

PA와 LLDPE 필름을 사용한 토마토, 파프리카의 Pallet MAP 연구

김진세* · 정현경 · 김정화 · 이영희 · 박석호 · 최동수 · 김용훈 · 이수장 · 박천완 · 조병관¹
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ¹충남대학교 바이오시스템공학과

Effect of Pallet Size MAP using PA Film and LLDPE Film on the Shelf Life of Tomatoes and Paprikas

Jinse Kim*, Hyun Kyung Jung, Jung Hwa Kim, Young Hee Lee, Seok Ho Park, Dong Soo Choi, Yong Hoon Kim, Soo Jang Lee, Chun Wan Park, and Byoung-Kwan Cho¹

Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences

¹*Department of Biosystems Machinery Engineering, College of Agricultural and Life Science, Chungnam National University*

Abstract

The variations of internal temperature, relative humidity (RH) and gas concentration in the pallet modified atmosphere package (MAP), using polyamide (PA) film and linear low density polyethylene (LLDPE) film, were investigated to extend the shelf life of tomatoes and paprikas. The temperature and RH inside the MAP were higher than that in the cold room, but there was no water condensation inside the MA film. The ethylene concentration in the MAP was maintained below 10 ppm. Oxygen level was stabilized at 2 to 5% during the storage and carbon dioxide level was also stabilized at 15 to 20%. The weight loss of the MAP tomatoes and paprikas was lower than that of the control because the RH in the pallet MAP was higher than that of the cold room. The fungal decay rate in the pallet MAP was also lower than that in the control due to a low oxygen concentration rate. There were no significant differences in the soluble solids, titratable acidity and Hunter's color, but differences did exist in the hardness between the MAP and the control. So, this pallet MAP method was effective at extending the shelf life of tomatoes and paprikas considering the weight loss, fungal decay and hardness.

Key words: modified atmosphere packaging, pallet, tomato, paprika, shelf life

서 론

포장 내부의 기체농도를 대기와 다르게 하는 modified atmosphere packaging (MAP)은 저장기간 연장 효과가 검증되어 널리 사용되고 있는 포장 방법이다. 농산물 종류별 최적의 저장기간 연장효과를 얻기 위해서는 농산물의 호흡률(respiration rate)을 고려하여 적절한 기체투과도(산소, 이산화탄소)를 갖는 필름포장을 선택해야 한다(Mahajan & Mezdad, 2013; Reinas et al., 2016). 즉 딸기나 버섯과 같이 호흡률이 높은 농산물인 경우 내부의 산소농도가 너무 낮아지지 않도록 적당한 천공을 통해 기체투과도를 보완해야 하지만(Xanthopoulos et al., 2012), 감이나 자두 같이

낮은 호흡률을 갖는 농산물은 천공을 하지 않고 낮은 기체투과도를 갖는 필름을 이용하여 MA 조성이 유지되도록 해야 한다(Lee & Yang, 1997). 이러한 호흡률과 투과도의 상관관계는 다양한 연구가 있었으나 다음의 관계식 (1), (2)의 관계로 설명할 수 있다(Mangaraj et al., 2009; Belay et al., 2016).

$$\frac{dY_{O_2}}{dt} = -\left(\frac{W_p}{V_{fp}}\right)R_{O_2} + \left(\frac{A_p P_{O_2}}{V_{fp}}\right)(Y_{O_2}^a - Y_{O_2}) \quad (1)$$

$$\frac{dZ_{CO_2}}{dt} = \left(\frac{W_p}{V_{fp}}\right)R_{CO_2} - \left(\frac{A_p P_{CO_2}}{V_{fp}}\right)(Z_{CO_2} - Z_{CO_2}^a) \quad (2)$$

포장 내부의 기체농도 변화는 농산물의 호흡속도와 필름의 기체투과도에 의한 산소의 유입 및 이산화탄소가 유출속도가 평형을 이루는 점에서 일정하게 유지된다. 여기서 Y_{O_2} 와 Z_{CO_2} 는 MAP 내부의 산소와 이산화탄소 농도, $Y_{O_2}^a$ 와 $Z_{CO_2}^a$ 는 포장필름 외부의 산소와 이산화탄소 농도, R_{O_2} 와 R_{CO_2} 는 농산물의 호흡에 의한 산소 소모율과 이산화탄소

*Corresponding author: Jinse Kim, Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Jeollabuk-do, 54875, Korea
Tel: +82-63-238-4127; Fax: +82-63-238-4105
E-mail: ferroj@korea.kr
Received January 26, 2018; revised April 1, 2018; accepted April 4, 2018

발생률, W_p 는 농산물의 무게, V_{fp} 는 MAP 포장 내부의 기체부피, A_p 는 포장면적, P_{O_2} 와 P_{CO_2} 는 포장필름의 산소와 이산화탄소 투과도를 의미한다.

농산물의 호흡률과 포장의 기체투과도를 고려한 포장연구는 다양하게 이루어졌다(Exama et al., 1993; Chau & Talasila, 1994; Mahajan et al., 2007). 하지만, 농산물의 호흡률과 기체투과도를 유사하게 하여 내부의 기체조성이 일정하게 유지되도록 설계하였다 하더라도 필름 내부가 고습도로 유지될 경우 결로로 인한 곰팡이 발생 증가와 과습에 의한 농산물의 얼룩 등이 발생할 수 있다(Ayala-Zavala et al., 2008; Linke & Geyer, 2013). 이러한 과습의 문제를 막기 위해 low density polyethylene (LDPE) 필름에 제올라이트를 혼입하거나 미세천공 처리하는 연구가 수행되었고(Song et al., 2002; Nur Dirim et al., 2004; Techavises & Hikida, 2008; Larsen & Liland, 2013), 곰팡이 문제를 해결하기 위해 필름 내부에 천연항균물질을 코팅하는 연구가 수행되었다(Lee et al., 2011). 하지만, 제올라이트를 혼입한 linear LDPE (LLDPE)로 사과와 감귤을 포장한 경우 과일의 호흡률에 비해 필름의 기체투과도가 높아서 MAP 내부의 산소농도를 10% 이하로 낮추기 어려웠다(Park & Ryu, 2013). 천연 항균물질 코팅의 경우도 농산물의 곰팡이 발생 위치에 직접적으로 처리해야 하기 때문에 적용에 어려움이 있다. 또한, 결로를 억제하기 위해 다공성으로 기체투과도를 높인 LLDPE 필름을 사용한 경우도 여전히 결로가 발생하는 문제가 있었다(Kim et al., 2016; Jalali et al., 2017).

기체조성을 유지하며 MAP 내부의 습도를 낮추는 방법으로 제습제를 이용하는 방법이 있으나, 포장내에 제습제를 노출하여 배치할 경우 저장 초기에 낮은 습도로 인해 농산물의 수분손실에 의한 중량감소를 촉진하고, 저장 중 제습제가 파과점에 도달할 경우 더 이상의 제습효과가 없어지고 결로가 생긴다.

