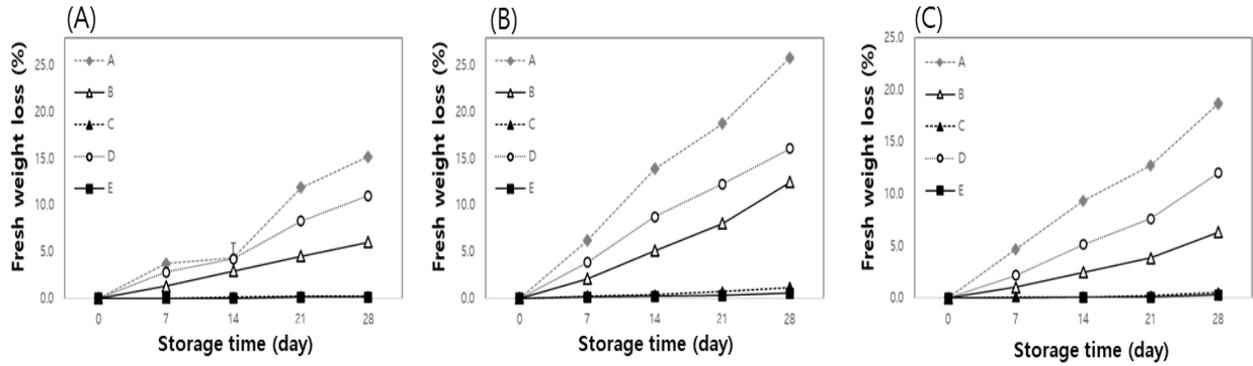
3. 결과 및 고찰

3.1. 생체중량 변화

저장 및 유통 중의 다양한 온도 조건을 반영한 각 조건[저온(10°C), 상온(22°C), 변온(10°C \rightarrow 22°C)]에서 포장재별(무포장, 유공 필름, 무공 필름, TPS 필름, 산소제한 필름) 파프리카의 품질 변화를 생체중량 변화로 확인하였다.

각 온도 조건에서의 생체 중량 변화는 상온에서 가장 큰 변화를 보였으며, 변온은 상대적으로 둔화되며, 저온에서는 변화가 적었다(Fig. 2와 Table S1). 저온 조건에서 저장 28일째 파프리카의 생체 중량 감소율은 0.1-15.2%로, 다른 온도 조건에 비해 가장 적었으며, 상온 조건에서는 0.5-25.9%로 가장 높은 생체 중량 감소율을 보였고, 변온 조건에서는 저온과 상온의 중간 수준인 0.3-18.7%의 감소율을 나타내었다. 저온 조건에서는 파프리카의 생체 대사 활동이 둔화되고 수분 증발이 적어 생체 중량 변화가 크지 않으나, 변온이나 상온 조건에서는 온도 상승에 따라 대사 활동이 촉진되고 수분 증발을 촉진하기 때문에 모든 포장 조건에서 생체 중량이 꾸준히 감소한 것으로 생각된다.

필름 포장재에 따른 파프리카의 생체 중량의 감소율은 특히 무포장에서 가장 크게 나타났다. 이어 TPS 필름, 유공 필름, 무공 필름, 산소 제한 필름의 순이었다. 산소 제한 필름은 저장 28



Factors	Low temperature condition (10°C)	Room temperature condition (22°C)	Fluctuating temperatures condition (10°C to 22°C)
Packaging materials ¹⁾	*** ²⁾	***	***
Storage time	***	***	***
Packaging materials × storage time	***	***	***

Fig. 2. Changes in fresh weight loss of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials. All values are mean±SE (n=5). ^{2)***}Significant at p<0.001.

일 차에 상온에서 0.5%, 변온에서는 0.3%, 저온에서는 0.1%의 생체 중량 감소를 나타내었으며, 무공 필름은 상온에서 1.2%, 변온 0.5%, 저온 0.2%로 다른 포장재에 비해 낮은 생체 중량 감소율을 보였다. 반면, 유공 필름의 경우, 6.0-12.5%, TPS 필름의 경우 11.0-16.1%의 생체 중량 감소율을 나타내었고, 무포장은 상온에서 25.9%, 변온에서 18.7%, 저온에서 15.2%로 매우 큰 생체 중량 감소율을 나타내었다. 산소 제한 필름이나 무공 필름은 다른 필름 소재보다 가스 차단 정도가 다소 큰 것으로 사료되며, 따라서 이들 포장재를 사용한 경우, 내부의 가스 교환이 제한되고 호흡량이 감소하며, 수분 변화 정도가 적어서 온도 변화에도 불구하고 생체 중량 변화가 낮게 유지된 것으로 보인다. 반면, TPS 필름이나 유공 필름의 경우, 두 포장재보다 수분과 가스 교환이 많았기 때문에 생체 중량의 감소율이 다소 높았다. 무포장은 다른 포장 조건에 비해 생체 중량 변화 정도가 가장 높게 나타났는데, 외부 환경과의 직접적인 접촉으로 인해 수분 증발이 크게 일어났기 때문으로 판단된다.

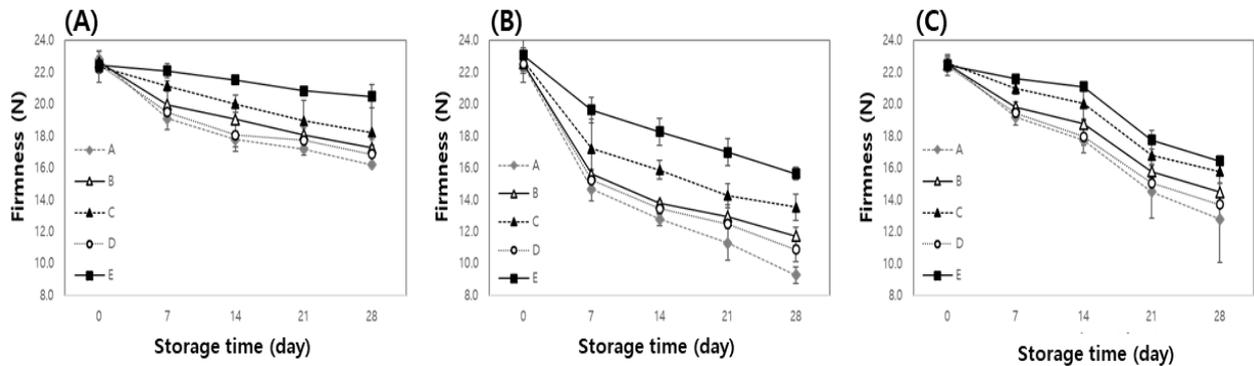
일반적으로 원예작물의 수분함량은 대부분 90-95% 이상으로, 5-10% 정도의 중량이 감소하면 상품성이 없는 것으로 알려져 있다(Chang 등, 2016; Kader, 1989; Kays, 1991). Powrie와 Skura(1991)는 원예작물에서 저장 온도와 포장재가 생체 중량 변화에 중요한 영향을 미치는 것으로 보고하였다. Lee 등(2008a)은 상추 저장 시 HDPE(high density polyethylene)와 PP 필름 등 포장재 차이보다 천공 여부가 생체 중량 변화에 영향을 미친다고 하였다. Lee 등(2006)도 포장 소재보다는 천공 여부에 따라서 외부와의 공기 접촉 여부에 따라 생체 중량 변화량이

달라진다고 하였다. Jung 등(2014)은 기체투과도가 낮은 포장재로 포장한 딸기의 경우 저장 중 외부로부터 공기의 유입을 막기 때문에 포장재 내부의 산소 농도가 매우 감소하고 호흡률이 낮아짐으로써 중량 감소가 적게 일어난다고 보고하였다. 따라서 파프리카의 생체 중량 감소율은 저장 온도에 의해 다소 영향을 받는 것으로 나타났지만, 포장재의 소재에 따른 공기 유입 정도와 외부 환경과의 직접적인 접촉 여부가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 파프리카 수확 후 중량감소 5% 미만의 상품성 유지를 위해서는 무공필름이나 산소 제한 필름 등의 포장재의 선택이 매우 중요한 것으로 판단된다.

