

저장 중 이산화염소 가스의 처리 조건에 따른 방울토마토의 품질변화

최우석 · 안병준 · 김영식¹ · 강호민² · 이정수³ · 이윤석*

연세대학교 패키징학과

¹상명대학교 식물식품공학과

²강원대학교 원예학과

³농촌진흥청 국립원예특작과학원

Quality Changes of Cherry Tomato with Different Chlorine Dioxide (ClO₂) Gas Treatments during Storage

Woo Suk Choi, Byung Joon Ahn, Young Shik Kim¹, Ho-Min Kang², Jung-Soo Lee³ and Youn Suk Lee*

Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea

¹Department of Plant and Food Sciences, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

²Department of Horticulture, Kangwon Nat'l. Univ., Chuncheon 200-701, Korea

³National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Suwon 440-706, Korea

Abstract The effects of chlorine dioxide gas (ClO₂) treatments between high-concentration-short-time and low-concentration-long-time on maintaining the quality of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv 'unicorn') were investigated. Tomatoes were treated with 5 ppm for 10 min and 10 ppm for 3 min as high-concentration-short-time ClO₂ gas treatment conditions and 1 ppm for once a day interval in terms of low-concentration-long-time ClO₂ gas treatment condition, respectively. After ClO₂ gas treatments, tomatoes were storage at 5 and 23°C for 7 days. Weight loss, changes in tomato color, firmness, soluble solids content, pH, growth of total microorganism, and decay rate were evaluated. On day 7, tomatoes treated with chlorine dioxide gas showed low values of respiratory rate, total microbial growth, and decay rate compared to those of tomato without chlorine dioxide gas treatment. Additionally, tomatoes treated the chlorine dioxide were kept the values of firmness and soluble solids content during storage. However, chlorine dioxide gas treatment on tomatoes had no direct effect on weight loss, pH, and color. Results showed that both ClO₂ concentration and treatment time played the important roles for keeping the quality of tomatoes during storage. Tomatoes with chlorine dioxide gas treatment of low-concentration-long-time had more effective values of firmness, the total microbial growth, and decay rate than those with two chlorine dioxide gas treatments of high-concentration-short-time. Results suggest the potential use of chlorine dioxide gas treatment of low-concentration-long-time as an highly effective method for keeping the freshness of cherry tomato.

Keywords Cherry tomato, Chlorine dioxide gas, Post-harvest treatments, Storage

서 론

최근 소비자들의 건강기능성과 식품안전에 대한 관심이 증대됨에 따라 신선·고품질의 과채류에 대한 소비자의 선호도가 급격하게 증가하고 있다¹⁾. 이에 따라 신선 토마토

의 소비도 점차 증가하고 있으며 시설재배의 확대에 인하여 생산이 증가하고 있다. 토마토는 비타민과 무기염의 함량이 높고 당, 유기산 및 독특한 풍미와 색소를 함유하고 있어 생식용뿐만 아니라 여러 가공품의 원료로서 널리 이용되고 있다. 이러한 이유로 토마토의 소비가 증대되면서 토마토의 성숙 중 품질과 관련된 연구는 국내에서도 활발히 진행되고 있다^{2,3)}.

일반적으로 토마토 과실은 수분함량이 높으며 수확 후 현저한 후숙, 연화 및 노화현상이 수반되기 때문에 신선도 유

*Corresponding Author : Youn Suk Lee
Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea
Tel : +82-33-760-2395, Fax : +82-33-760-2760
E-mail : leeyouns@yonsei.ac.kr

지가 어렵다⁴⁾. 따라서 토마토는 생산지로부터 여러 단계의 국내 및 해외 수출 유통경로를 거치면서 최종 소비자에게 도달하기까지 안정적인 품질 유지로 상품성을 높이는 것이 매우 중요하다. 또한 수출용 수송이나 장기 저장을 위해서는 알맞은 저장 및 포장 방법의 연구가 필요하다^{5,6)}.

토마토의 유통기한을 연장시키기 위한 방법으로 Controlled Atmosphere(CA) 저장 방법이 가장 효과적이나 막대한 초기 투자와 시설 유지의 비용 부담 등으로 인하여 현재 우리나라에서는 실용화되지 못하고 있다⁷⁾. 이러한 CA 저장방법의 단점 때문에 최근에는 Modified Atmosphere (MA) 저장⁸⁾, 오존처리⁹⁾ 등과 더불어 이산화염소를 농식품 산업에 살균 및 선도유지에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이산화염소는 염소에 비해 수용성이 10배나 높으며, 유기물질과의 반응성이 약하여 반응부산물도 적다. 또한 이산화염소의 살균력은 염소보다 약 5배 정도 높으며 pH의 영향도 받지 않으며¹⁰⁾, FDA(Food and Drug Administration)에서는 1995년에 과채류 등 식품에 직접 사용이 허가된 이산화염소의 농도를 5~450 ppm으로 허용하고 있다¹¹⁾.