MAP에 적용되고 있는 다양한 필름 중 polyamide (PA) 필름, poly lactic acid (PLA) 필름, microfibrillar cellulose (MFC) 필름 등이 LDPE 필름 대비 기체투과도는 낮으나 수분투과도가 높은 필름으로 분석되었으며(Mangaraj et al., 2009; Minelli et al., 2010), 실제 농산물 포장실험을 통해 PA 필름을 이용할 경우 필름 내부의 결로를 줄일 수 있다는 결과가 보고되었다(Kim et al., 2016; Park et al., 2016). 하지만, PA 필름은 잘 늘어나지 않고 5% 정도 늘어났을 때 최대 강도에 도달하기 때문에(Huang et al., 2011), PA 필름만을 사용하여 기밀 포장을 하려면 수작업으로 접착테이프를 사용해야 했다(Kim et al., 2016). 일반적으로 pallet 단위의 포장에 사용되는 LLDPE 필름은 수분투과도가 낮기 때문에 내부에 결로가 생기며, 포장의 편리를 위해 PA 필름과 LLDPE 필름을 복합적으로 사용할 경우 MAP 내부 결로와 습도에 대한 분석이 필요하다. 브로콜리의 소포장 MAP에서 미세 천공된 bi-axially oriented polypropylene

(BOPP)와 cellulose 성분의 필름을 8:2의 면적비로 복합 사용한 경우 적정 MA와 modified humidity (MH)가 된다는 결과가 최근 보고되었다(Caleb et al., 2016). 하지만, 200 g 단위 소포장을 60% 상대습도를 갖는 항습 환경에서 호흡률이 토마토의 4배 이상인 브로콜리에 대한 실험이었고, 소포장에서 천공 갯수를 늘릴 경우 필름 내부의 결로 억제가 가능하기 때문에(Hussein et al., 2015) MA와 MH가 동시에 가능했다고 판단된다. 이러한 소포장을 파렛트로 적재할 경우 내부의 소포장들은 마치 여러겹의 필름으로 포장한 상태가 되어 기체투과가 원활하지 못할 경우 혐기성 상태가 되고 변질될 수 있다. 단위 중량당 포장면적의 비는 포장 규모가 커질수록 줄어 들며, 200 kg pallet 크기의 MAP는 200 g 소포장 대비 단위 중량당 포장면적의 비가 약 8분의 1로 줄어든다. 따라서, 소포장 실험 결과를 그대로 pallet MAP에 적용할 수 없기 때문에 복합 필름을 이용한 pallet MAP의 효과 분석이 필요하다.

본 연구에서는 국내에서 상업적으로 쉽게 구할 수 있는 PA 필름과 LLDPE 필름을 약 1:3 비율로 사용하여 포장하는 pallet MAP 방법을 제시하고, 토마토와 파프리카에 적용하여 저장성에 미치는 효과를 분석하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료 및 저장

MA 포장을 위해 본 실험에서는 한교아이씨(주)(Seoul, Korea)에서 구입한 폭 1,400 mm 두께 15 μ m의 PA 필름과 오공(주)(Incheon, Korea)에서 구입한 폭 500 mm 두께 20 μ m의 LLDPE 필름을 사용하였다. MAP를 이용한 저장효과 실험을 위해 전주의 수출농가인 로즈피아(Jeonju, Korea)에서 구입한 'TY트러스트' 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)와 '불란테' 파프리카(*Capsicum annuum* L.)에 대한 pallet MAP 저장 실험을 하였다. 토마토는 24개가 4 kg 단위 박스에 담긴 것을 한 층에 7박스로 15단으로 쌓아서 pallet 포장을 하였으며, 재현성 검증을 위해 이러한 pallet 포장을 2개 만들어서 실험하였다(Fig. 1(A)). 파프리카는 20개가 들어있는 5 kg 단위 박스를 한 층에 8개씩 10단으로 쌓아서 수출하고 있으나, 실험에서는 그 1/8 수준인 한 층에 4개씩 5단으로 쌓아서 MA 포장을 하였다(Fig. 1(B)). 저장 실험은 4°C 저온저장고에서 수행하였으며, 품질조사는 28일간 7일간격으로 수행하였다. 토마토는 기체조성을 유지한 상태로 내부의 시료를 꺼낼 수 있도록 Fig. 1(A)의 왼쪽 pallet과 같이 점검구를 만들어 실험하였으며, 파프리카의 경우 4개의 pallet 포장을 7일 단위로 하나씩 풀어서 품질조사를 하였다.

MAP 온습도 측정

토마토 저장실험에서는 측정온도 범위 -40~125°C 유선온



Fig. 1. The pallet size MAP of tomatoes (A) and paprikas (B).

습도센서(EK-H4 + SHT75, Sensirion, Staefa, Switzerland)를 이용하여 10분 간격으로 저장고와 MAP의 내부 상단과 중심부의 온습도를 각각 측정하였다. 구매한 SHT75 센서칩 중 최고 99.8%까지 측정되며 측정값이 온도 편차 0.1°C, 습도 편차 0.3%이내의 센서칩을 선별하여 사용하였다.

토마토 실험에서는 포장의 불편함을 감수하고 습도변화에 대해 즉시 반응하는 유선 온습도센서를 사용하였으나, 파프리카의 경우 포장의 편리성을 위해 무선온습도센서(TR-73U, T&D, Nagano, Japan)를 이용하였다. TR-73U는 상대습도 50-97% 구간에서 적절한 습도값이 시현되는 것을 확인하고 실험하였다.

MAP 포장의 초기 기체조성 및 천공

MAP는 Fig. 2와 같이 pallet 상단과 하단의 PA 필름을 측면의 LLDPE 필름이 샌드위치로 감싸는 형태로 포장하였다. 포장면적에 대한 비율로 볼 때 PA필름과 LLDPE 필름의 면적비는 약 1:3 정도였다. 빈 플라스틱 박스에 모래주머니를 넣고 1.1×1.1×1.6 m³ pallet MAP를 만들어서 Fig. 2 포장방법의 기밀성을 실험한 결과 초기 산소 5.0%가 24시간 경과후에도 5.1%로 유지되는 것을 확인하였다.

저장 초기의 산소와 이산화탄소 농도는 대기의 기체조성과 동일한 passive MA 방법을 사용하였다. 저장 중 농산물의 호흡에 의해 산소 농도가 1% 이하로 내려가지 않도록 호흡구를 천공하였으며, 천공 면적은 다음의 Kim et al. (2017)의 계산식을 활용하여 수행하였다.

$$A_{hole}(\mu\text{m}^2) = c \times M(\text{kg}) \times R_{CO_2} \left(\frac{\text{mgCO}_2}{\text{kg} \cdot \text{h}} \right) \quad (3)$$

천공면적 A_{hole}은 저장 농산물의 중량 M과 저장온도에서의 호흡속도 R_{CO₂}의 곱과 비례관계를 갖으며, 비례상수 c는 실험적 측정값인 6110을 사용하였다. 4°C에서의 토마토

