

이산화염소 및 저온 플라즈마 가스 살균 및 MAP 처리가 파프리카의 저장 중 품질과 미생물학적 변화에 미치는 영향

최인이 · 이주환¹ · 권용범¹ · 노유한¹ · 강호민^{1*}

강원대학교 농업생명과학연구원

¹강원대학교 스마트농업융합학과

Effect of Chlorine Dioxide, Cold Plasma Gas Sterilization and MAP Treatment on the Quality and Microbiological Changes of Paprika During Storage

In-Lee Choi, Joo Hwan Lee¹, Yong Beom Kwon¹, Yoo Han Roh¹, and Ho-Min Kang^{1*}

Agricultural and Life Science Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

¹Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract This study was conducted to investigate the effect of packaging methods and sterilization treatment on storability and microbial control in paprika fruits. When treated with chlorine dioxide gas for 3, 6, and 12 hours and cold plasma gas for 1, 3, and 6 hours, and then packed in a carton box and stored in a $8 \pm 1^\circ\text{C}$ chamber for 7 days, chlorine dioxide treated 12 hours and plasma treated 6 hours was prevented the development of *E. coli* and YM(yeast and mold). Accordingly, the control was treated with chlorine dioxide for 12 hours and plasma for 6 hours, packed using a carton box and $40,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$ OTR film (MAP), and stored in a $8 \pm 1^\circ\text{C}$ chamber for 20 days. Fresh weight loss rate during storage was less than 1% in the MAP treatments, and the visual quality of the MAP treatments was above the marketability limit until the end of storage. There was no difference in the contents of oxygen, carbon dioxide, and ethylene in the film. In the case of firmness, the chlorine dioxide treatments was low, and the Hunter a^* value, which showed chromaticity, was highest in the Plasma 6h MAP treatment. Off-odor was investigated in the MAP treatments, but it was very low. The rate of mold growth on the fruit stalk of paprika was the fastest and highest in the chlorine dioxide treated box packaging treatments, and the lowest in the chlorine dioxide treated MAP treatments at the end of storage. The aerobic count in the pulp on the storage end date was the lowest in the plasma treated box packaging treatments, the lowest number of *E. coli* in the chlorine dioxide treated MAP treatments, and the lowest yeast & mold in the chlorine dioxide treated box packaging treatments. As a result, for the inhibition of microorganisms during paprika storage, it is considered appropriate to treat plasma for 6 hours before storage regardless of the packaging method.

Keywords *Escherichia coli*, Modified atmosphere packaging, Microorganisms, Ozone

서 론

파프리카(*Capsicum annuum* L.)는 다양한 색상과 풍부한 영양소를 가지고 있어 전세계적으로 많이 소비되는 과채 중 하나이다¹⁾. 우리나라의 경우 1995년 전라북도 김제에서 수

출용으로 재배된 후 생산량이 지속적으로 상승 추세이며, 2020년 기준 강원, 전북, 전남, 경남의 재배면적이 전국의 92%로 집중되어 있다. 국내에서는 연중 생산되며, 재배시기에 따라 동계(11월~7월), 하계(6월~12월)작으로 구분되고, 적색 품종이 55%, 황색 품종이 41%, 그리고 주황색 품종이 4%를 차지한다. 파프리카는 국내 생산량의 35~40%가 수출되고 있으며 2017년까지 10여년간 지속적으로 수출량이 증가하였으나 이후 하락하는 추세이다. 2021년 기준 일본이 전체 수출량의 99%를 차지하고 있으며, 이 외에 홍콩, 중국, 베트남, 싱가포르에 수출되고 있다²⁾. 선박으로 수출

*Corresponding Author: Ho-Min Kang
Interdisciplinary Program in Smart Agriculture Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
Tel: +82-33-250-6425
E-mail: hominkang@kangwon.ac.kr

시 재배지역에서 현지 수출업체까지 일본의 경우 2일, 동남아는 10일, 호주나 북미의 경우 선박수송기간과 유통까지 고려하면 20일이 넘는 저장 유통이 요구되는 실정이다³⁾. 원예산물은 유통조건과 수송 및 관리에 따라 저장성이 달라지는데^{4,5)}, 파프리카의 경우 MA저장에 관한 연구가 많이 보고되었다^{6,7)}. MA저장은 포장 내 산소와 이산화탄소의 증감으로 품질유지에 적합한 대기조성이 만들어지는데⁸⁾, 높은 습도에 의해 곰팡이 등의 유해 미생물 발현으로 2차적 품질 저하 현상을 일으키기도 하며(Jarvis, 2018)⁹⁾, 식중독 사고를 유발할 수 있어¹⁰⁾ 포장 전 살균처리가 필요한 실정이다¹¹⁾. 원예작물에 대한 살균 연구는 염소수를 이용한 연구가 많으며, 미생물 제어와 품질 유지에도 효과적인 것으로 보고되었다^{12,13)}. 그러나 염소수의 경우 이취가 발생하거나 여러 행균 과정을 거쳐 2차적 품질 저하를 초래할 수 있다¹⁴⁾. 이에 저온 플라즈마(cold plasma), 오존(ozone), 이산화염소(chlorine dioxide)등의 가스 형태로 업체류¹⁵⁾와 다양한 식품군을 대상으로 미생물 억제에 대한 연구가 진행되고 있다^{16,17)}. 이산화염소는 높은 산화력으로 살균에 효과적인데¹⁸⁾, 파프리카 과실을 대상으로 상온에서 이산화염소 가스 훈증 처리에 관한 연구가 보고되었다¹⁹⁾. 또한, 무름병 억제를 위해 플라즈마 활성화 중 하나인 오존으로 처리하였는데, 신선도를 유지시키며 곰팡이 균사 생장을 억제해 효과가 있다고 보고하였다²⁰⁾. 이에 본 연구는 파프리카 과실을 대상으로 이산화염소 및 저온 플라즈마 가스 처리 후 박스 포장 및 MAP 처리가 저장성과 미생물 생장 억제에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시재료