이산화염소의 효과적인 살균력과 식품에 대한 안전성 때문에 식품에 적용하는 연구들이 많이 진행되고 있으며, 국내 연구로 어묵¹²⁾, 양송이버섯¹³⁾, 콩치¹⁴⁾ 등에 이산화염소 처리를 하여 품질변화를 줄여 유통기한 연장의 효과를 보았다. 또한 사과¹⁵⁾, 딸기¹⁶⁾, 양배추¹⁷⁾, 피망¹⁸⁾ 등에 이산화염소 처리를 하여 선도유지 평가를 국외에서 수행하였다. 그러나 이산화염소는 환경조건에 따라 쉽게 산화반응을 일으키거나, 염소산염(ClO_3^-)이나 아연산염(ClO_2^-) 이온으로 쉽게 분해된다¹⁹⁾. 또한 끓는점이 11°C인 이산화염소는 상온에서 실험할 경우 대기로 증발하는 경향이 있어서, 이산화염소 적용 농도의 효과성을 떨어뜨리는 문제점이 있다²⁰⁾. 따라서 기존 연구들은 제품의 유통과정 전에 이산화염소가 처리되는 전처리(Pre-treatment) 형태로 단기 저장 유통에 대한 품질 개선 효과성을 가질 수 있으나 장기 저장성이 필요로 하는 환경에서는 지속적인 선도유지 효과를 유지하는 데는 한계를 가진다고 볼 수 있다. 특히 해외 수출과 같은 저장 유통 중 신선도 유지를 고려하기 위하여 지속적으로 선도유지 효과의 연구가 절실히 필요하다고 판단된다.

본 연구는 신선 토마토의 유통 과정 중 품질 유지 및 유통 기간 증대를 목적으로 이산화염소 가스 처리 방법에 따른 5°C의 저온 및 상온 저장 조건에서 토마토의 품질 변화에 미치는 영향을 연구하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 실험에 사용된 토마토는 2012년 10월 중순 경상북도 김천에서 재배된 유니콘(Unicorn) 품종의 방울토마토를 지

역 대형마켓을 통해서 구매하였다. 방울토마토를 실험실로 옮기는 즉시 일정한 크기(직경 3 ± 1 cm, 무게 4 ± 1 g)와 균일한 담적색기의 속도의 토마토를 선별하여 각 처리군당 350개의 방울토마토를 실험에 사용하였다.

2. 이산화염소 발생과 이산화염소 가스 측정

이산화염소 가스처리는 약 5 g의 이산화염소 발생제(Chlorine dioxide tablet, Dutrion, Netherlands)를 10 mL 증류수와 반응시켜 제조된 약 2000~3000 ppm의 고농도 이산화염소 가스 중 일정량을 채취하여 사용하였다. 발생한 이산화염소 가스의 농도는 이산화염소 측정기(Fixed type ClO_2 gas detector, Scott Inc, NC, USA)를 이용하여 측정하였다.

3. 이산화염소 가스 처리 방법

각 농도의 이산화염소 가스 전처리 조건을 정립하기 위하여 발생제에서 발생한 이산화염소 가스를 일정량 채취하여 20 L 아크릴상자(Fig. 1-A) 윗면에 위치한 주입구로 가스를 주입하였다. 이산화염소 가스 전처리는 선행연구²¹⁾의 고농도·단시간 처리 조건의 기반으로 5와 10 ppm의 이산화염소 가스를 10분 및 3분 간 각각 상온에서 처리하였으며, 이후 각각 다른 농도로 전처리를 한 토마토는 이산화염소 처리 시간이 지난 후 뚜껑이 있는 1 L PET 용기(Fig. 1-B)에 옮긴 뒤 저장실험을 진행했다. 또한 다른 실험구로 같은 조건 상태에서 전처리를 하지 않은 토마토 샘플에 0.5 g의 ClO_2 tablet과 2 mL 증류수를 반응에서 발생한 0.5 mL의 이산화염소 가스를 PET 용기 뚜껑에 부착한 주입구를 통하여 가스 실린지로 하루에 한 번씩 주입하여 1 ppm의 농도의 이산화염소 가스 지속적인 후처리 조건을 정립하였다. 이산화염소 가스의 처리는 Table 1과 같은 조건에서 처리되었으며, PET 용기 뚜껑으로 저장 용기를 밀봉하였다. 무처리군을 포함하여 전처리군(Pre-treatment I, II)과 지속처리(continuous treatment)된 토마토는 각각 5와 23°C에서 저장기간 동안 품질변화를 관찰하였다.

4. 용기 내 기체조성 및 품질변화 측정

이산화염소 가스 처리에 따른 용기 내의 산소(O_2)와 이산화탄소(CO_2) 조성은 Headspace oxygen/carbon dioxide ana-



Fig. 1. The pictures of 50 mm acrylic container(400×250×200 mm) for ClO_2 gas pre-treatment (A) and PET container(265×205×55 mm) for storage (B).