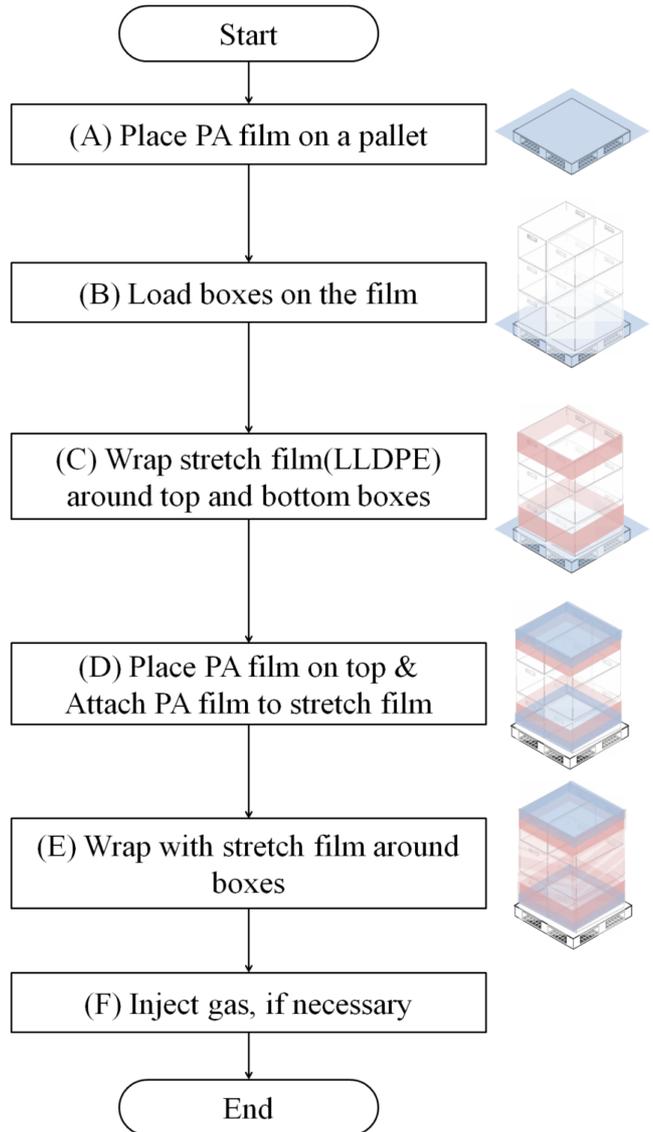


Fig. 2. Pallet size MA packing flow chart.

와 파프리카는 호흡속도 $8 \text{ mgCO}_2/\text{kg} \cdot \text{h}$ 을 적용하였다 (Gross et al., 2016). 토마토는 4 kg 단위 105박스를 포장 하였으므로 420 kg, 파프리카는 5 kg 단위 20박스를 포장 하였으므로 100 kg가 되며, 계산식에 대입하여 천공면적을 계산하면 토마토와 파프리카는 각각 20.53 mm^2 와 4.89 mm^2 의 천공을 하여야 한다. 이를 지름 2 mm 크기의 펀치로 천공할 경우 6.5개, 1.5개가 된다. 이러한 계산식은 O_2 5% 기준이며, 실험 목표는 O_2 2-5% 유지를 목표로 하여 토마토와 파프리카에 각각 지름 2 mm 천공 6개, 1개를 적용하여 실험하였다.

기체조성 및 에틸렌 가스 분석

저장기간 동안 MAP내부의 기체조성은 휴대용 가스센서 (CheckPoint, Dansensor, Ringsted, Denmark)를 이용하여 1일 간격으로 측정하였다. 센서의 측정범위는 기체농도 0-100%이며, 상대적인 정확도는 3%, 해상도는 0.1%이다. 토마토 저장 중 발생하는 ethylene을 분석하고자 에틸렌 센서($\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}-10 + \text{Transmitter board}$, Membrapor, Wallisellen, Switzerland)를 이용하여 1일 1회 에틸렌 농도를 측정하였다. 에틸렌 센서의 측정범위는 0-10 ppm이고, 상대적인 정확도는 1 ppm, 해상도는 0.1 ppm이다. 토마토 실험에서는 1일 간격으로 에틸렌 농도를 측정하였고, 파프리카 저장 실험에서는 에틸렌 센서를 데이터 저장장치에 연결하여 6시간 간격으로 측정하였다.

감모율 및 곰팡이 발생률

모든 중량의 측정은 결로가 생기지 않은 상태로 측정하기 위해, 4°C 저온저장고 안에서 측정하였다. 토마토는 5개, 파프리카는 6개 단위로 3반복 이상의 중량을 측정하였고, 저장전과 후의 측정값을 이용하여 다음의 식에 따라 감모율을 산출하였다.

$$\text{Weight loss rate (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (4)$$

(W_1 =저장 전 중량, W_2 =저장 후 중량)

곰팡이 발생률은 토마토는 4 kg에서 4×6배열을 이용하여 한 줄에 발생한 곰팡이 개수 비로, 파프리카는 5 kg 박스 기준 전체 개수와 곰팡이 개수의 비로 계산하였고, 각각 2박스, 3박스를 분석하였다.

색도 및 경도

토마토와 파프리카의 경우 색도를 찍는 위치를 표시하여 저장 전과 후에 Hunter L, a, b 값을 색차계(CM-700D, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용 측정하였다. 색도는 명도(lightness)를 나타내는 L값, 적색도(redness)를 나타내는 a값과 황색도(yellowness)를 나타내는 b값으로 측정하였

다. 측정값은 저장전과 후의 차이값인 ΔL , Δa , Δb 값을 이용하여 분석하였다.

토마토의 경도는 시료에 구멍이 뚫릴 때의 최대 압축강도를 측정하였다. 10개의 샘플에 대해 각각 2군데에 대한 경도를 물성분석기(TA-XT2 texture analyser, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)로 측정하였다. 측정 탐침은 지름 3 mm probe를 사용하였으며, 0.3 mm/sec의 속도로 5 mm까지의 최대 압축 강도를 측정하여 N 단위로 나타내었다.

파프리카 경도의 경우 감도가 진행되면 전체적으로 변형이 쉽게 이루어져서 말랑말랑하게 느껴지나 과육 자체의 경도는 감도에 따른 건조에 의해 약간 증가하는 경향이 나타난다. 따라서 이러한 말랑말랑한 특성을 확인하고자 가로세로 4 cm 이상의 타원형으로 절단된 구껍질 형태의 과육에 대해 3 mm까지 변형될 때 최대 압축강도를 측정하였다. 측정탐침은 지름 3 mm probe를 사용하고, 0.3 mm/sec의 속도로 측정하였다.

가용성 고형분 및 적정산도 분석

토마토와 파프리카, 딸기를 믹서로 분쇄하여 착즙망 (Whirl-pak B01248WA, Nasco, Fort Atkinson, USA)으로 착즙하였다. 토마토와 파프리카는 1개씩 임의로 선정하여 추출액을 만들었다. 추출액에 대하여 디지털 굴절당도계 (RX-5000a, Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 당도를 측정하고 °Brix 단위로 나타내었다. 또한 추출액 5 mL을 취하여 45 mL의 증류수에 희석한 후 자동 적정기(TitroLine 500, Si Analytics, Mainz, Germany)를 이용하여 pH 8.3이 될 때까지 0.1 N NaOH 용액으로 적정하여 측정된 값을 citric acid로 환산하였다. 각 실험구당 10개의 시료에 대하여 실험하였다.

통계분석

모든 분석결과는 실험구당 3회 반복 이상 실험한 결과로부터 평균값과 표준편차로 나타내었으며 통계분석은 IBM SPSS Statistics (25, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 ANOVA test와 Duncan's multiple range test를 통해서 시료 간 유의적 차이($p < 0.05$)를 검정하였다.