공시재료는 강원도 춘천시에 위치한 플라스틱 온실에서 재배된 적색 계열의 파프리카 ‘나가노’(Nagano, Rijk Zwaan, Netherlands) 품종을 사용하였다. 파프리카는 cocopeat 배지(BIO GROW DUO, France)에 정식하였으며 양액은 파프리카 표준 양액 조성표를 이용하였다. 재배 중에는 양액의 공급 EC를 2.5~3.0 ds·m⁻¹ 범위로 일출 1시간 30분 이후부터 일몰 2시간 전까지 파프리카의 생육 상태에 따라 8회에서 10회(1회 120 mL) 사이로 공급하였다. 수확된 과실 중 80% 이상 착색된 것을 선별하여 실험에 사용하였다.

2. 살균처리

살균 전처리는 이산화염소(CIO₂), 저온 플라즈마(cold plasma)를 사용하였으며, 무처리를 대조군으로 두었다. 이산화염소는 이산화염소 가스 발생기(Bactericide-mini, Sun clean, Tokyo, Japan)를 사용하여 1.0 µL·L⁻¹ 농도로 처리하였고, 플라즈마는 4°C 저온 챔버에서 플라즈마 생성기(HKF-10,

Biozone Scientific International Inc, Orlando, USA)를 사용하여 플라즈마 활성화 중 하나인 오존(O₃) 가스를 0.4 µL·L⁻¹ 농도로 처리하였다¹⁵⁾. 이산화염소와 오존 농도는 휴대용 기체 분석기(PortaSens II, Analytical Technology Inc., Oldham, UK)를 사용하여 측정하였다.

3. 저장 및 포장

살균 처리 시간을 구명하고자 이산화염소 가스는 3시간, 6시간, 12시간, 플라즈마 가스는 1시간, 3시간, 6시간 처리하여 기존 유통 골판지 박스(carton box)에 포장하여 8±1 °C 저온 챔버에서 7일간 저장하였다. 처리 시간 구명 후 이산화염소 12시간, 플라즈마 6시간 처리하여 기존 유통 골판지 박스 포장과 MAP(modified atmosphere packaging) 처리하여 8±1 °C 저온 챔버에서 20일간 저장하였다. MAP의 경우는 50 µm 두께의 PP(polypropylene) film에 레이저 가공 처리하여 산소투과도를 조절한 OTR film(Oxygen transmission rate) 40,000 cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ (대형포장산업(주))으로 123 × 175 × 90 mm 용기에 순간 가열식 용기접착기(SC200-IP, Kumkang, Korea)를 사용하여 포장하였다.

4. 품질평가

살균 처리 시간 구명 실험은 저장 종료일에 생체중 감소를, 외관상 품질, 총 세균수, 대장균수 및 곰팡이수를 조사하였다. 처리 시간 구명 후 진행된 포장방법에 따른 실험에서는 저장 중 생체중 감소율, 외관상 품질 변화, 포장 내 산소, 이산화탄소, 에틸렌 농도 변화, 과경의 곰팡이 발생률, 그리고 저장 종료일에는 경도, 색도, 이취 정도와 총 세균수, 대장균수 및 곰팡이수를 조사하였다. 생체중 감소율은 저장 전 중량에서 저장 중 감소하는 중량을 백분율로 표현하였다. 포장 내 산소, 이산화탄소 농도는 infrared single beam sensor(Checkpoint 3, AMETEK mocon, MN, USA), 에틸렌 농도는 gas chromatography(GC-2010, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 측정하였다. 경도는 rheometer (Compac-100II, Sun scientific, Tokyo, Japan), 색도는 colorimeter(Konica minolta, Tokyo, Japan)를 사용하여 0을 기준으로 양의 수는 적색, 음의 수는 녹색을 나타내는 Hunter a* 값으로 나타내었으며, 외관상 품질과 이취, 곰팡이 발생률은 숙련된 패널리스트가 Panel test를 통하여 조사하였는데, 외관은 상품성의 한계점 기준을 3점, 이취의 경우 매우 강한 수준을 5점으로 하였다^{8,21)}.