3.2. 경도 변화

파프리카는 주로 생식으로 섭취되며, 이때 경도는 씹힘성과 밀접하게 관련되어 있어 소비자의 품질 평가에 중요한 항목이 된다(Change, 2017). 저장 온도와 포장재 종류에 따른 파프리카의 경도는 저장 기간 동안 유의적 차이를 나타내었다(Fig. 3과 Table S2). 각 저장 온도에서 저장 기간이 경과할수록 파프리카의 경도는 감소하는 경향을 보였으며, 저온 저장에서의 경도가 비교적 높게 유지되었고, 변온, 상온 조건 순으로 경도가 감소하였다.

저온 조건에서 파프리카의 경도는 초기 22.4-22.8 N에서 저장 28일 16.2-20.5 N으로 감소하지만, 다른 온도 조건보다 비교적 높게 유지되었다. 상온 조건에서는 저장 28일에 9.3-15.6 N의 경도로 큰 폭으로 감소하였다. 변온 조건에서는 저온 조건보다 변화 폭이 커서 28일째 12.8-16.4 N으로 감소하였다. 상



Factors	Low temperature condition (10°C)	Room temperature condition (22°C)	Fluctuating temperatures condition (10°C to 22°C)
Packaging materials ¹⁾	*** ²⁾	***	***
Storage time	***	***	***
Packaging materials × storage time	***	***	***

Fig. 3. Changes in firmness of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials. All values are mean±SE (n=5). ²⁾***Significant at p<0.001.

온에서 파프리카 경도의 급격한 감소는 비교적 높은 온도에서 대사 활동이 활발해지고, 수분 손실이 증가함에 따른 세포 조직의 변화 때문으로 판단된다. 반면 저온 조건에서는 대사 활동이 억제되어 상대적으로 경도가 잘 유지된 것으로 보인다.

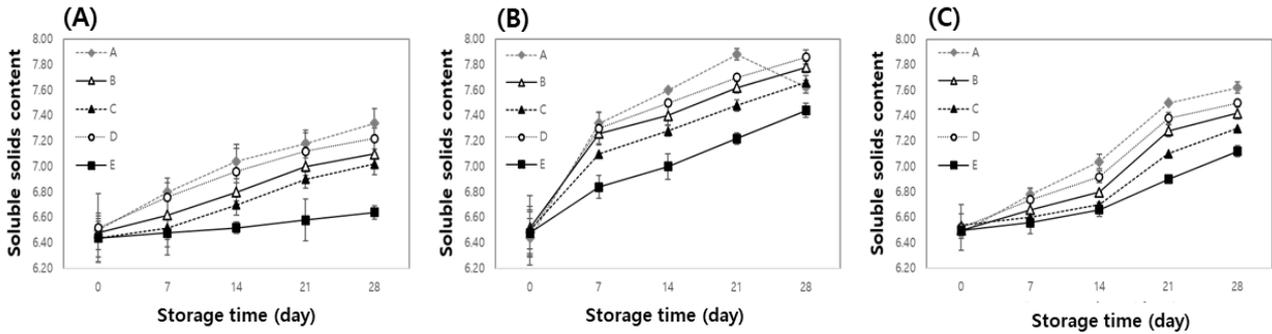
포장재 종류에 따른 경도는 모든 온도 조건에서 산소 제한 필름이 가장 높게 유지되었으며, 무공 필름, 유공 필름, TPS 필름, 무포장의 순을 나타내었다. 산소 제한 필름은 저장 7일에 19.6-22.1 N에서, 저장 28일에는 15.6-20.5 N으로 비교적 높게 유지되었다. 무공 포장은 저장 28일에 13.5-18.2 N이었고, 상온에서 15.3 N이었다. 유공 필름의 경우는 저장 28일에 11.7-17.3 N으로 감소하였다. TPS 필름 포장은 저장 28일에는 10.9-16.9 N으로 감소하였다. 무포장은 저장 28일에는 9.3-16.2 N으로 모든 온도 조건에서 경도 감소가 가장 큰 것으로 나타났다. 결론적으로 파프리카의 경도 변화는 저장 온도와 포장재에 크게 영향을 받으며, 특히 저온과 산소 제한 필름 포장에 경도 유지에 효과적인 것으로 나타났다. Powrie와 Skura(1991)는 과채류 경도 감소의 주요 원인이 펙틴 물질의 가용화와 그에 따른 세포벽 성분의 변화라고 보고하였다. Park 등(2011)은 파프리카 저장 중 상온 조건에서 OPP 필름이 PLA(poly-lactic acid) 필름에 비해 비교적 높은 경도 수치를 나타내어 포장재 종류에 따라 경도 변화에서 차이를 보이는 것을 보고하였다. 본 연구에서는 포장재를 통한 외부환경으로의 노출 차단, 수분 증발 방지 효과와 저온에서의 파프리카 내부 효소 활성의 저해를 통한 세포벽 가용화의 저지 등 포장재와 온도의 복합적인 작용이 파프

리카의 경도 유지에 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.3. 가용성 고형물 변화

파프리카의 가용성 고형물 함량은 저장 중 증가하는 것으로 나타났으며, 저장 온도 조건과 포장재에 따라 유의적 차이를 보였지만, 상호작용은 간헐적인 유의성을 보여서 일관된 결과를 나타내지 않았다(Fig. 4와 Table S3).

저온 조건에서 가용성 고형물 농도는 저장 전 6.5 °Brix에서 저장 28일에는 6.6-7.2 °Brix로 증가 폭이 크지 않았다. 이는 저온 조건에서는 수분증발속도가 느리고, 대사 활동이 억제되면서 가용성 고형물의 분해가 느려 천천히 축적되는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 상온 조건은 가용성 고형물 함량이 28일 후에 7.4-7.9 °Brix까지 증가하였는데, 상대적으로 높은 상온의 조건에서 생체내 수분증발량이 증가하면서 생체중량이 감소하고, 활발한 대사활동으로 가용성 고형물의 함량이 빠르게 축적된 것으로 보인다. 변온 조건은 상온으로 전환되면서 가용성 고형물이 증가하여 저장 28일에 7.1-7.6 °Brix에 도달하였다. 전반적으로 저장 온도에 따른 가용성 고형물 함량 변화가 저장 기간 동안의 수분 감소량과 많은 관련이 있을 것으로 판단되었으며, 이에 생체 중량 감소량과 고형물 함량 변화의 상관 분석 결과, 상관계수 0.731(p<0.01)의 높은 상관성을 나타내었다. 또한, 각 저장 온도 조건에 따른 가용성 고형물의 함량은 유의적 차이(p<0.001)를 보였다. 이러한 결과들을 통해 온도 조건이 가용성 고형물 함량 변화의 결정적인 요소인 것으로 나타났다.



Factors	Low temperature condition (10°C)	Room temperature condition (22°C)	Fluctuating temperatures condition (10°C to 22°C)
Packaging materials ¹⁾	**** ²⁾	***	***
Storage time	***	***	***
Packaging materials × storage time	***	***	***

Fig. 4. Changes in soluble solid content of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials. All values are mean±SE (n=5). ^{2)***}Significant at p<0.001.

포장재에 따른 가용성 고형물의 함량 변화를 보면, 산소 제한 필름이 모든 온도 조건에서 저장 28일에 6.6-7.4 °Brix를 나타내어 변화 정도가 가장 적었다. 특히 저온 조건에서는 초기 6.4 °Brix에서 28일에 6.6 °Brix를 나타내어 변화량이 가장 미미하였고, 변온 조건에서는 28일에 7.1 °Brix를 나타내어 다소 증가하였다. 무공 필름의 조건에서는 산소 제한 필름 다음으로 가용성 고형물의 변화가 억제되어, 저장 28일에 7.0-7.7 °Brix 이었다. 유공 필름과 TPS 필름은 다소 높은 가용성 고형물의 함량을 보여, 저장 28일에 각각 7.1-7.9 °Brix와 7.2-7.9 °Brix를 나타내었다. 무포장의 경우는 필름으로 포장한 것보다 다소 높은 경향을 나타내었으며(저장 28일에 7.3-7.6 °Brix), 특히 상온 조건에서는 저장 21일에 최대 7.9 °Brix를 나타내었고 이후 28 일에는 7.6 °Brix로 감소하였다. 각 온도 조건에서 파프리카 고형분 함량은 포장재에 따라 저장 기간 동안 유의적 차이를 나타내었으며, 이는 포장 재질이 파프리카 가용성 고형물 함량 유지에 중요한 영향을 미치고 있음을 보여준다.