결과 및 고찰

Pallet 단위 MAP 내부의 온습도 분포 및 기체조성

토마토를 4°C 환경에서 저장 중 pallet MAP 중심부와 최상단 박스의 온습도를 저장고 내부의 온습도와 같이 측정하였다(Fig. 3(A)). 저장고 목표온도를 4°C 로 설정하였으나 저장 마지막 3일간의 자료의 온도 평균값 및 표준편차를 비교해보면 저장고는 $4.67 \pm 1.12^\circ\text{C}$, MAP 내부표면은 $5.48 \pm 0.27^\circ\text{C}$, 중심부는 $6.25 \pm 0.02^\circ\text{C}$ 로 측정되었으며, pallet

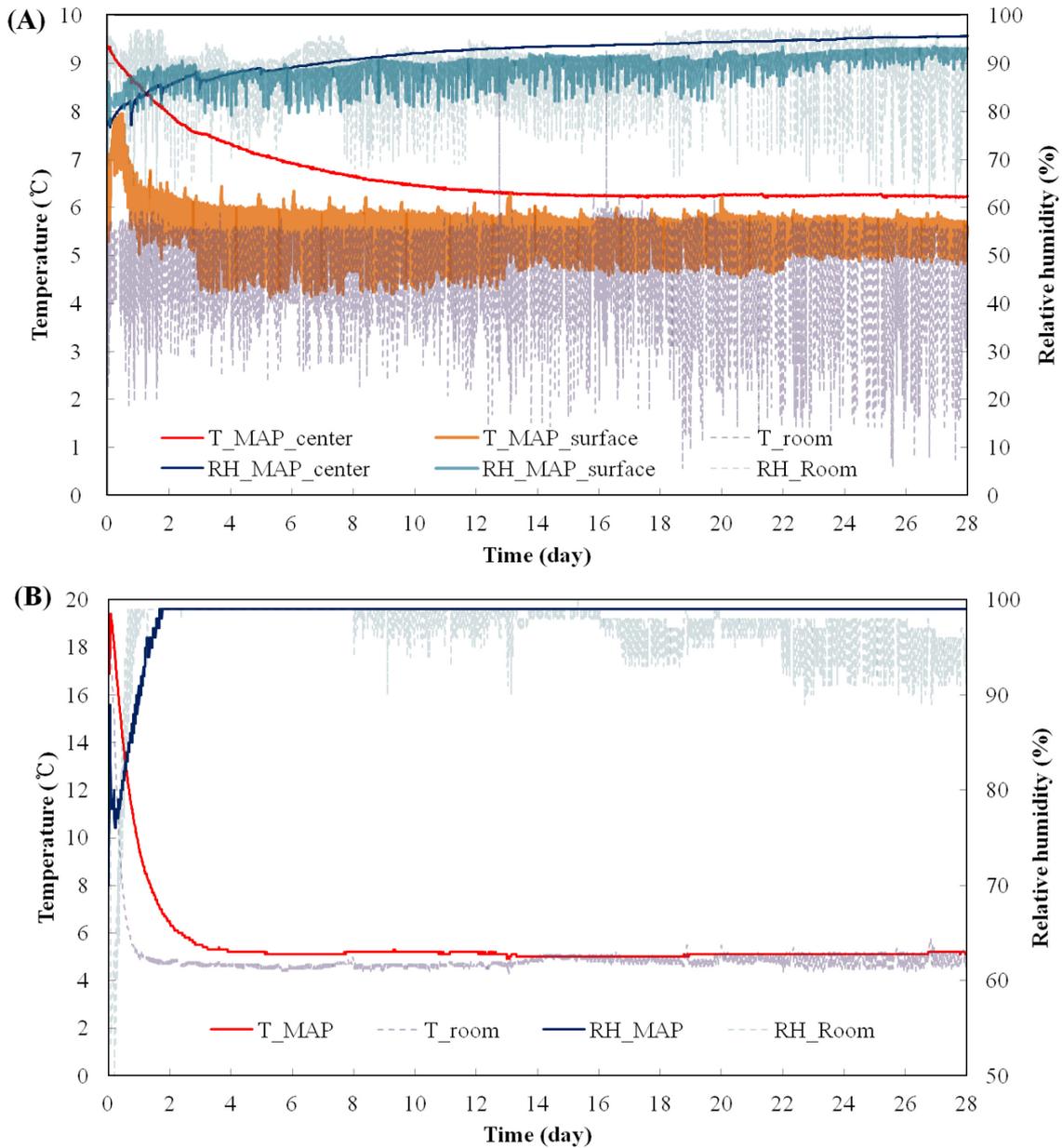


Fig. 3. Temperature and relative humidity Changes in MAP of tomatoes (A) and paprikas (B).

MAP 중심부 평균 온도는 저장고 평균 온도보다 1.58°C 높지만 표준편차는 56분의 1로 줄어들어 일정하게 온도가 유지되었음을 확인할 수 있다. 상대습도의 경우 저장종료 전 3일간 평균값 및 표준편차를 비교해보면 저장고가 $88.32 \pm 7.16\%$, MAP 내부표면은 $92.37 \pm 0.87\%$, 중심부는 $95.41 \pm 0.13\%$ 로 측정되었으며, MAP 중심부의 평균 습도는 저장고에 비해 7.09% 높지만, 표준편차는 55분의 1로 줄어들어 일정하게 유지되었음을 확인할 수 있다. LDPE 필름을 사용한 MAP의 경우 내부 상대습도가 포화되어 결로가 생기는데(Kim et al., 2017), 토마토의 경우 PA 필름과 LLDPE 필름을 복합적으로 사용하여 포장할 경우 내부 습도가 96% 이하로 유지되어 결로가 생기지 않음을 확인하

였다. 이러한 포장을 할 경우 저장고의 온습도 변화가 크더라도 MAP 내부의 온습도 변화는 저장고에 비해 1/5 이하로 줄어들기 때문에 농산물 더욱 일정한 온습도 조건으로 저장할 수 있는 효과가 있다.

파프리카의 경우는 MAP 중심부와 저장고의 온습도만을 측정하였다(Fig. 3(B)). 저장 종료전 3일간 평균값 및 표준편차는 저장고가 $4.93 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$, MAP 중심부는 $5.11 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 으로 측정되었다. 습도의 경우 중심부 $99 \pm 0.00\%$, 저장고 내부 $96.35 \pm 2.25\%$ 로 측정되었다. 무선온습도센서 TR-73U 제품의 경우 10-95%의 상대습도범위가 신뢰범위이고 사전 성능 실험시 상대습도 97% 이상에서는 99%로 표시되며, 온도와 습도 변화에 대한 10-60초정도의 측정 지연이 있기

때문에 토마토 실험에 비해 온습도 값의 편차가 적게 측정되었다. 파프리카 저장 중 저장고의 상대습도가 높게 측정된 것은 실험기간 중 계속적으로 비가와서 외부의 습기가 저장고 내부로 유입되었기 때문이다. 하지만 이렇게 습도가 높은 상태에서도 MAP 포장 내부에 결로가 생기지 않