5. 미생물 조사

미생물 수는 시료 2 g을 멸균수 18 ml과 무균백에 넣고 stomacher(Power, mixer, B&F KOREA, Korea)를 이용하여 3분간 균질화 하였다. 균질화된 시료 중 0.2 ml을 19.8 ml의 멸균수로 다시 희석하여 최종 1,000배 희석액을 제조하였

다. 배지는 Petrifilm TM count(3M Microbiology product, AA, EC, YM, USA)를 사용하여 희석액 1.0ml을 Petrifilm에 분주한 후 일반세균(35°C, 48시간), 대장균(35°C, 24시간) 그리고 곰팡이(25°C, 72시간)를 각각 배양하였고, 자동균수 측정기(Petrifilm Plate Reader, 3M, USA)로 조사하여 집락수(colony form unit: CFU)를 log CFU/g으로 표기하였다^{15,22)}.

6. 통계분석

모든 실험은 8 반복으로 진행되었으며, Microsoft Excel program(version 2019, Microsoft Corp., CA, USA)을 사용하여 표준편차를 표시하였고, 통계분석은 SPSS statistics program(version 26, IBM Corp., NY, USA)을 사용하여 Duncan의 다중범위검정을 진행하였다.

결과 및 고찰

1. 살균 처리 시간 구명

이산화염소와 저온 플라즈마를 처리 후 저온에서 7일간 골판지 박스(carton box)에 저장한 파프리카의 생체중 감소율은 무처리구인 대조구가 가장 높았으며, 이를 제외한 나머지 가스 처리한 살균 처리구는 가스의 종류 및 처리 시간에 관계없이 통계적 유의성이 나타나지 않았다(Table 1). 또한 파프리카 저장 및 유통 중 외관상 품질 저하 현상인 주글거림 등이 나타나기 시작하는 최대 생체중 감소 허용률 6.1% 보다²³⁾ 낮은 수치를 보였다. 패널테스트를 통한 외관상 품질은 이산화염소 3시간 처리구가 가장 높았고, 대조구와 플라즈마 처리구가 대체적으로 낮아 상품성 한계인 3점에 가까웠다. 플라즈마 처리의 경우 세포막 손상을 일으켜 저장 중 상품성을 낮출 수 있다고 보고된 것과 유사한 결과를 보였다²⁴⁾.

저장 종료일의 총 세균수는 대조구를 포함한 모든 처리구 중 플라즈마 3시간 처리구가 가장 높았고, 플라즈마 1시간 처리구가 가장 낮았다. 대장균수의 경우 이산화염소를

처리한 모든 처리구와 플라즈마 6시간 처리구가 조사되지 않았다. 곰팡이수는 플라즈마 6시간 처리구에서 나타나지 않았다(Table 1). 우리나라 미생물적 안전기준 중 신선 농산물에 대한 허용기준은 없으나, 비가열 조리식품에 대한 기준에 의하면 일반 세균은 6 log CFU/g, 대장균은 3 log CFU/g 이하인데²⁵⁾, 대조구를 포함한 모든 처리구의 총 세균수는 기준 이하였고, 대장균의 경우 대조구와 플라즈마 3시간 처리구가 기준을 초과하였다. 이에 파프리카 저장 전 이산화염소는 6시간 이상, 플라즈마 가스의 경우도 6시간 이상 처리하는 것이 유해 미생물을 줄이는데 효과적인 것으로 판단하였다.

2. 저장 중 품질 및 필름 내 대기조성 비교

살균처리 시간 구명 후 무처리구인 대조구와 이산화염소 가스 12시간, 플라즈마 6시간 처리 후 골판지 박스 포장 처리와 산소투과도를 조절한 필름(40,000 cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR film(Oxygen transmission rate))으로 MAP 처리하여 저온 챔버에서 20일간 저장하였다. 저장 중 생체중은 대조구를 포함한 모든 박스 포장 처리구에서 5~6%의 감소를 나타냈고, MAP(modified atmosphere packaging) 처리구들에서는 1% 미만의 감소를 보였다(Fig. 1A). 파프리카 최대 허용 생체중 감소율인 6.1%와 비교해 유사하거나 낮은 수치를 보였다²³⁾, 플라즈마 처리구가 다른 처리구에 비해 생체중 감소율이 다소 높았는데, 방울토마토를 대상으로 플라즈마 처리 하였을 때 무처리구보다 생체중 감소가 높았다는 보고와 유사하였다²⁶⁾.

패널테스트로 진행된 외관상 품질은 상품성 한계를 3점으로 하였을 때, 대조구를 포함한 세가지 MAP 처리구는 저장 종료일인 20일까지 3점 이상이었으며, 세가지 박스 포장 처리구는 저장 13일 전 3점을 넘으며 20일째에는 2점대를 나타냈다. 박스 포장 처리구가 6% 내외의 높은 생체중 감소 정도를 보이며 약간의 외관상 주글거림 현상을 보여 패널테스트로 진행된 조사에서 낮은 점수를 받은 것으로 보인다. MAP 처리구와 박스 포장 처리구 중 무처리구

Table 1. The fresh weight loss rate, visual quality, aerobic count, *E.coli*, and yeast & mold of paprika fruit packed with carton box after sterilization treatments(ClO₂ and cold plasma) stored for 7 days.