결론적으로, 온도와 포장재의 상호작용에 의해 파프리카의 가용성 고형물 함량 변화는 저온의 산소 제한 필름 조건에서 가장 적게 나타났고, 상온의 무포장 조건에서 가장 크게 나타났다. 이는 저온 조건에서 산소 제한 포장재의 사용이 포장지 내 파프리카의 대사 과정과 수분 변화를 억제시키고, 궁극적으로 가용성 고형물의 변화를 최소화하는 효과를 나타낸 것으로 보인다.

Han 등(2016)은 파프리카 저장 시 가용성 고형물 함량이 증가하다 감소하는 결과를 보고하였는데, 본 연구에서의 상온 저장 시 무포장의 파프리카 가용성 고형물의 함량 변화와 유사한

경향을 보였다. Erdene 등(2022)은 파프리카의 가용성 고형물 함량이 저장 온도가 높으면 증가하고, 무포장 조건이 포장한 경우보다 증가 경향을 보였다고 하였다. 그러나 전반적으로 가용성 고형물의 함량 변화 현상은 관찰하였으나, 그 원인에 대한 명확한 고찰이 불충분하여 앞으로 규명하기 위한 지속적인 연구가 이루어져 할 것이다.

3.4. 외관 및 색상 변화(ΔE)

식품의 색상 변화는 간혹 품질 저하를 의미하며, 상품 가치의 상실을 의미하기도 한다. 각 조건 별 파프리카의 외관 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 전반적으로 저장 기간이 경과함에 따라 외관의 변화가 확인되었지만, 저장 온도 및 포장재 사용 여부에 따라 차이를 보였다. 저온과 변온 조건에서 포장재를 사용하여 포장한 경우, 28일간의 저장기간 동안 모두 뛰어난 상품성을 나타내었다. 포장재에 따른 파프리카의 외관 변화를 비교한 결과, 모든 온도 조건에서 산소 제한 필름이 저장기간 동안 파프리카의 상품성을 가장 효과적으로 보호하였다. 무공, 유공, TPS 필름은 각 온도 조건에서 산소 제한 필름보다는 덜 효과적이었지만, 비교적 상품성을 잘 유지하였다. 그러나 무포장 조건에서는 모든 온도 조건에서 저장 14일 이후부터 빠른 속도로 외관의 변화가 나타났다. 각 온도 조건에서 포장재 별 저장 기간에 따른 파프리카의 색상 변화(ΔE)의 결과는 Fig. 6과 Table S4에 나타내었다. 색상 변화값, ΔE는 초기 파프리카의 명도, 적색도, 황색도를 기준으로 저장기간이 경과한 시점에서의 각 값의 차를 이용하여 계산한 전체적인 색의 차이를 나타낸다. 저온 조건에서 색상 변화의 정도는 28일 차에 포장재 별 2.6-7.2

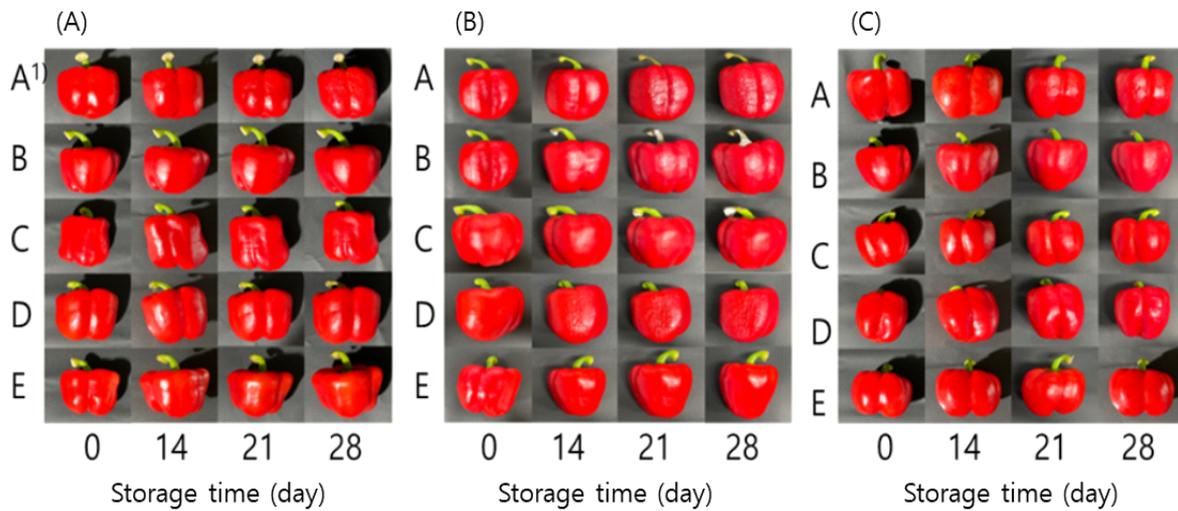
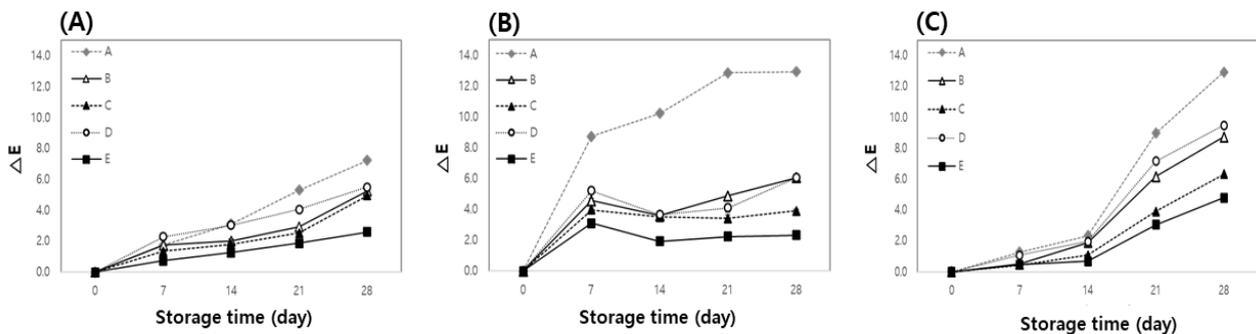


Fig. 5. Appearance changes of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials.



Factors	Low temperature condition (10°C)	Room temperature condition (22°C)	Fluctuating temperatures condition (10°C to 22°C)
Packaging materials ¹⁾	*** ²⁾	***	***
Storage time	***	***	***
Packaging materials × storage time	***	***	***

Fig. 6. Color differences (ΔE) of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials. All values are mean \pm SE (n=5). ²⁾***Significant at p<0.001. Color difference (ΔE): trace=0-1.5; appreciable= 1.5-6.0; much=6.0-.

정도로 전체적으로 낮게 나타났다. 상온 조건에서는 무포장의 경우 색상의 변화가 큰 폭으로 증가하여 28일 차에 12.9까지 나타내었고, 포장을 한 경우는 2.3-6.1의 값을 나타내어 변화의 폭이 크지 않았다. 반면, 변온 조건에서는 22°C로 전환된 이후 급격히 증가하였고, 무포장을 제외하고는 상온 조건보다 오히려 높은 값인 4.8-9.5를 나타내었다.

가장 낮은 색상 변화를 보인 포장재는 산소 제한 필름이었

다. 저온과 상온 조건에서 산소 제한 필름으로 저장한 파프리카의 색상 변화는 저장 28일째에 각각 2.6, 2.3의 값을 나타내었으며, 색상 변화의 값이 크지 않았다. 이는 산소 제한을 통한 산화 반응 등이 억제되면서 색상 변화의 폭이 크지 않은 것으로 판단되었다. 그러나 변온 조건에서는 22°C로 전환하는 시점인 21일 차에 급격한 색상 변화를 보여 3.1을, 28일 차에 4.8까지 증가하였다. 이는 산소 제한 상태에서도 온도 변화 등의 스

트레스 상황이 색상의 변화를 유도하는 큰 요인으로 될 수 있음을 시사한다. 무포장의 경우는, 상온과 변온 조건에서 28일 차 각각 12.9, 12.9로 비슷한 정도의 큰 색상 변화를 보였으며 색상의 안정성을 유지하는 데 어려운 것으로 보였다.