았다. 따라서, PA 필름과 LLDPE 필름을 복합적으로 사용하는 것은 MAP 내부의 상대습도가 포화되는 것을 억제하는 효과가 있었으며, 저장고의 상대습도를 조절할 경우 MAP 내부의 상대습도도 조절할 수 있을 것으로 판단된다. 토마토의 실험시 저장 중 시료를 꺼낸뒤 다시 기체조성

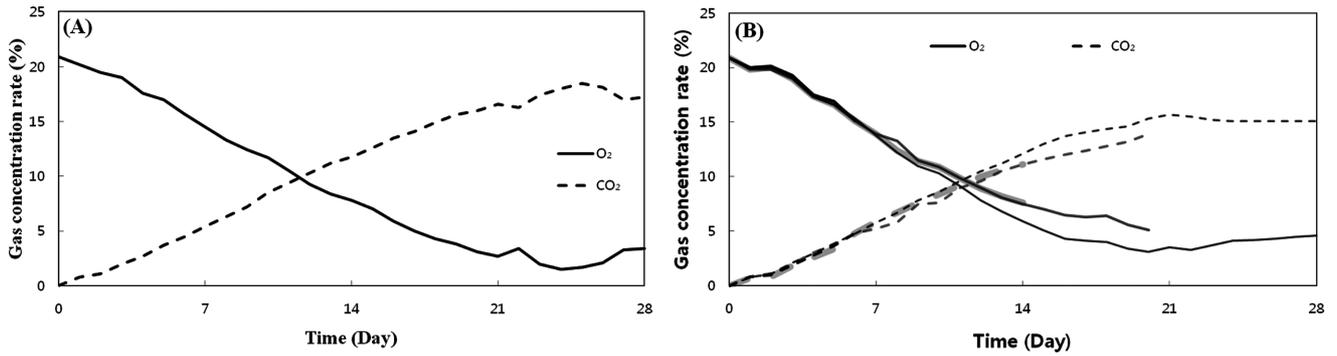


Fig. 4. Gas concentration rate changes in MAP of tomatoes (A) and paprikas (B).

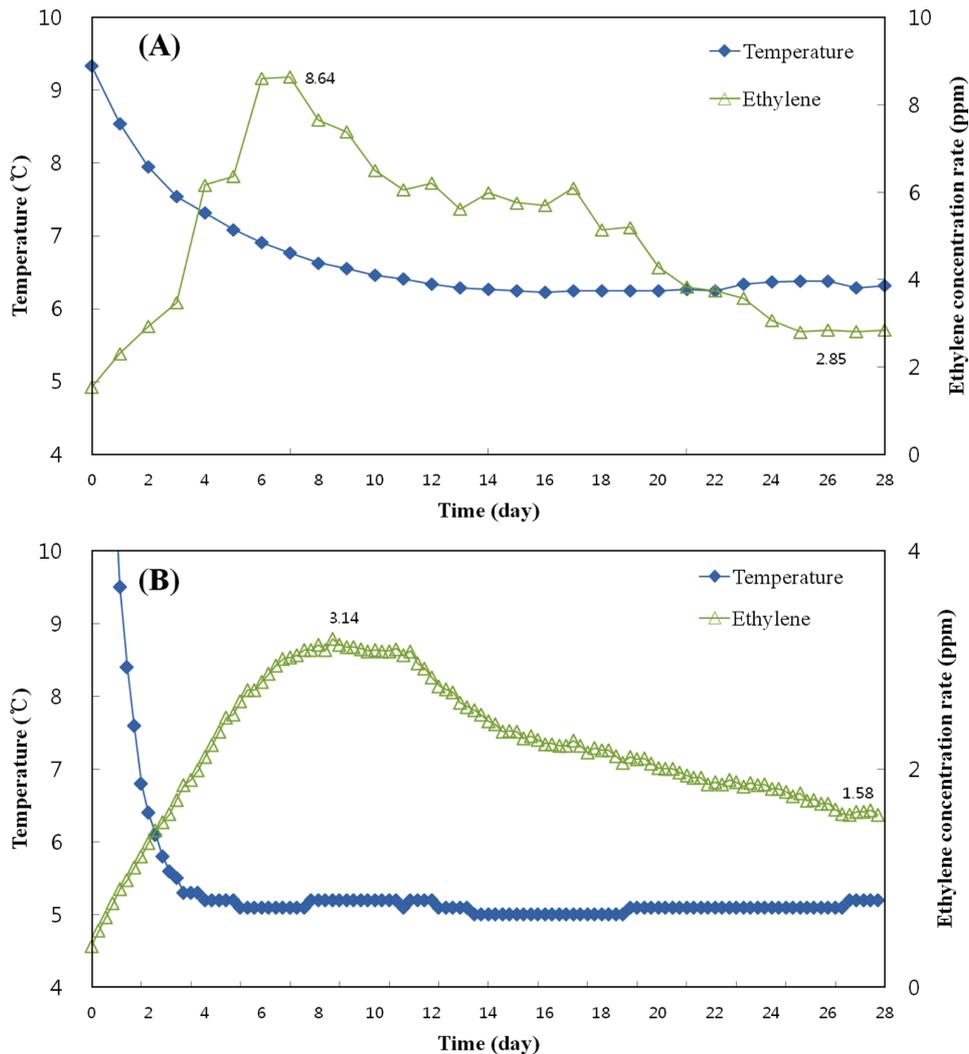


Fig. 5. Ethylene concentration rate change in MAP of tomatoes (A) and paprikas (B).

을 하지 않아도 되도록 LDPE필름을 이용하여 2중의 점검구를 만들어서 실험하였다(Fig. 1(A)). 기존에는 시료를 꺼낸 뒤 재포장하고 동일한 농도로 가스를 주입하는 방식을 사용하였으나, 공업용 CO₂에는 에틸렌이 10 ppm 이상 포함되어 있음을 확인하여 기체조성이 필요 없는 점검구 방식을 선택하였다.

파프리카의 경우는 CO₂ 농도 5% 이상에서는 변색, 과피 함몰 등의 장애가 있다는 연구결과와(Salveit, 1997), MAP 내부의 기체조성 중 CO₂ 30%는 부적합하고 10% 이하는 적합하다는 상반된 연구결과가 있었다(Choi et al., 2011). CO₂ 장애가 있을 경우 MAP 효과가 없을 것으로 판단하여 본 실험에 들어가기 전에 99.999% 순도의 CO₂를 사용하여 15% 농도로 3주간 저장하는 예비실험을 수행하였다. O₂ 농도가 5%, CO₂ 농도가 15%정도로 유지되도록 공식 (3)을 이용한 천공을 하여 저장하였는데 3주 후에도 과피 함몰과 같은 CO₂ 장애는 나타나지 않아서 본 실험을 진행 하였다.

토마토와 파프리카의 초기 기체조성은 대기의 기체조성이었으나, 저장이 진행되면서 O₂는 2-5% 사이에서, CO₂는 15% 이상에서 평형을 이루었다(Fig. 4). 저장 중 포장내의 에틸렌 농도는 증가하다가 다시 감소하였다(Fig. 5). 에틸렌은 호흡에 의해 발생하는데, 대기의 기체조성이 저장 초기보다 산소농도가 낮아진 저장 후기의 호흡속도가 느려져서 이러한 경향성을 보인 것으로 판단된다. 또한, 저장온도도 호흡속도에 영향을 주는데(Bron et al., 2005), 예냉이 완벽하게 되지 않은 토마토와 파프리카를 사용한 점도 이러한 경향성에 일부 영향을 주었을 것으로 판단된다.