Treatment	Fresh weight loss rate (%)	Visual quality	Aerobic count (log CFU/g)	<i>E.coli</i> (log CFU/g)	Yeast and Mold (log CFU/g)
Control	4.5a ¹⁾	3.2c	2.16bc	3.79a	2.10ab
ClO ₂ 3h	2.6b	4.5a	1.23bc	0.00b	3.16a
6h	2.7b	3.9b	2.16bc	0.00b	1.00ab
12h	2.8b	3.8b	2.10bc	0.00b	1.00ab
Plasma 1h	2.1b	3.3c	0.00c	2.86a	1.00ab
3h	2.3b	3.5bc	5.19a	4.32a	1.00ab
6h	2.6b	3.3c	3.00ab	0.00b	0.00b

¹⁾Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level. Values are the means of eight repetitions (n = 8).

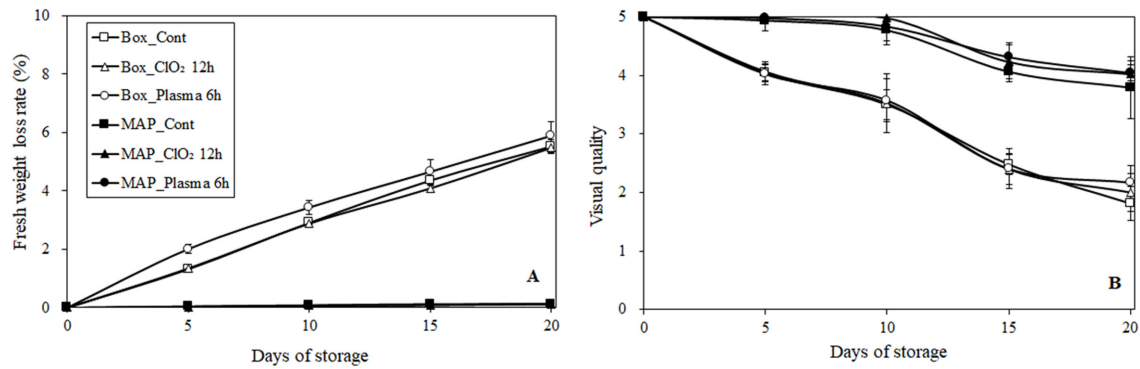


Fig. 1. Change of fresh weight loss rate(A) and visual quality(B) of paprika fruit packed with carton box and 40,000cc OTR film(MAP) after sterilization treatments(ClO₂ and cold plasma) stored for 20 days. Vertical bars represent ± SD (n = 8).

인 대조구의 외관상 품질이 가장 낮았는데 통계적 유의성은 없었다(Fig. 1B).

저장 중 MAP 처리구의 필름 내 산소, 이산화탄소, 그리고 에틸렌 농도를 조사하였다. 대조구를 포함한 이산화염소 12시간, 플라스마 6시간 처리구의 필름 포장 내 산소 농도는 세 처리 모두 저장 종료일까지 16~17% 내외를 유지하였다(Fig. 2A). 이산화탄소 농도는 플라스마 처리구가 저장 5일, 대조구가 7일, 이산화염소 처리구가 12일째까지 증가하다 감소하는 경향을 보였고, 이산화염소 12시간 처리구가 다른 두 처리구에 비해 높은 수치를 나타냈으나, 통계적 유의성 없이 3~4% 내외의 농도를 유지하였다(Fig. 2B). 파프리카 MA저장 시 산소 최저 허용 농도 3%, 이산화탄소 최고 허용 농도 2%로 보고되었는데²⁷⁾, 이산화탄소 허용 농도를 다소 초과하는 수치를 나타냈다. 모든 MAP 처리구의 저산소에 대한 피해는 없었을 것으로 보이며, 고이산화탄소로 인해 필름 내 acetaldehyde 축적으로 이취 발생 또는 내부 갈변 등의 생리장해²³⁾는 관찰되지 않았다. 포장 내 에틸렌은 모든 MAP 처리구가 저장 직후 증가한 후 증가와 감소를 반복하며 0.6~0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 내외의 농도를 저장 종료일인 20일까지 유지하였고, 처리구간의 차이는 없었다(Fig. 2C). 파프리카는 non-climacteric 형 과실로 에틸렌에 대한 반응이 크지 않고, 발생량이 0.1~1.0 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ 로 낮은 수준으로 보고되었는데²⁷⁾, 이와 유사한 수치를 나타내며 에틸렌에 의한 품질 저하 현상을 보이지 않았다.