결론적으로 저장 온도가 파프리카의 외관 및 색상 변화에 중요한 요인으로 작용하였고, 온도 조건이 다양하더라도 포장재 필름 종류에 따라 외관의 변화를 줄여 상품성 유지 조건을 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 저온 저장과 산소 제한 필름 포장의 조합이 파프리카의 외관 및 색상 변화를 최소화하기 위한 가장 효과적인 방법으로 확인되었으며, 모든 온도 조건에서 무포장은 외관 및 색상 변화에 큰 변화를 나타내어 품질 유지에 한계를 보였다.

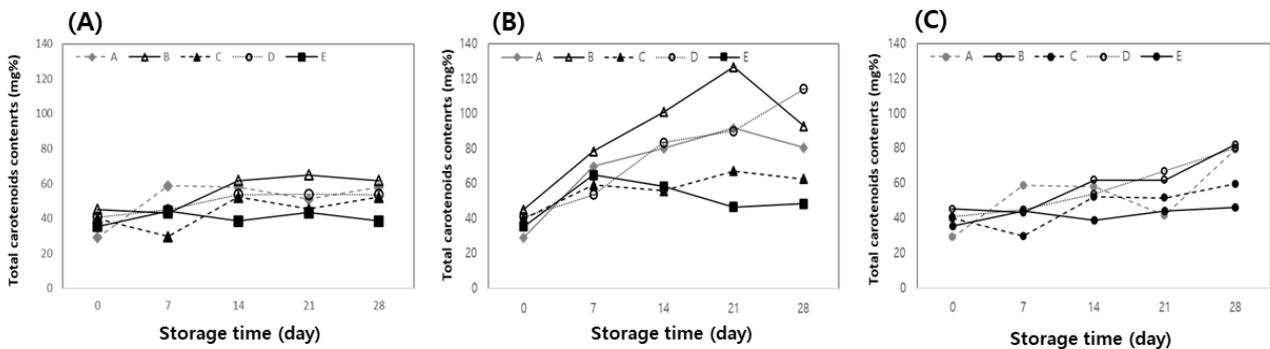
3.5. 총카로티노이드 함량 변화

카로티노이드는 파프리카의 색을 결정하는 중요한 색소 성분으로 파프리카의 중요한 품질 요소이며, 체내의 자유 라디칼을 제거하는 강력한 항산화 특성을 가지고 있다(Kim 등, 2011b). 저온, 상온, 변온 조건에서의 포장재에 따른 파프리카의 카로티노이드 함량 변화는 Fig. 7과 Table S5에 나타내었다. 저온 조건에서의 카로티노이드 함량은 저장 시간이 경과함에 따라 소폭 증감은 있었지만, 초기 29-45 mg%에서 저장 28일 차에 39-62 mg%를 나타내어 대부분 안정적으로 유지되는 경향을 보였다. 변온 조건에서는 변온 시점인 21일 차부터 소폭 증가하여 저장 28일 차에 46-82 mg%의 함량을 보였다. 상온 조건에서의 카로티노이드 함량은 저장 28일 차에 49-114 mg%를 나타내어 저온

조건에 비해 약 1.3-1.7배 수준의 증가를 보였다.

포장재에 따른 카로티노이드 함량의 변화 정도는 유의적 차이를 나타내었다. 무공 필름과 산소 제한 필름의 경우, 저온 조건에서 각각 33-52 mg%, 39-44 mg%의 카로티노이드 함량을 나타내었으며, 상온 조건에서는 각각 56-67 mg%, 47-65 mg%, 변온 조건의 경우 각각 30-60 mg%, 35-46 mg%의 함량을 나타내어 그 변화 정도가 낮고 안정적이었다. 그러나 무포장 및 유공 필름, TPS 필름의 경우, 상온 조건에서 카로티노이드 농도가 큰 폭으로 증가하였다. 유공 필름 포장에서는 카로티노이드 농도가 가장 큰 폭으로 증가하여 저장 21일 차에 최대 127 mg%에 도달한 후 감소하였다. 무포장의 경우에도 21일 차에서 최대 92 mg%의 카로티노이드 함량을 나타내었고 이후 소폭 감소하였다. TPS 필름의 경우에는 저장기간이 경과할수록 지속적으로 증가하여 28일 차에 최대 114 mg%의 함량을 나타내었다. 변온 조건에서는 무포장 및 유공 필름, TPS 필름의 경우, 28일 차에 각각 79 mg%, 82 mg%, 80 mg%의 카로티노이드 함량을 나타내어 저온 조건에 비해 상대적으로 변화의 폭이 컸다.

일반적으로, 대부분의 고추과 품종에서는 숙성 동안 카로티노이드의 합성이 증가되며, 온도가 높을수록 대사활동이 활발해지고 생합성 속도가 증가하는 것으로 보고되고 있다(Sun 등, 2018). 이러한 결과로부터 저장 중 온도 요인은 파프리카의 카로티노이드 합성에 중요한 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한, 각 저장온도에서 포장재에 따른 유의한 차이가 나타났다. 무포장 및 유공 필름, TPS 필름의 경우에는 저장기간 동안 카로티노이드 함량이 증가하는 양상을 보인 반면, 산소 제한 필름



Factors	Low temperature condition (10°C)	Room temperature condition (22°C)	Fluctuating temperatures condition (10°C to 22°C)
Packaging materials ¹⁾	**** ²⁾	***	***
Storage time	***	***	***
Packaging materials × storage time	***	***	***

Fig. 7. Total carotenoids contents of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials. All values are mean±SE (n=5). ^{2)***}Significant at p<0.001.

은 저온과 변온 조건에서 함량 변화가 적어 안정적이었고, 상온 조건에서는 감소하는 양상을 보였다. 두 종류의 포장재들의 차이점은 외부 환경과의 직접적인 접촉 여부와 관련이 있다. 일반적으로 식물은 온도, 빛, 산소 등 다양한 스트레스 환경 조건에 노출되었을 때 자신을 보호하기 위한 방어기작을 작동시켜서 다양한 항산화 물질(phytochemical)을 축적시킨다(Davies, 1995). 외부 환경에 노출된 무포장, 유공필름으로 포장된 파프리카는 산소에 의한 산화적 스트레스에 대응한 카로티노이드의 합성을 증가시키는 것으로 생각되며, 어느 정도의 산소가 제한되는 무공필름이나 산소 제한 필름의 경우 카로티노이드의 함량이 안정적으로 유지되는 것으로 사료된다.

본 연구에서 파프리카는 저온 및 변온 조건에서 카로티노이드 함량이 안정적으로 유지되었으며, 상온에서는 증가 후 감소하는 양상을 보였다. 특히 산소 제한 포장재는 카로티노이드 함량 변화를 최소화하며 품질 유지에 효과적이었다. 따라서 저장 온도와 포장재가 카로티노이드 합성에 중요한 영향을 미치며 적절한 온도 조건의 설정과 산소 제한 포장재의 선택은 파프리카의 품질유지를 위한 중요한 기준이 될 것이다.