품질 분석

토마토와 파프리카의 저장기간에 따른 감모율 및 곰팡이

발생률을 조사하였다(Fig. 6). PA 필름을 이용한 토마토의 MAP 저장 연구에서 감모율과 곰팡이 발생율을 낮추는 효과가 있었는데(Park et al., 2016), PA필름과 LLDPE필름을 복합적으로 사용하여 포장하였을 경우에도 감모율과 곰팡이 발생률을 낮추는 효과가 있음을 확인하였다. 수분 손실 속도는 수분이 이동하는 경로에 영향을 주는 표면적과 부피의 비율과 상관관계가 있는데(Thompson et al., 1998), 파프리카의 경우 속이 비어있는 형태여서 토마토에 비해 수분손실이 빠르기 때문에 MA를 통한 감모율 감소 효과

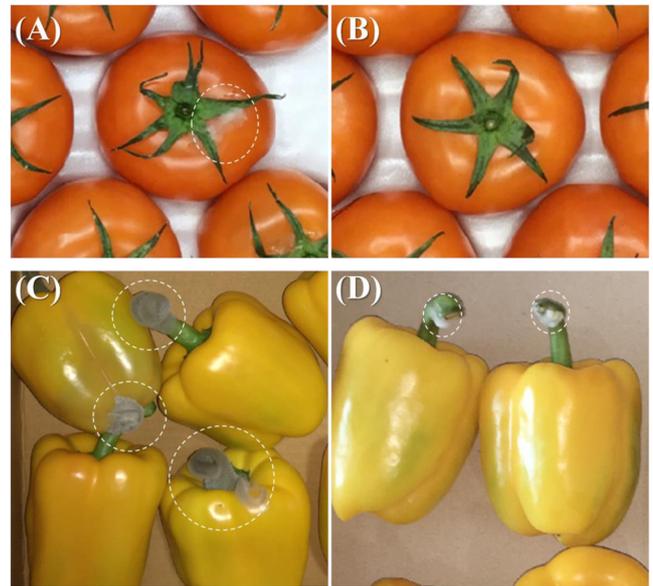


Fig. 7. Fungal growth differences between the control (A and C) and the MAP (B and D) after 28 days of storage of tomatoes and paprikas.

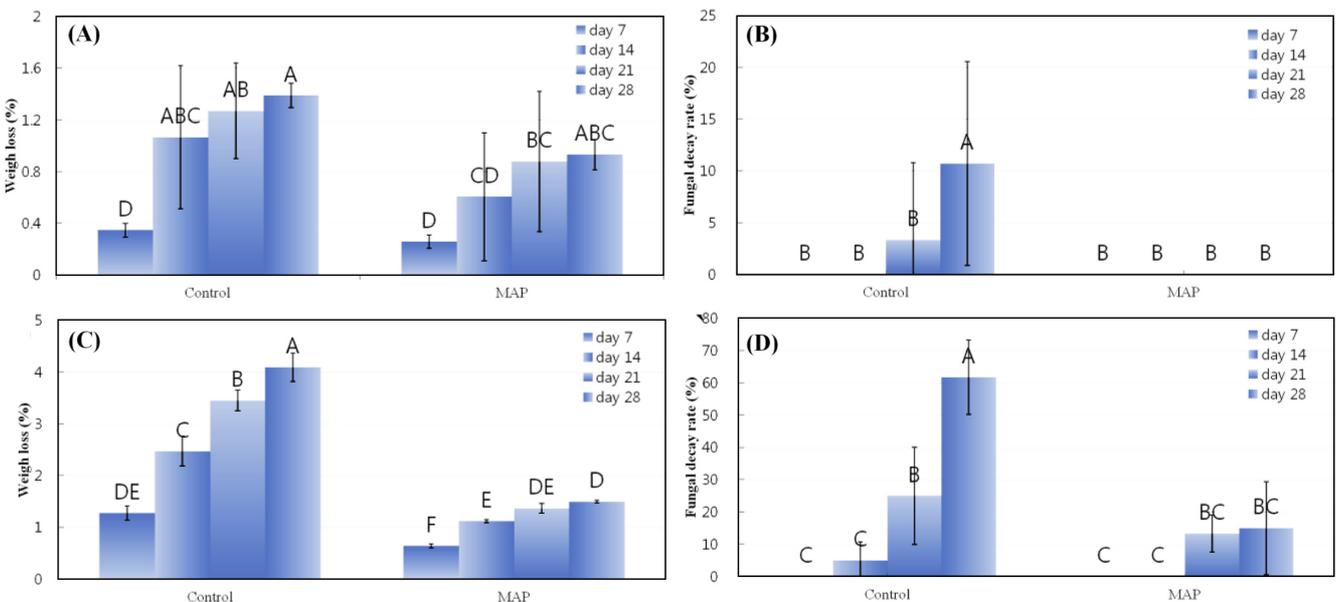


Fig. 6. Weight loss changes and fungal decay rate changes of tomatoes (A and B) and paprikas (C and D) in each storing method.

Table 1. Changes in Hunter's color differences of tomatoes and paprikas during storage

Target	Storage periods (day)	ΔL		Δa		Δb	
		Control	MAP	Control	MAP	Control	MAP
Tomato	7	0.30±0.37 ^{1)a}	-0.48±0.32 ^b	1.62±0.43 ^{bc}	1.13±0.82 ^d	-0.30±0.96 ^d	0.68±0.73 ^{bc}
	14	-0.81±0.33 ^{bc}	-0.64±1.49 ^{bc}	1.90±0.48 ^b	1.86±1.41 ^{bc}	1.39±1.02 ^a	0.64±1.20 ^b
	21	-0.97±0.50 ^{cd}	-0.72±0.24 ^{bc}	2.38±0.76 ^a	1.80±0.43 ^{bc}	1.19±1.15 ^{ab}	1.30±0.48 ^a
	28	-0.82±0.65 ^{bc}	-1.22±0.32 ^d	2.43±0.61 ^a	1.40±0.53 ^{cd}	1.41±0.83 ^a	1.54±0.86 ^a
Paprika	7	-0.05±0.20 ^{bc}	0.09±0.34 ^{ab}	-0.05±0.17 ^{bcd}	0.13±0.55 ^{abcd}	-0.41±0.95 ^{cd}	0.88±1.16 ^b
	14	-0.75±0.59 ^{de}	0.35±0.56 ^{ab}	0.25±0.55 ^a	0.40±0.54 ^a	-0.68±0.99 ^d	1.18±1.38 ^b
	21	-1.15±0.29 ^e	0.43±0.48 ^a	0.18±0.28 ^{abc}	0.21±0.46 ^{ab}	-0.18±0.93 ^{cd}	1.87±1.32 ^a
	28	-0.75±1.40 ^{de}	-0.36±0.83 ^{cd}	-0.08±0.46 ^{cd}	-0.11±0.28 ^d	-0.67±0.75 ^d	0.22±0.73 ^c

¹⁾The values represent mean±SD for each experiments.