3. 저장 종료일 품질

저장 종료일의 경도는 박스 포장 처리구가 MAP 처리구보다 높았고, 이산화염소 처리구가 포장 방법에 상관없이 낮았다(Table 2). 아스파라거스와 자두의 경우 이산화염소 처리로 경도 감소가 억제되었는데, 이산화염소의 경우 세포벽 효소를 비활성화시켜 연화를 지연시킨다고 보고하였다^{28,29)}. 그러나 본 연구에서는 이산화염소 처리구의 경도가 가장 낮았는데, 12시간의 장시간 처리의 영향이라 판단된

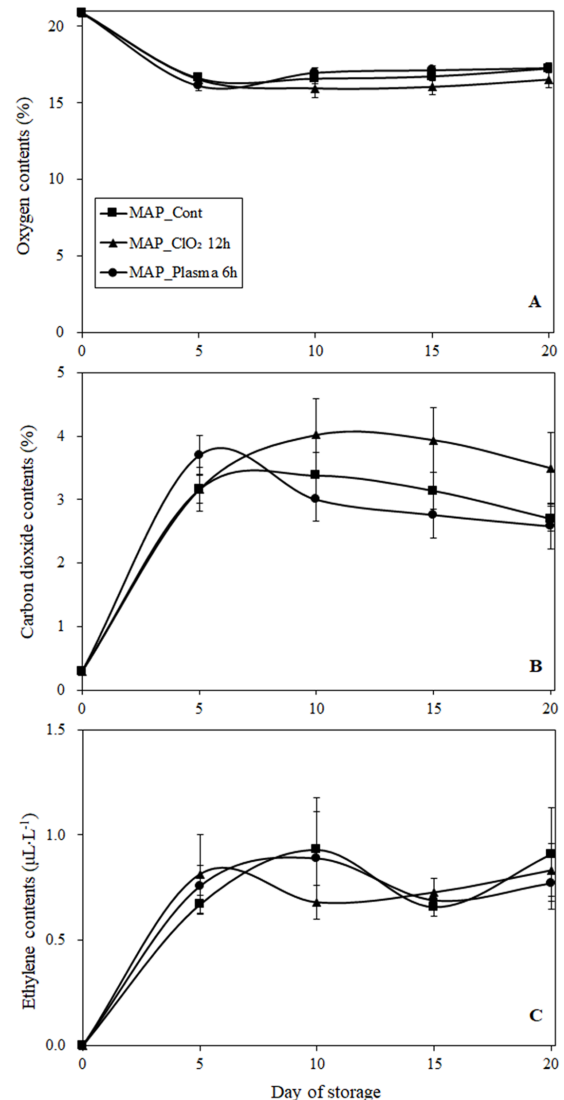


Fig. 2. Change of oxygen(A), carbon dioxide(B), and ethylene contents(C) of paprika fruit packed with 40,000cc OTR film(MAP) after sterilization treatments(ClO₂ and cold plasma) stored for 20 days. Vertical bars represent ± SD (n = 8).

Table 2. The firmness, hunter a* value, and off-odor of paprika fruit packed with carton box after sterilization treatments(ClO₂ and cold plasma) stored for 20 days.

Packaging	Treatment	Firmness (N)	Hunter a*	Off-odor
	Initial	38.2bc ¹⁾	35.5e	-
Box	Control	46.5a	36.4de	0.0c
	ClO ₂ 12h	37.3bc	34.2e	0.0c
	Plasma 6h	42.3ab	39.2cd	0.0c
MAP	Control	39.5bc	41.8bc	0.7a
	ClO ₂ 12h	37.1c	42.4ab	0.5ab
	Plasma 6h	41.7bc	45.1a	0.3b

¹⁾Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level. Values are the means of eight repetitions (n = 8).

다. 방울토마토에 살균을 위해 이산화염소를 처리하였을 때 처리농도가 높고, 처리 시간이 길어질수록 저장 중 경도가 낮아졌다는 보고와 유사하였다³⁰⁾.

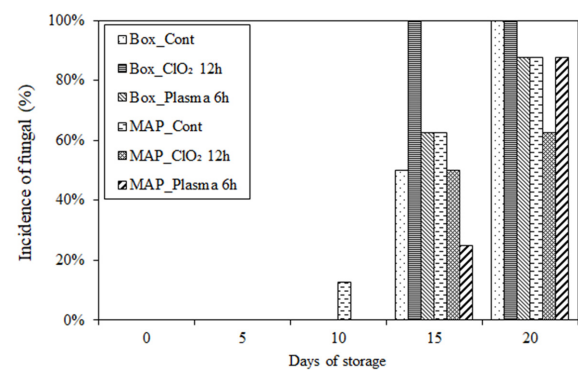
저장 종료일의 색도는 Hunter Lab 값 중 0을 기준으로 음수는 녹색, 양수는 적색을 나타내는 Hunter a*값으로 나타내었는데, 이산화염소 처리구는 초기값과 유사하였고, 플라즈마 처리구는 증가하여 착색 촉진인 것을 확인할 수 있었다(Table 2). 대조구와 이산화염소 가스 처리구의 색도 차이는 나타나지 않았는데, 파프리카를 대상으로 이산화염소 가스로 훈증 처리 후 골판지 박스 포장 처리시 이산화염소 가스 발생 스틱을 병합 처리 하였을 때 대조구와 Hunter Lab 값의 차이가 나지 않았다고 보고하였다³¹⁾. 또한, 박스 포장 처리구에 비해 MAP 처리구의 Hunter a*값이 높았는데 이는 포장 내 축적된 에틸렌 가스의 효과로 생각된다. 파프리카는 non-climacteric 으로 분류되지만 에틸렌 처리에 의해 착색이 유도된다고 하였으며³²⁾, 유공 필름에 비해 무공 필름에 포장한 파프리카의 착색 정도가 높았다고 하였다³³⁾.