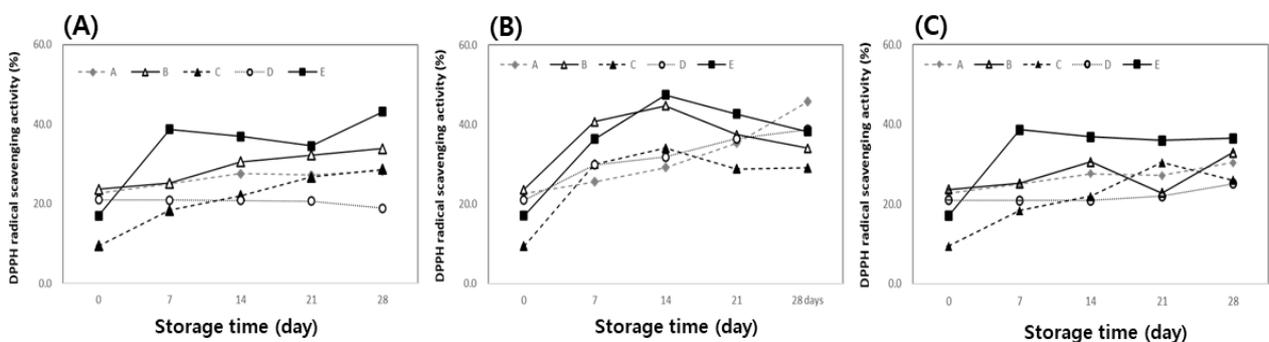
본 연구에서 파프리카는 저온 및 변온 조건에서 카로티노이드 함량이 안정적으로 유지되었으며, 상온에서는 증가 후 감소하는 양상을 보였다. 특히 산소 제한 포장재는 카로티노이드 함량 변화를 최소화하며 품질 유지에 효과적이었다.

3.6. DPPH 라디칼 소거능 변화

DPPH 라디칼 소거능은 각 조건의 파프리카 건조 분말을 일 정농도(10 mg/mL)로 맞추어 측정하였고, 저장 온도 및 포장재

에 따른 다양한 경향을 확인하였다(Fig. 8과 Table S6). 저온 조건에서는 저장 기간이 길어질수록 무포장, 유공 필름, 무공 필름은 DPPH 소거능이 증가하는 경향을 나타내었으며, 약 30% 전후의 소거능을 나타내었다. TPS 필름의 경우, 저장기간 동안 일정한 20% 정도를 유지하였다. 반면 산소 제한 필름의 경우는 다른 포장재에 비해 높은 약 40%의 DPPH 소거능을 나타냈다. 상온 조건에서는 대부분 저장기간이 길어질수록 큰 폭으로 증가하였다. 특히 무포장과 TPS 필름 포장의 경우에 시간이 지날수록 지속적으로 증가하여 28일 차에 각각 46%, 39%까지 증가하였다. 유공 필름, 무공 필름, 산소제한 필름의 경우 14일 차에 가장 높은 소거능을 나타내었으며 이후 감소하였다. 이중 산소 제한 필름의 경우 14일 차에 47%의 소거능을 보여 가장 높은 값을 나타내었다. 변온 조건에서는 변온 시점인 21, 28일 차에 포장재 별 약간의 증감이 있었지만 저온 조건과 큰 차이를 나타내지는 않았다. 전반적으로 상온 조건에서 높은 DPPH 소거능을 나타내었으며, 산소 제한 필름을 사용한 경우, 대부분의 온도조건에서 높은 소거능을 유지하였다.

DPPH는 항산화제, 방향족 아민류 등으로부터 수소나 전자의 공여로 환원될 수 있는 안정적인 free radical이다(Blois, 1958; Lee 등, 2008b). 이러한 DPPH 라디칼을 환원시킬 수 있는 작용을 라디칼 소거능이라 하고, 항산화 활성을 의미한다(Lee 등, 2008b). 파프리카는 카로티노이드, 비타민 C, 폴리페놀 등의 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있으며, 이들이 항산화 활성을 나타내는 주요한 물질이 될 수 있다(Deepa 등, 2006; Kim 등, 2011b; Marin 등, 2004). 앞서 분석한 카로티노이드 함량과 DPPH 라디칼 소거능과의 상관성 분석 결과(data not shown),



Factors	Low temperature condition (10°C)	Room temperature condition (22°C)	Fluctuating temperatures condition (10°C to 22°C)
Packaging materials ¹⁾	*** ²⁾	***	***
Storage time	***	***	***
Packaging materials × storage time	***	***	***

Fig. 8. DPPH radical scavenging activities of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature [10°C, (A)], room temperature [22°C, (B)] and fluctuating temperatures [10°C to 22°C, (C)] for 28 days. ¹⁾Refer to Fig. 1 for packaging materials. All values are mean±SE (n=5). ^{2)***}Significant at p<0.001.

상온 조건에서 상관계수 0.54($p=0.005$)의 값을 나타내어 유의적 상관성을 나타내었다. 상온 조건에서의 카로티노이드 함량은 저온이나 변온 조건에 비해 큰 폭으로 증가하였으며, 이러한 함량의 증가가 DPPH 소거능에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 본 연구 결과, 저온 조건에서 DPPH 라디칼 소거능은 비교적 안정적으로 유지되었고, 상온 조건에서는 저장 기간 동안 크게 증가하였다. 필름 종류에 따라서는 산소 제한 필름은 모든 온도 조건에서 높은 DPPH 소거능을 나타내며 항산화 활성 유지에 효과적이었다. 또한, 카로티노이드 함량 증가는 DPPH 소거능과 상관성을 가지며, 저장 온도와 포장재 선택이 항산화 활성을 결정하는 주요 요인인 것으로 나타났다. 따라서 파프리카 유통 시 항산화 활성 유지를 위해 적절한 저장 온도를 설정하고, 산소 제한 포장재를 활용하는 것이 효과적으로 보인다.

본 연구에서는 저온, 변온, 상온의 온도 조건에서 다양한 포장재의 적용을 통해 파프리카의 품질을 안정적으로 유지하고 저장성을 연장시킬 수 있는 가능성을 검토하였다. 전반적으로 저온 조건은 파프리카의 품질 유지 및 항산화 활성이 안정적으로 보존되는 가장 적절한 온도 조건이었다. 또한, 포장재의 사용이 파프리카의 상품성을 유지하는 데 유리하였으며, 다양한 포장재 중에서 산소 제한 필름은 생체 중량과 외관, 경도, 가용성 고형물 함량, 색상유지, 카로티노이드 함량 및 항산화 활성 유지에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 저온 저장과 산소 제한 필름 포장이 수분 손실과 대사 활동을 억제하여 품질을 오래 보존하는 데 가장 유리하였으며, 저장 28일째에도 0.1%의 중량 감소, 20.5 N의 경도 유지, 2.6의 미미한 색차 변화 정도를 나타내었다. 일반적으로 파프리카는 저장 및 유통 기간 동안 다양한 온도 변화를 겪고 있으며, 이와 유사한 환경인 변온 조건에서는 포장재 사용 여부와 포장재 종류에 따라 그 품질 유지가 결정될 수 있었다. 특히 산소 제한 필름을 사용한 경우, 저장 28일째까지도 0.1%의 중량 감소, 4.8의 색차 변화를 나타내어, 다소 안정적으로 품질을 유지할 가능성을 보였다. 결론적으로 저온조건에서 산소 제한 필름을 이용한 포장 처리가 파프리카의 품질을 잘 유지하여 오랫동안 상품성을 보존하는 데 가장 효과적이었다. 추가로 다양한 온도 변화를 겪는 유통 저장 조건중에서도 산소 제한 필름 포장을 적용한다면, 파프리카의 상품성을 다소 안정적으로 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 요약

본 연구에서는 파프리카 *Mavera F1* 품종을 이용하여, 저온(10°C), 상온(22°C), 그리고 변온(10°C에서 22°C) 조건 하에 다양한 포장재(무포장, 유공, 무공, TPS, 산소 제한 필름)를 사용하여 28일간 저장하면서, 각 조건에서의 외관의 신선도, 생체 중량 감소율, 경도, 가용성 고형물 함량, 외관 및 색상 변화, 카로티노이드 함량, DPPH 라디칼 소거능의 변화 등의 품질 특성을

을 비교하였다. 저온 조건은 파프리카의 선도 및 상품성 유지, 항산화 활성이 안정적으로 보존되는 가장 적절한 온도 조건이었으며, 상온 조건은 빠른 품질 저하 현상이 나타났다. 포장재 사용 여부에 대해서는, 각 온도 조건에서 포장을 한 것이 무포장보다 생체 중량 감소율 등의 품질 변화폭이 적어, 상품성 유지에 효과적인 것으로 나타났다. 다양한 포장재 중에서 산소 제한 필름은 생체 중량과 외관, 경도, 가용성 고형물 함량, 외관 및 색상 유지, 카로티노이드 함량 및 항산화 활성 유지에 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 다양한 온도 변화 가능성을 가진 실제 유통 저장 조건과 유사한 변온 조건에서도 산소 제한 필름의 적용으로 일정 수준 이상의 품질의 유지를 확인할 수 있었다. 결론적으로 저온 저장과 산소 제한 필름 포장이 수분 손실과 대사 활동을 억제하여 품질을 오래 보존하는 데 가장 유리하며, 변온 조건에서도 산소 제한 필름 포장을 적용한다면 일정 수준 이상의 품질 유지가 가능할 것이다. 본 연구를 통하여 한국 내 유통이나 해외수출 시에 파프리카의 상품성을 잘 유지할 수 있도록 최적의 온도 조건과 기능성 포장재와의 조합 조건을 제시할 수 있었다.