^{a-d}Different superscripts within each Hunter's color differences indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 2. Changes in firmness, soluble solids and titratable acidity of tomatoes and paprikas during storage

Target	Storage periods (day)	Firmness (N)		Soluble solids (°Brix)		Titratable acidity (%)	
		Control	MAP	Control	MAP	Control	MAP
Tomato	0	821.52±117.12 ^{1)a}		3.37±0.2 ^{bcd}		0.38±0.02 ^b	
	7	767.67±90.12 ^a	790.37±98.71 ^a	3.55±0.13 ^a	3.42±0.11 ^{ab}	0.45±0.07 ^a	0.37±0.03 ^{bc}
	14	682.68±86.62 ^b	756.67±85.18 ^a	3.23±0.14 ^{de}	3.20±0.17 ^c	0.36±0.02 ^{bcd}	0.34±0.03 ^{de}
	21	597.44±145.34 ^c	668.15±81.86 ^b	3.40±0.15 ^{bc}	3.30±0.13 ^{bcd}	0.36±0.03 ^{bcd}	0.37±0.02 ^{bcd}
	28	424.89±101.15 ^d	470.92±61.88 ^d	3.26±0.17 ^{cde}	3.29±0.15 ^{bcd}	0.34±0.04 ^{cde}	0.31±0.02 ^e
Paprika	0	745.34±98.44 ^a		6.98±0.32 ^b		0.168±0.008 ^b	
	7	610.04±125.17 ^c	682.68±86.62 ^b	7.36±0.35 ^a	7.22±0.26 ^{ab}	0.163±0.011 ^b	0.169±0.012 ^b
	14	574.08±95.01 ^c	599.85±92.07 ^c	7.17±0.24 ^{ab}	7.21±0.28 ^{ab}	0.183±0.010 ^a	0.151±0.013 ^c
	21	424.89±101.15 ^d	580.05±118.11 ^c	7.22±0.26 ^{ab}	6.60±0.40 ^c	0.174±0.017 ^{ab}	0.136±0.011 ^d
	28	305.22±80.52 ^e	563.56±87.14 ^c	7.2±0.55 ^{ab}	6.98±0.25 ^b	0.165±0.017 ^b	0.129±0.011 ^d

¹⁾The values represent mean±SD for each experiments.

^{a-e}Different superscripts within each Hunter's color differences indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

가 더욱 두드러지게 나타났다. 토마토의 경우 저장 28일차에 MAP처리구는 곰팡이가 발생하지 않았으나 대조구의 경우 곰팡이가 발생하였다(Fig. 7(A), 7(B)). 파프리카의 경우 저장 28일차에 곰팡이가 발생한 과육을 비교해보면, MAP처리구의 곰팡이 규모가 대조구에 비해 작았다(Fig. 7(C), 7(D)). 곰팡이는 호기성 미생물이기 때문에 대기보다 낮은 산소 농도와 높은 이산화탄소 농도로 기체조성된 MAP 처리가 곰팡이 증식을 지연시키는 효과가 있음을 확인할 수 있다.

토마토와 파프리카의 저장 기간 동안의 색도 변화값을 조사하였다(Table 1). 토마토의 경우 저장 중 lightness (L)는 감소하고, redness (a)와 yellowness (b)는 증가하는 경향성을 보였으며 MAP 처리구가 대조구보다 Δa 값이 낮게 나타난 것은 호흡속도를 낮춰서 후숙을 억제하였기 때문으로 생각할 수 있다. 파프리카는 노란색 품종을 실험하였기 때문에 Δb 값에 영향이 있으리라 생각했으나 이미 노란색으로 색변화가 진행된 파프리카를 저장하여 그 차이가 미미하게 나타났다.

저장기간별 경도 및 가용성 고형분, 적정산도를 분석하

였다(Table 2). 토마토와 파프리카 모두 저장기간에 따라 경도가 감소하는 특성을 보였으며, 동일한 저장기간에 대해 MAP 처리구가 대조구에 비해 높은 경도를 유지하였다. 가용성 고형분은 토마토와 파프리카 모두 약간 증가하다가 감소하는 경향성을 보였으며, 산도는 감소하는 경향성을 보였다. 이러한 경향성은 후숙이 되는 농산물의 경우 저장 중 당도가 약간 증가할 수 있으나 저장이 지속되며 당도와 산도가 낮아진다는 연구 결과와 일치한다(Beckles, 2012). 토마토와 파프리카의 MAP 처리구와 대조구의 당도 차이는 크지 않다. 특히, 저장기간에 따라 파프리카 28일차의 MAP 처리구와 대조구의 감모율 차이는 3.6%인데, 이를 고려하면 대조구는 MAP 처리구보다 약 0.26 °Brix 높아야 한다. 저장기간 중 일정한 경향성에서 벗어난 경우가 있으며, 28일차 당도 차이가 0.22 °Brix 임을 고려하면 파프리카의 MAP처리구와 대조구의 당도는 통계적으로 차이가 있다고 보기는 어렵다.

산도의 경우 MAP처리구와 대조구의 감모율을 고려했을 때보다 더 큰 차이가 나타났다. 4°C 저장에서 MAP 처리구의 산도가 반복적으로 대조구보다 낮게 측정되었는데,

MA 처리구의 산도가 일반저장에 비해 낮은 경우와 높은 경우가 모두 있기 때문에(Moon et al., 1992; D'Aquino et al., 2016), MAP 기체조성과 산도의 상관관계에 대한 정확한 분석을 위해서는 기체조성과 저장온도에 따른 대사작용의 차이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

PA 필름과 LLDPE 필름을 복합적으로 이용하여 pallet MAP 처리를 할 경우 MAP 내부의 온습도 분포와 가스조성 변화를 분석하였고, 이러한 저장방법이 토마토와 파프리카의 품질에 미치는 영향을 분석하였다. 토마토의 pallet MAP 내부의 온도와 습도는 포장의 중심부가 가장 높으며 저장고의 온도보다 약 1.6°C, 습도는 약 7.1% 높게 측정되었다. 기체조성은 저장초기 대기조성에서 저장이 지속되며 O₂는 2-5% 사이에서, CO₂는 15% 이상에서 평형을 이루었다. 이러한 기체조성은 농산물의 호흡속도를 낮추는 효과가 있음을 호흡 산물인 에틸렌가스 농도변화를 통해 확인하였다. 토마토의 경우 MAP 내부의 상대습도가 포화되지 않고 90-96%의 상태로 유지되도록 하는 효과도 있었다. 토마토, 파프리카와 같은 신선농산물 저장에서 가장 큰 문제는 곰팡이와 감모올인데, 이러한 기체조성과 습도조건은 곰팡이 발생률과 감모올을 낮게 유지하는 효과가 있었다. 또한, 유통을 위해서는 외부의 충격에 견디는 정도도 중요한데, pallet MAP 처리구는 대조구에 비해 경도가 높게 유지되었다. 따라서, PA 필름과 LLDPE 필름을 이용한 pallet MAP 방법은 기존의 PA 필름만을 이용한 pallet MAP 방법보다 편리하며, 포장 내부의 기체조성을 유지하고 상대습도 포화를 막을 수 있기 때문에, 신선농산물의 저장 및 유통에 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 농촌진흥청 기관고유사업(과제번호: PJ01259604)의 지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