패널테스트로 조사된 이취는 세가지 MAP 처리구에서 발생하였는데, 대조구가 가장 높았고 이산화염소, 플라즈마 처리구 순서였으나 1점 이하로 낮았다(Table 2). 필름 내 고 이산화탄소로 축적된 acetaldehyde로 인한 이취는 발생하지 않은 것으로 판단된다²³⁾.

Table 3. The aerobic count, *E.coli*, and yeast & mold of paprika fruit packed with carton box after sterilization treatments(ClO₂ and cold plasma) stored for 20 days.

Packaging	Treatment	Aerobic count (log CFU/g)	<i>E.coli</i> (log CFU/g)	Yeast & Mold (log CFU/g)
Box	Control	5.13a ¹⁾	4.32ab	0.75b
	ClO ₂ 12h	4.92ab	4.71a	0.00c
	plasma 6h	0.75d	3.62cd	0.75b
MAP	Control	5.26a	4.29abc	0.75b
	ClO ₂ 12h	3.27c	3.32d	0.75b
	plasma 6h	4.06bc	3.82bcd	1.58a

¹⁾Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level. Values are the means of eight repetitions (n = 8).

**Fig. 3.** The change of incidence of fungal of paprika fruit packed with carton box and 40,000cc OTR film(MAP) after sterilization treatments(ClO₂ and cold plasma) stored for 20 days.

4. 살균 효과

저장 중 패널테스트로 과정의 곰팡이 발생률을 조사하였다. 저장 10일째 대조구 MAP 처리구가 가장 먼저 곰팡이가 발생하였고, 이를 제외한 나머지 처리구는 저장 15일이 경과하며 급격히 증가하였다. 저장 15일째 이산화염소 12시간 처리 박스 포장 처리구는 100%로 모든 처리구의 과정에서 곰팡이가 조사되었고, 플라즈마 처리 박스 포장 처리구, 대조구 MAP 처리구가 62.5%, 대조구 박스 포장 처리구, 이산화염소 처리 MAP 처리구가 50%, 플라즈마 처리

MAP 처리구가 25%로 나타났다. 저장 종료일인 20일째는 모든 대조구 박스 포장 처리구에서 곰팡이가 발생하였고, 이산화염소 처리 MAP 처리구가 가장 낮은 62.5%를 나타냈다(Fig. 3). 파프리카 모의 유통 과정에서 곰팡이가 과피보다는 주로 과경 절단부에서만 발견되었고 절단부위에 *Botrytis cinerea* 로 보인다는 기존의 보고와 유사하였다^{3,34}.

저장 종료일 과피의 총 세균수는 플라즈마 처리 박스 포장 처리구, 대장균은 이산화염소 처리 MAP 처리구, 곰팡이수는 이산화염소 처리 박스 포장 처리구가 가장 낮았다. 총 세균수, 대장균수는 살균 처리와 포장 처리에 따른 일정한 경향은 나타나지 않았고, 곰팡이수는 플라즈마 처리구에 비해 이산화염소 처리가 낮았으며, 모든 MAP 처리에 비해 박스 포장 처리구의 곰팡이수가 낮게 조사되었다(Table 3). 비가열 조리식품에 대한 기준(일반 세균: 6 log CFU/g, 대장균: 3 log CFU/g 이하)²⁵과 비교해보면, 총 세균수는 대조구 포함 모든 처리구가 기준 이하였고, 대장균수는 모든 처리구가 기준을 초과하였다. 살균 처리에 따른 미생물 제어 효과가 균에 따라 상이한 것은 균에 따라 기작의 차이가 있으며, 미생물 특성과 같은 생물학적 매개 변수에 따라 다르다고 하였다^{35,36,37}.