Supplementary materials

Supplementary materials are only available online from: <https://doi.org/10.11002/fsp.2025.32.1.106>.

Funding

The research was supported by Jeonbuk State Agricultural Research & Extension (Project No.: RS-2022-RD010401).

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kang CS. Methodology: Kim MR, Lim JH. Formal analysis: Kim MR, Lim JH. Validation: Kang CS. Writing - original draft: Kim MR. Writing - review & editing: Kim MR, Kang CS.

Ethics approval

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

ORCID

Mi-Ryung Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0003-3294-4199>

Jun-Hyung Lim (Co-author)

<https://orcid.org/0009-0001-0810-1346>

Chang-Soo Kang (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0002-3284-9987>

References

- An CG, Lee JS. Quality changes of hydroponically grown 'new raon red' paprika packaged in corrugated box as affected by storage temperature. *Korean J Packag Sci Tech*, 29, 35-41 (2023)
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199-1200 (1958)
- Chang MS, Lee JS. Effects of packaging methods on the freshness during storage of lettuce harvested in summer season of Korea. *Korean J Food Preserv*, 24, 159-167 (2017)
- Choi IL, Lee YB, Kim IS, Kang HM. A comparison of the storability in MA storage and the quality of paprika fruit among cultivars. *J Bio-Env Con*, 21, 252-260 (2012)
- Choi SN, Chung NY. Quality and sensory characteristics of cashew dressing added with paprika juice. *J Korean Diet Assoc*, 21, 1-10 (2015)
- Davies KJA. Oxidative stress: The paradox of aerobic life. *Biochem Soc Symp*, 61, 1-32 (1995)
- Deepa N, Kaur C, Singh B, Kapoor HC. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *J Food Compos Anal*, 19, 572-578 (2006)
- Erdene BB, Lee JS, Park MH, Choi JW, Eum HL, Malka SK, Yun Y, Kim CH, Kim HC, Lee JW, Park KY, Bae JH, Lee YS, Jeong CS, Park JS. Quality changes as affected by storage temperature and polyamide film packaging in paprika (*Capsicum annuum* L.). *Korean J Packag Sci Tech*, 28, 115-125 (2022)
- Food and Agriculture Organization (FAO). Compendium of food additive specifications, 69rd Meeting FAO JECFA Monographs 5. Available from: <http://www.fao.org/3/i0345e/i0345e00.htm>. Accessed Nov. 13, 2019.
- Han GM, Jung JM, Hwang YS, Lee WH, Chung SO. Freshness degradation by temperature and humidity from harvest to storage for paprika. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*, 21, 135-136 (2016)
- Jang DC, Choi KY, Heo JY, Kim IS. Comparison of growth and fruit setting characteristics for selecting the optimum winter planted paprika cultivars. *Korean J Horti Sci Technol*, 34, 424-432 (2016)
- Jang MS, Lee JS. Effects of packaging methods on the freshness during storage of lettuce harvested in summer season of Korea. *Korean J Food Preserv*, 24, 159-167 (2017)
- Jeong CH, Ko WH, Cho JR, Ahn CG, Shim KH. Chemical components of Korean paprika according to cultivars. *Korean J Food Preserv*, 13, 43-49 (2006)
- Jeong EM, Kim WT, Yun SR, Yun SH. The actual condition and subjects of paprika in Korea. *Korea Rural Economic Institute*, Seoul, Korea, p1-100 (2008)
- Jung SH, Kang JH, Park SJ, Seong KH, Song KB. Quality changes in 'Elliot' blueberries and 'Sulhyang' strawberries packed with two different packaging materials during refrigerated storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 43, 901-908 (2014)
- Kader AA, Zagory D, Kerbel EL, Wang CY. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 28, 1-30 (1989)
- Kang HM, Choi IL, Kim IS. Effect of cultural regions or methods on postharvest physiological characteristics and qualities of paprika fruits. *J Bio-Env Con*, 17, 325-329 (2008)
- Kays SJ. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. AVI Publishing, New York, NY, USA, p 356-357 (1991)
- Kim JS, Ahn J, Ha TY, Rhee HC, Kim S. Comparison of phytochemical and antioxidant activities in different color stages and varieties of paprika harvested in Korea. *Korean J Food Sci Technol*, 43, 564-569 (2011a)
- Kim JS, Ahn JY, Lee SJ, Moon BK, Ha TY, Kim SN. Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (*Capsicum annuum* L., var. Special) cultivated in Korea. *J Food Sci*, 76, 193-198 (2011b)
- Lee JS. Growth of non-powered hydroponics equipment and quality characteristics according to post-harvest packaging by cultural methods on leaf lettuce. *Korean J Packag Sci Tech*, 28, 231-226 (2022)
- Lee JS. Quality changes as affected by storage temperature and PP film packaging on 'Sirocco' paprika on hydroponic. *Korean J Packaging Sci Tech*, 29, 59-65 (2023)
- Lee JS, Chung DS, Choi JW, Jo MA, Lee YS, Chun CH. Effects of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce, *Korean J Food Preserv*, 13, 8-12 (2006)
- Lee JS, Lee HE, Lee YS, Chun CH. Effect of packaging methods on the quality of leaf lettuce. *Korean J Food Preserv*, 15, 630-634 (2008a)
- Lee JW. Present condition of paprika cultivation and its prospects for export. *Kor Res Soc Protected Hort*, 14, 36-41 (2001)
- Lee SG, Yu MH, Lee SP, Lee IS. Antioxidant activities and induction of apoptosis by methanol extracts from avocado. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 37, 269-275 (2008b)
- Lee SM, Kim JS, An CG, Park JS, Kim S. Assessment of paprika quality by instrumental parameters and sensory

- attributes. *J East Asian Soc Dietary Life*, 26, 34-43 (2016)
- Lim CS, Kim JM, Kim BS, Cho JL, Kang SM, Hwang HJ, Ah CG. Ethephon and temperature treatment improve the coloration of irregularly colored paprika (*Capsicum annuum*. cv). *Kor J Hort Sci Technol*, 23, 70 (2005)
- Marín A, Ferreres F, Tomás-Barberán FA, Gil MI. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Agric Food Chem*, 52, 3861-3869 (2004)
- Park HW, Kim SH, Lee SA. Freshness of paprika packed with PLA films. *Korean J Packag Sci Tech*, 17, 7-11 (2011)
- Powrie WD, Skura BJ. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. In: *Modified Atmosphere Packaging of Food*, Ooraikul B, Stiles ME (Editors), Ellis Horwood Limited, West Sussex, England, p 169-245 (1991)
- Rural Development Administration (RDA). *Paprika*. RDA, Wanju, Korea, p 83-84 (2020)
- Sun T, Yuan H, Cao H, Yazdani M, Tadmor Y, Li L. Carotenoid metabolism in plants: The role of plastids. *Mol Plant*, 11, 58-74 (2018)

Supplementary materials

Table S1. Changes in fresh weight loss of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature (10°C), room temperature (22°C) and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) for 28 days