References

- Ayala-Zavala JF, Del-Toro-Sanchez L, Alvarez-Parrilla E, Gonzalez-Aguilar GA. 2008. High relative humidity in-package of fresh-cut fruits and vegetables: Advantage of disadvantage considering microbiological problems and antimicrobial delivering systems? *J. Food Sci.* 73: R41-47.
- Beckles DM. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit. *Postharv. Bio. Technol.* 63: 129-140.
- Belay ZA, Caleb OJ, Opara UL. 2016. Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life.* 10: 1-15.
- Bron IU, Ribeiro RV, Cavalini FV, Jacomino AP, Trevisan MJ. 2005. Temperature-related changes in respiration and Q10 coefficient of guava. *Sci. Agr.* 62: 458-463.
- Caleb OJ, Ilte CK, Frohling A, Geyer M, Mahajan PV. 2016. Integrated modified atmosphere and humidity package design for minimally processed broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*). *Postharv. Bio. Technol.* 121: 87-100.
- Chau KV, Talasila PC. 1994. Design of modified atmosphere packages for fresh fruits and vegetables. In: Singh RP, Oliveira FAR (eds) *Minimal processing of foods and process optimization*. CRC Press, Boca Ration, FL, USA, pp 407-416.
- Choi IL, Yoo TJ, Jung HJ, Kim IS, Kang HM, Lee YB. 2011. Effects of active modified atmosphere packaging on the storability of fresh-cut paprika. *J. Bio-Environ. Control.* 20: 227-232.
- D'Aquino S, Mistriotis A, Briassoulis D, Lorenzo ML, Malinconico M, Palma A. 2016. Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20°C. *Postharv. Bio. Technol.* 115: 103-112.
- Exama A, Arul J, Lencki RW, Lee LZ, Toupin C. 1993. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 58: 1365-1370.
- Gross KC, Wang CY, Saitveit M. 2016. *The Commercial Storage of Fruit, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. USDA Agriculture Handbook number 66, Agriculture Research Service, Washington DC, USA, pp 7-9.
- Huang J, Ulrich W, Schmauder S, Geier S. 2011. Micro-mechanical modeling of Young's modulus of semi-crystalline polyamide 6 (PA 6) and elastomer particle-modified-PA 6. *Comput. Mater. Sci.* 50:1315-1319.
- Hussein Z, Caleb OJ, Jacobs K, Manley M, Opara UL. 2015. Effect of perforation-mediated modified atmosphere packaging and storage duration on physicochemical properties and microbial quality of fresh minimally processed 'Acco' pomegranate arils. *Food Sci. Technol.* 64:911-918.
- Jalali A, Seiedlou S, Linke M, Mahajan P. 2017. A comprehensive simulation program for modified atmosphere and humidity packaging (MAHP) of fresh fruits and vegetables. *J. Food Eng.* 206: 88-97.
- Kim JS, Park JW, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Lee JS, Cho BK. 2016. Study of pallet scale modified atmosphere packaging films for reducing water condensation. *J. Biosyst. Eng.* 41: 98-107.
- Kim JS, Park JW, Park SH, Choi DS, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Lee JS, Cho BK. 2017. Effects of modified atmosphere packaging (MAP) and vaporized ethyl pyruvate (EP) treatment for the shelf life of 'Seolhyang' strawberries. *Korean J. Food Preserv.* 24: 351-360.
- Kole NK, Prasad S. 1994. Respiration rate and heat of respiration of some fruits under controlled atmosphere conditions. *Int. J. Refrig.* 17: 199-204.
- Larsen H, Liland KH. 2013. Determination of O₂ and CO₂ transmission rate of whole packages and single perforations in micro-perforated packages for fruit and vegetables. *J. Food Eng.* 119: 271-276.
- Lee EJ, Yang YJ. 1997. Postharvest physiology and storage disorders affected by temperature and PE film thickness in 'Fuyu'

- persimmon fruit. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38: 516-519.
- Lee YS, Lee YE, Lee JS, Kim YS. 2011. Effect of antimicrobial microperforated film packaging on extending shelf life of cluster-type tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29: 447-455.
- Linke M, Geyer M. 2013. Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables. J. Food Eng. 116: 144-154.
- Mahajan PV, Mezdad T. 2013. Engineering packaging design accounting for transpiration rate: Model development and validation with strawberries. J. Food Eng. 119: 370-376.
- Mahajan PV, Oliveira FAR, Montanez JC, Frias J. 2007. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 8: 84-92.
- Mangaraj S, Goswami TK, Mahajan PV. 2009. Application of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: A review. Food Eng. Rev. 1: 133-158.
- Minelli M, Baschetti MG, Doghieri F, Ankerfors M, Lindström T, Siro I, Plackett D. 2010. Investigation of mass transport properties of microfibrillated cellulose (MFC) films. J. Membrane Sci. 358: 67-75.
- Moon KD, Lee CH, Kim JK, Sohn TH. 1992. Storage of tomatoes by polyethylene film packaging and CO₂ treatment. Korean J. Food Sci. Technol. 24: 603-609.
- Nielsen T, Leufven A. 2008. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. Food Chem. 107: 1053-1063.
- Nur Dirim S, Ozlem Ozden H, Bayindirli A, Esin A. 2004. Modification of water vapour transfer rate of low density polyethylene films for food packaging. J. Food Eng. 63: 9-13.
- Park HW, Ryu NH. 2013a. Freshness of Satsuma mandarin packed in anti-fogged MA film with acid treated zeolite. Korean J. Packaging Sci. Technol. 19: 35-41.
- Park HW, Ryu NH. 2013b. Freshness of 'Fuji' apples packed MA film treated with acid and anti-fogging agents. Kor. J. Packaging Sci. Technol. 19: 43-50.
- Park JW, Kim JS, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Lee JS. 2016. Development of pallet-scale modified atmosphere packaging for 'Tabor' tomatoes. J. Food Preserv. 23: 614-622.
- Pitt JI, Hocking AD. 1997. Fungi and Food Spoilage 2nd edition, Blackie academic and professional, London, UK, p. 80-81.
- Reinas I, Oliveira J, Pereira J, Mahajan P, Pocas F. 2016. A quantitative approach to assess the contribution of seals to the permeability of water vapour and oxygen in thermos sealed packages. Food Packaging and Shelf Life. 7: 34-40.
- Rux G, Mahajan PV, Geyer M, Linke M, Pant A, Saengerlaub S, Caleb OJ. 2015. Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms. Postharv. Bio. Technol. 108: 102-110.
- Saltveit ME. 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for harvested vegetables. In: Saltveit (ed) Vegetables and Ornamentals. Postharv Hort Series No. 18, Univ of Calif, Davis CA, USA, pp 11-12.
- Song YS, Vorsa N, Yam KL. 2002. Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. J. Food Eng. 53: 103-109.
- Techavises N, Hikida Y. 2008. Development of a mathematical model for simulating gas and water vapor exchanges in modified atmosphere packaging with macroscopic perforations. J. Food Eng. 85: 94-104.
- Thompson JF, Mitchell FG, Rumsey TR, Kasmire RF, Christosto CH. 1998. Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers. University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 21567, USA, pp 2-3.
- Xanthopoulos G, Koronaki ED, Boudouvis AG. 2012. Mass transport analysis in perforation-mediated modified atmosphere packaging of strawberries. J. Food Eng. 111: 326-335.