요 약

파프리카 저장 및 유통 전 처리와 포장방법이 저장성 및 미생물 제어에 미치는 영향에 대해 알아보고자 수행되었다. 이산화염소 가스 3, 6, 12시간과 저온 플라즈마 가스 1, 3, 6시간 처리 후 골판지 박스로 포장하여 $8 \pm 1^\circ\text{C}$ 챔버에서 7일간 저장 하였을 때, 이산화염소 12시간 처리와 플라즈마 6시간 처리가 대장균과 곰팡이 발현을 낮추는 것으로 나타났다. 이에 무처리 대조구와 이산화염소 12시간, 플라즈마 6시간 처리한 후 골판지 박스 포장과 MAP 처리를 하여 $8 \pm 1^\circ\text{C}$ 챔버에서 20일간 저장하였다. 저장 중 생체중 감소는 MAP 처리구가 1% 미만의 수치를 보였고, 외관상 품질은 MAP 처리구가 저장 종료일까지 상품성 한계점 이상이었다. 필름 내 산소, 이산화탄소, 에틸렌 농도는 처리구간의 차이가 나타나지 않았다. 경도의 경우 이산화염소 처리구가 낮았고, 색도를 나타낸 Hunter a^* 값은 MAP 처리구에서 증가하였다. 이취는 MAP 처리구에서 측정되었지만 매우 낮았다. 파프리카 과정의 곰팡이 발생률은 이산화염소 처리 박스 포장 처리구가 가장 빠르고 높게 발생하였고, 이산화염소 처리 MAP 처리구가 가장 낮았다. 저장 종료일 과육의 총 세균수는 플라즈마 처리 박스 포장 처리구, 대장균수는 이산화염소 처리 MAP 처리구, 곰팡이수는 이산화염소 처리 박스 포장 처리구가 가장 낮았다. 이상의 결과를 종합해보면, 파프리카 저장 중 미생물 억제를 위해 포장 방법과 관계없이 저장 전 플라즈마를 6시간 처리하는 것이 적합하다고 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품수출비즈니스전략모델구축사업의 지원을 받아 연구되었고(320101-03), 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2021R1A6A1A03044242)의 지원을 받아 수행됨

참고문헌

1. Byambaa, B.E., Lee, J.S., Park, M.H., Choi, J.W., Eum, H.L., Malka, S.K., Yun, Y.E., Kim, C.H., Kim, H.C., Lee, J.W., Park, K.Y., Bae, J.H., Lee, Y.S., Jeong, C.S., and Park, J.S. 2022. Quality changes as affected by storage temperature and polyamide film packaging in paprika (*Capsicum annuum* L.). Korean J. Packag. Sci. Tech. 28(2): 115-125.
2. aT. 2022. <http://www.kati.net>
3. Choi, I.L., Yoo, T.J., Kim, I.S., Lee, Y.B., and Kang, H.M. 2011. Effect of non-perforated breathable films on the quality and shelf life of paprika during MA storage in simulated long distance export condition. J. Bio-Env. Con. 20(2): 150-155.
4. Kang, H.M. and Park, K.W. 1998. Effects of packaging methods and handling temperatures on postharvest quality during storage of cucumber. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40: 9-12.
5. Kang, H.M., Choi, I.L., Cho, Y.N., Lee, Y.S., and Kim, Y.S. 2009. Comparison of storability of several tomato cultivars. J. Bio-Env. Con. 20: 9-16.
6. Choi, I.L., Kim, I.S., and Kang, H.M. 2008. Influence of maturity of fruit and storage condition on the storability of sweet pepper in MA storage. J. Bio-Environ. Cont. 17(4): 319-324.
7. Choi, J.W., Lee, H.E., Lee, W.M., Cho, M.A., and Hon, Y.P. 2010. Effect of MA and active MA on the quality maintenance of bell pepper during cold storage. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(s1):74-75.
8. Lee, J.H., Choi, D.H., Roh, Y.H., Choi, I.L., and Kang, H.M. 2021. Effect of packaging method on quality and storability of head lettuce. Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences. 33(3): 250-261.
9. Jarvis, W.R. 1977. Botryotinia and botrytis species: taxonomy, physiology and pathogenicity, A guide to the literature. Monograph No. 15. Ottawa: Canada Department of Agriculture.
10. Park, H.O., C.M. Kim, G.J. Woo, S.H. Park, D.H. Lee, E.J. Chang, and K.H. Park. 2001. Monitoring and trends analysis of food poisoning outbreaks occurred in recent years in Korea. Journal of Food Hygiene and Safety. 16: 280-294.
11. Choi, E.K. 2019. Study of the expression analysis and early prediction of gray mold disease on the paprika. Ph.D Dissertation. Gyeongsang National University. Jinju-si. South Korea.
12. Baur, S., Klaiber, R. Hammes, W.P., and Carle, R. 2004. Sensory and microbiological quality of shredded, packaged