Temp. cond.	Packaging materials	0 day	7 days	14 days	21 days	28 days	p-value
Low	A ¹⁾	0.0±0.00 ^{2)k3)}	3.7±0.00 ^d	4.3±0.00 ^c	11.9±0.00 ^b	15.2±0.00 ^a	0.000
	B	0.0±0.00 ^c	1.3±0.00 ^d	2.9±0.00 ^c	4.5±0.00 ^b	6.0±0.00 ^a	0.000
	C	0.0±0.00 ^d	0±0.00 ^c	0.1±0.00 ^c	0.2±0.00 ^a	0.2±0.00 ^b	0.000
	D	0.0±0.00 ^d	2.8±0.00 ^c	4.2±0.00 ^c	8.3±0.00 ^b	11.0±0.00 ^a	0.000
	E	0.0±0.00 ^c	0.0±0.00 ^b	0.0±0.00 ^b	0.1±0.00 ^a	0.1±0.00 ^a	0.000
Room	A	0.0±0.00 ^c	6.2±0.00 ^d	13.9±0.00 ^c	18.8±0.00 ^b	25.9±0.00 ^a	0.000
	B	0.0±0.00 ^c	2.1±0.00 ^d	5.1±0.00 ^c	8.0±0.00 ^b	12.5±0.00 ^a	0.000
	C	0.0±0.00 ^c	0.2±0.00 ^d	0.3±0.00 ^c	0.7±0.00 ^b	1.2±0.00 ^a	0.000
	D	0.0±0.00 ^c	3.8±0.00 ^d	8.7±0.00 ^c	12.3±0.00 ^b	16.1±0.00 ^a	0.000
	E	0.0±0.00 ^c	0.1±0.00 ^d	0.2±0.00 ^c	0.3±0.00 ^b	0.5±0.00 ^a	0.000
Fluctuating	A	0.0±0.00 ^c	4.7±0.00 ^d	9.4±0.00 ^c	12.8±0.00 ^b	18.7±0.00 ^a	0.000
	B	0.0±0.00 ^c	1.0±0.00 ^d	2.5±0.00 ^c	3.8±0.00 ^b	6.3±0.00 ^a	0.000
	C	0.0±0.00 ^d	0.1±0.00 ^c	0.1±0.00 ^c	0.2±0.00 ^b	0.5±0.00 ^a	0.000
	D	0.0±0.00 ^c	2.2±0.00 ^d	5.2±0.00 ^c	7.6±0.00 ^b	12.0±0.00 ^a	0.000
	E	0.0±0.00 ^c	0.0±0.00 ^c	0.1±0.00 ^b	0.1±0.00 ^b	0.3±0.00 ^a	0.000

¹⁾A, unpagaged treatment; B, perforated PP film; C, non-perforated PP film; D, thermoplastic starch film; E, oxygen restricted film.

²⁾All values are mean±SE (n=5).

³⁾Different superscript letters with the same columns indicate significant differences according to LSD test (p<0.05).

Table S2. Changes in firmness of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature (10°C), room temperature (22°C) and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) for 28 days

Temp. cond.	Packaging materials	0 day	7 days	14 days	21 days	28 days	p-value
Low	A	22.8±0.50 ^a	19.1±0.69 ^b	17.8±0.69 ^c	17.2±0.69 ^c	16.2±0.18 ^d	0.000
	B	22.6±0.71 ^a	20.0±0.87 ^b	19.0±0.87 ^{bc}	18.1±0.87 ^{cd}	17.3±0.52 ^d	0.000
	C	22.4±0.98 ^a	21.2±0.33 ^{ab}	20.0±0.33 ^{bc}	19.0±0.33 ^{cd}	18.2±1.98 ^d	0.000
	D	22.5±0.51 ^a	19.5±0.39 ^b	18.1±0.39 ^c	17.7±0.39 ^{cd}	16.9±0.55 ^d	0.000
	E	22.4±0.43 ^a	22.1±0.45 ^{ab}	21.5±0.45 ^b	20.8±0.45 ^c	20.5±0.74 ^c	0.000
Room	A	22.5±1.10 ^a	14.7±0.72 ^b	12.8±0.72 ^c	11.3±0.72 ^d	9.3±0.52 ^e	0.000
	B	22.6±0.40 ^a	15.6±0.23 ^b	13.8±0.23 ^c	12.9±0.23 ^d	11.7±0.57 ^e	0.000
	C	22.7±0.79 ^a	17.2±1.87 ^b	15.9±1.87 ^b	14.3±1.87 ^c	13.5±0.81 ^c	0.000
	D	22.5±0.22 ^a	15.2±0.68 ^b	13.5±0.68 ^c	12.5±0.68 ^d	10.9±0.77 ^e	0.000
	E	23.1±1.02 ^a	19.6±0.82 ^b	18.3±0.82 ^c	17.0±0.82 ^d	15.6±0.40 ^e	0.000
Fluctuating	A	22.6±0.42 ^a	19.2±0.50 ^b	17.7±0.50 ^c	14.5±0.50 ^d	12.8±2.72 ^e	0.000
	B	22.5±0.43 ^a	19.8±0.32 ^b	18.8±0.32 ^c	15.8±0.32 ^d	14.5±0.53 ^e	0.000
	C	22.6±0.54 ^a	21.0±0.37 ^b	20.0±0.37 ^b	16.8±0.37 ^c	15.8±0.72 ^e	0.000
	D	22.4±0.61 ^a	19.4±0.40 ^b	18.0±0.40 ^c	15.1±0.40 ^d	13.7±0.75 ^e	0.000
	E	22.5±0.66 ^a	21.6±0.17 ^b	21.1±0.17 ^b	17.7±0.17 ^c	16.4±0.31 ^d	0.000

Table S3. Change in soluble solid content of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature (10°C), room temperature (22°C) and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) for 28 days

Temp. cond.	Packaging materials	0 day	7 days	14 days	21 days	28 days	p-value
Low	A	6.50±0.07 ^c	6.80±0.07 ^d	7.04±0.13 ^c	7.18±0.08 ^b	7.34±0.11 ^a	0.000
	B	6.48±0.13 ^c	6.62±0.19 ^c	6.80±0.07 ^b	7.00±0.07 ^a	7.10±0.00 ^a	0.000
	C	6.44±0.19 ^c	6.52±0.22 ^{bc}	6.70±0.08 ^b	6.90±0.07 ^a	7.02±0.08 ^a	0.000
	D	6.52±0.27 ^d	6.76±0.15 ^c	6.96±0.18 ^{bc}	7.12±0.16 ^{ab}	7.22±0.08 ^a	0.000
	E	6.44±0.15 ^b	6.48±0.11 ^{ab}	6.52±0.04 ^{ab}	6.5±0.16 ^{ab}	6.64±0.05 ^a	0.088
Room	A	6.44±0.15 ^d	7.34±0.09 ^c	7.60±0.00 ^b	7.88±0.04 ^a	7.63±0.05 ^{bc}	0.000
	B	6.52±0.16 ^c	7.26±0.09 ^d	7.40±0.07 ^c	7.62±0.04 ^b	7.78±0.04 ^a	0.000
	C	6.50±0.27 ^c	7.10±0.00 ^d	7.28±0.04 ^c	7.48±0.04 ^b	7.66±0.05 ^a	0.000
	D	6.48±0.18 ^c	7.30±0.12 ^d	7.50±0.00 ^c	7.70±0.00 ^b	7.86±0.05 ^a	0.000
	E	6.48±0.16 ^c	6.84±0.09 ^d	7.00±0.10 ^c	7.22±0.04 ^b	7.44±0.05 ^a	0.000
Fluctuating	A	6.48±0.04 ^c	6.78±0.04 ^d	7.04±0.05 ^c	7.50±0.00 ^b	7.62±0.04 ^a	0.000
	B	6.50±0.00 ^c	6.66±0.05 ^d	6.80±0.00 ^c	7.28±0.04 ^b	7.42±0.04 ^a	0.000
	C	6.54±0.09 ^c	6.60±0.00 ^d	6.70±0.00 ^c	7.10±0.00 ^b	7.30±0.00 ^a	0.000
	D	6.52±0.18 ^d	6.74±0.09 ^c	6.92±0.04 ^b	7.38±0.04 ^a	7.50±0.00 ^a	0.000
	E	6.50±0.00 ^d	6.56±0.09 ^d	6.66±0.05 ^c	6.90±0.00 ^b	7.12±0.04 ^a	0.000

Table S4. Color differences (ΔE) of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature (10°C), room temperature (22°C) and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) for 28 days

Temp. cond.	Packaging materials	0 day	7 days	14 days	21 days	28 days	p-value
Low	A	0.0±0.00 ^c	1.7±0.10 ^d	3.1±0.10 ^c	5.3±0.10 ^b	7.2±0.10 ^a	0.000
	B	0.0±0.00 ^c	1.7±0.10 ^d	2.0±0.10 ^c	2.9±0.00 ^b	5.2±0.10 ^a	0.000
	C	0.0±0.00 ^c	1.4±0.10 ^d	1.8±0.10 ^c	2.5±0.00 ^b	5.0±0.00 ^a	0.000
	D	0.0±0.00 ^c	2.3±0.10 ^d	3.0±0.20 ^c	4.1±0.10 ^b	5.5±0.10 ^a	0.000
	E	0.0±0.00 ^c	0.7±0.10 ^d	1.3±0.10 ^c	1.9±0.10 ^b	2.6±0.10 ^a	0.000
Room	A	0.0±0.00 ^d	8.7±0.10 ^c	10.2±0.10 ^b	12.9±0.10 ^a	12.9±0.00 ^a	0.000
	B	0.0±0.00 ^c	4.6±0.20 ^d	3.6±0.10 ^c	4.9±0.10 ^b	6.0±0.10 ^a	0.000
	C	0.0±0.00 ^c	4.0±0.10 ^a	3.5±0.00 ^b	3.4±0.20 ^b	3.9±0.10 ^a	0.000
	D	0.0±0.00 ^c	5.2±0.10 ^d	3.7±0.20 ^c	4.1±0.30 ^b	6.0±0.10 ^a	0.000
	E	0.0±0.00 ^c	3.1±0.00 ^a	1.9±0.10 ^d	2.2±0.00 ^c	2.3±0.10 ^b	0.000
Fluctuating	A	0.0±0.00 ^c	1.3±0.00 ^d	2.3±0.00 ^c	9.0±0.10 ^b	12.9±0.00 ^a	0.000
	B	0.0±0.00 ^c	0.5±0.10 ^d	1.9±0.10 ^c	6.2±0.00 ^b	8.7±0.00 ^a	0.000
	C	0.0±0.00 ^c	0.4±0.10 ^d	1.1±0.10 ^c	3.9±0.10 ^b	6.3±0.00 ^a	0.000
	D	0.0±0.00 ^c	1.1±0.10 ^d	2.0±0.10 ^c	7.2±0.00 ^b	9.5±0.00 ^a	0.000
	E	0.0±0.00 ^c	0.5±0.10 ^d	0.7±0.00 ^c	3.1±0.00 ^b	4.8±0.00 ^a	0.000

Table S5. Total carotenoids contents of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature (10°C), room temperature (22°C) and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) for 28 days

Temp. cond.	Packaging materials	0 day	7 days	14 days	21 days	28 days	p-value
Low	A	29.11±0.61 ^c	58.70±0.15 ^b	57.94±0.20 ^a	51.05±2.40 ^a	57.94±0.20 ^a	0.000
	B	45.24±1.53 ^c	43.21±0.1 ^d	61.84±0.78 ^b	65.00±1.01 ^a	61.84±0.78 ^b	0.000
	C	40.00±0.19 ^c	29.81±1.26 ^d	52.25±0.94 ^a	45.43±0.27 ^b	52.25±0.94 ^a	0.000
	D	40.83±0.11 ^b	44.95±0.19 ^b	53.78±0.48 ^a	53.95±2.76 ^a	53.78±0.48 ^a	0.000
	E	35.46±0.44 ^c	44.13±0.68 ^a	38.67±0.76 ^b	43.43±0.66 ^a	38.67±0.76 ^b	0.000
Room	A	29.11±0.61 ^d	69.95±0.74 ^c	80.16±1.86 ^b	91.67±0.20 ^a	80.63±0.88 ^b	0.000
	B	45.24±1.53 ^c	78.62±2.76 ^d	101.00±2.22 ^b	126.76±0.67 ^a	93.05±0.54 ^c	0.000
	C	40.00±0.19 ^d	59.29±0.20 ^{bc}	55.97±2.70 ^c	67.14±4.83 ^a	62.67±1.15 ^{ab}	0.000
	D	40.83±0.11 ^c	53.62±2.69 ^d	83.48±1.28 ^c	90.06±2.10 ^b	114.13±1.10 ^a	0.000
	E	35.46±0.44 ^c	65.05±0.92 ^a	58.32±0.15 ^b	46.60±0.20 ^d	48.52±0.74 ^c	0.000
Fluctuating	A	29.11±0.61 ^d	58.70±0.15 ^b	57.94±0.20 ^b	41.56±1.30 ^c	79.24±0.13 ^a	0.000
	B	45.24±1.53 ^c	43.21±0.11 ^c	61.84±0.78 ^b	61.78±4.02 ^b	82.05±0.20 ^a	0.000
	C	40.00±0.19 ^c	29.81±1.26 ^d	52.25±0.94 ^b	51.59±5.00 ^b	59.62±0.62 ^a	0.000
	D	40.83±0.11 ^c	44.95±0.19 ^d	53.78±0.48 ^c	67.02±4.00 ^b	80.00±2.02 ^a	0.000
	E	35.46±0.44 ^c	44.13±0.68 ^a	38.67±0.76 ^a	44.05±3.03 ^b	46.10±2.02 ^a	0.000

Table S6. DPPH radical scavenging activities of paprika packed with packaging materials under 3 types of temperature conditions, low temperature (10°C), room temperature (22°C) and fluctuating temperatures (10°C to 22°C) for 28 days

Temp. cond.	Packaging materials	0 day	7 days	14 days	21 days	28 days	p-value
Low	A	22.7±0.62 ^a	25.0±6.19 ^a	27.6±1.86 ^a	27.2±3.79 ^a	28.2±3.05 ^a	0.000
	B	23.6±6.47 ^c	25.2±2.02 ^{bc}	30.6±1.14 ^{ab}	32.2±1.16 ^a	33.8±0.91 ^a	0.000
	C	9.4±2.27 ^c	18.4±3.21 ^b	22.0±4.24 ^b	26.7±0.95 ^a	28.7±0.70 ^a	0.000
	D	21.0±0.57 ^a	20.9±1.12 ^a	20.9±0.57 ^a	20.6±2.29 ^a	18.8±1.37 ^a	0.000
	E	17.0±1.39 ^c	38.7±3.96 ^{ab}	36.9±2.02 ^b	34.5±2.93 ^b	43.1±4.74 ^a	0.000
Room	A	22.7±0.62 ^c	25.6±3.07 ^c	29.2±3.90 ^{bc}	35.3±1.01 ^b	45.7±9.79 ^a	0.000
	B	23.6±6.47 ^{bc}	18.43±1.21 ^c	44.7±1.58 ^a	37.5±2.44 ^a	34.1±11.01 ^{ab}	0.000
	C	9.4±2.27 ^b	30.0±6.98 ^a	34.1±11.01 ^a	28.9±2.21 ^a	29.1±7.84 ^a	0.000
	D	21.0±0.57 ^c	29.9±1.17 ^b	31.8±3.77 ^b	36.4±2.33 ^a	38.7±1.16 ^a	0.000
	E	17.0±1.39 ^d	36.4±1.07 ^c	47.4±1.07 ^a	42.6±1.59 ^b	38.3±0.97 ^c	0.000
Fluctuating	A	22.7±0.62 ^b	25.0±6.19 ^{ab}	27.6±1.86 ^{ab}	27.2±3.79 ^{ab}	30.4±3.30 ^a	0.000
	B	23.6±6.47 ^{bc}	25.2±2.02 ^{bc}	30.6±1.14 ^{ab}	22.8±4.00 ^c	33.0±3.02 ^a	0.000
	C	9.4±2.27 ^c	18.4±3.21 ^b	22.0±4.24 ^{ab}	30.4±3.30 ^a	26.1±7.02 ^{ab}	0.000
	D	21.0±0.57 ^b	20.9±1.12 ^b	20.9±0.57 ^b	21.9±0.57 ^b	25.1±1.69 ^a	0.000
	E	17.0±1.39 ^a	38.7±3.96 ^b	36.9±2.02 ^b	35.9±1.40 ^b	36.5±1.23 ^b	0.000