- iceberg lettuce as affected by pre-washing procedures with chlorinated and ozonated water. *Inno Food Sci Emerg Technol.* 5: 45-55.
13. Mehmet, K. and Ilkin, Y.S. 2007. Antimicrobial effect of koruk (unripe grape-*Vitis vinifera*) juice against *Salmonella typhimurium* on salad vegetables. *Food Control.* 18: 702-706.
 14. Torriani, S. and Massa, S. 1994. Bacteriological survey on ready-to-use sliced carrots. *Lebensm-Wiss. Technol.* 27: 487-490.
 15. Kim, J.Y., Han, S.J., Whang, L., Lee, J.H., Choi, I.L., and Kang, H.M. 2019. Effects of chlorine water and plasma gas treatments on the quality and microbial control of *Latua indica* L. baby leaf vegetable during MA storage. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 28(3): 197-203.
 16. Yoon, G.A. and C.Y. Mok. 2015. Microbial inactivation of grains used in saengshik by corona discharge plasma jet. *J. Kor. Food Sci. Technol.* 47: 70-74.
 17. Kwon, K.H., Sung, J.M., Kim, J.Y., Kim, B.S., and Kim, S.H. 2017. Quality characteristics of beef in thermoelectric cooling system combined with plasma during storage. *J. Kor. Food Preserv.* 24: 52-59.
 18. Chen, T.S., Chen, Y.H., Zhao, Y.L., and Chiang, P.C. 2020. Application of gaseous ClO_2 on disinfection and air pollution control: A mini review. *Aerosol and Air Quality Research.* 20: 2289-2298.
 19. Kang, J.H., Park, S.M., Kim, H.G., Son, H.J., Song, K.J., Cho, M., Kim, J.R., Lee, J.Y., and Song, K.B. 2015. Gaseous chlorine dioxide treatment to produce high quality paprika for export. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 44(7): 1072-1078.
 20. Kim, H.S., Go, S.M., Jeong, R.D., Kwon, D.H., and Park, M.R. 2018. Development of a plasma sterilization system for improved storability of paprika and validation of its effects. *J. Agri Life Environ Sci.* 30(3): 144-151.
 21. Loaiza, J. and Cantwell, M. 1997. Postharvest physiology and quality of cilantro (*Coriandrum sativum* L.). *HortScience.* 32: 104-107.
 22. Choi, D.H., Lee, J.H., Choi, I.L., and Kang, H.M. 2021. Effect of growth temperature and MA storage on quality and storability of red romaine baby leaves. *Korean J. Packag. Sci. Tech.* 27(3): 187-192.
 23. Kays, J.S. and Paull, E.R. 2004. *Postharvest biology.* Exon Press, Athens, GA.
 24. Pasquali, F., Stratakis, A.C., Koidis, A., Berardinelli, A., Cevoli, C., Ragni, L., Mancusi, R., Manfreda, G., and Trevisani, M. 2016. Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus* L.). *Food Control.* 60: 552-559.
 25. Solberg, M., Buckalew, J.J., Chen, C.C., Schaffner, D.W., O'Neil, K., McDowell, J., Post, L.S., and Boderck, M. 1990. Microbiological safety assurance system for foodservice facilities. *Food Technol.* 44(12): 68-73.
 26. Misra, N.N., Keener, K.M., Bourke, P., Mosnier, J.P., and Cullen, P.J. 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *J. Biosci. Bioeng.* 118: 177-182.
 27. Kader, A.A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops.* 3rd edition. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. USA.
 28. Chen, Z. and Zhu, C. 2011. Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on post-harvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). *Postharvest Biology and Technology.* 61 (2-3): 117-123.
 29. WANG, L.X., Choi, I.L., and Kang, H.M. 2021. Surface sterilisation using chemical or physical methods influence microbial growth and quality of green asparagus. *Zemdirbyste-Agriculture.* 108(1): 87-94.
 30. Wang, L., Sokorai, K., Wu, V.C.H., and Fan, X. 2019. Gaseous chlorine dioxide maintained the sensory and nutritional quality of grape tomatoes and reduced populations of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Food Control.* 96: 299-309.
 31. Kang, J.H., Park, S.M., Kim, H.G., Son, H.J., Song, K.J., Cho, M.A., Kim, J.R., Lee, J.Y., and Song, K.B. 2016. Effects of combined chlorine dioxide gas treatment using low-concentration generating sticks on the microbiological safety and quality of paprika during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45(4): 619-624.
 32. Lim, C.S., Lim, J.M., Kim, B.S., Cho, J.L., Kang, S.M., Hwang, H.J., and An, C.G. 2005. Ethephon and temperature treatment improve the coloration of irregularly colored paprika (*capsicum annum* cv). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(s1): 70.
 33. Choi, I.L., Kim, I.S., and Kang, H.M. 2008. Influence of maturity of fruit and storage condition on the storability of sweet pepper in MA storage. *J. Bio-Environ. Cont.* 17: 319-324.
 34. Snowdon, A.L. 1991. *A colour atlas of post-harvest diseases & disorders of fruits & vegetables.* Vol 2: vegetables, Wolfe Scientific Ltd, London, England.
 35. Hwang, T.Y. 2017. Effect of commercial sanitizers on microbial quality of fresh-cut iceberg lettuce during storage. *Korean J. Food Preserv.* 24: 827-833.
 36. Moreau, M., Orange, N., and Feuilloley, M. 2008. Non-thermal plasma technologies: new tools for bio- decontamination. *Biotechnol. Advances.* 26: 610-617.
 37. Stratakis, A.C. and Koidis, A. 2015. Suitability, efficiency and microbiological safety of novel physical technologies for the processing of ready to eat meals, meats and pumpable products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 50: 1283-1302.