Table 1. The treatment conditions of ClO₂ gas

Methods	ClO ₂ concentrations (ppm)	Treatment time (minute)	Basic concepts
No treatment	0	0	Control
Pre-treatment I	5	10	HCST*
Pre-treatment II	10	3	HCST
Continuous treatment	1	Once a day	LCLT**

*HCST and LCLT** mean the high-concentration-short-time and low-concentration-long-time of ClO₂ gas treatments.

lyzer (CheckPoint™, PBI-Dansensor America Inc., Glen Rock, USA)를 이용하여 측정하였다. 품질변화 항목으로는 중량감소율, 경도, 당성분, pH, 색도, 총균수, 부패율을 측정하였다. 중량감소율은 디지털 전자 밸런스(MW-II series, CAS, Fullerton, USA)를 사용하여 방울토마토의 저장 초기의 중량에서 측정 시 중량을 뺀 저장 중의 감량을 백분율(%)로 나타내었다. 방울토마토의 과육경도는 Tangwongchai 등²²⁾의 경도측정 방법을 참고하여, 직경 5 mm의 probe를 장착한 Texture Analyzer(TA-XT2, Stable Micro Systems Ltd., Surry, UK)로 분석하였으며, 한 과일 당 적도부분을 측정하여 평균값을 구하였다. 경도 측정 시 조건은 변형 깊이는 10 mm, 속도는 2 mm·sec⁻¹이며 단위는 Newton(N)으로 나타냈다. 당성분은 방울토마토를 마쇄하여, 마쇄액의 일부를 굴절 당도계(Mater-M, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하여 °Brix로 나타내었다. 산도(pH)는 방울토마토 착즙액 5 mL를 취한 뒤 증류수 45 mL를 첨가하여 균질화한 후 원심분리하여 pH meter(AB15 pH meter, Fisher Scientific Co., IL, USA)를 이용하여 측정하였다. 방울토마토의 색도 변화는 방울토마토 과피 중 일정 부위를 색차계(Model CR-400, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 색차계 광조사 부분에 밀착시켜 Hunter L값(Lightness), a값(Red/Green), b값(Yellow/Blue)을 측정하였다. 총균수는 방울토마토 10 g을 증류수 90 mL에 넣어 마쇄한 뒤, 마쇄액 1 mL를 PCA(Plate count agar)에 도말하여 37°C에서 48시간 배양 후 colony수를 계산하여 나타내었다. 부패율 측정은 방울토마토의 수침증상 또는 썩이 새어나오거나 곰팡이가 발생되면 부패과로 보았으며 조사된 과실에 대하여 부패과를 전체 과실에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

5. 통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복으로 실험하였으며 평균치간의 유의성은 SPSS system (Statistical Package for Social Science, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) software package (Version 18.0)를 이용하여 $p < 0.05$ 수준으로 Duncan's multiple range test에 의하여 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 이산화염소 가스 처리 시스템

이산화염소 가스의 고농도 단시간 전처리 및 저농도 지

속적 처리를 위해 이산화염소 발생제를 통해 발생시킨 이산화염소 가스의 일정량을 적용한 PET 용기 및 아크릴 소재로 구성된 전처리 상자에서 각각 10, 5, 1 ppm의 농도로 어느 정도 유지함을 확인하였으나 시간이 지남에 따라 모든 처리군의 이산화염소 가스의 농도는 서서히 감소하였다. 이는 이산화염소의 사전 연구²³⁾에서 언급된 내용과 일치하는 결과로 이산화염소 가스 성분이 다양한 외부 환경에 노출되는 빛, 수분, 다른 가스 조건으로 인한 반응 및 용기 등과의 흡착을 통하여 감소되었기 때문으로 생각되어진다. 그러나 본 연구에서는 5와 10 ppm 이산화염소 가스가 단시간 전처리 조건으로 적용하였으므로 적정 이산화염소 가스 농도 감소로 인하여 전처리 조건에 크게 영향을 끼치지 않은 것으로 판단된다.

2. 용기 내 기체조성

신선 토마토의 저장 중 호흡 대사과정에서 산소(O₂) 소비와 이산화탄소(CO₂) 생성 호흡률이 높을수록 품질 변화가 빨라지는 현상을 고려하여²⁴⁾, 저장 기간 동안 용기 내의 산소와 이산화탄소의 농도를 관찰하면서 방울토마토의 호흡률을 측정하였다(Fig. 2). 7일의 저장 기간 동안 저온저장(5°C) 시 무처리군(control)의 산소 농도는 21.01%에서 11.20%로 떨어지면서 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리군(pre-treatment I, pre-treatment II)과 저농도 지속적인 처리군(continuous treatment)에 비해 가장 큰 감소폭($p < 0.05$)을 보였다. 반면 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리군의 산소 농도는 14.23%로 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리 II군 및 무처리군에 비해 가장 낮은 감소폭($p < 0.05$)을 나타냈지만, 다른 고농도 단시간 전처리 I군과는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그리고 무처리군의 이산화탄소는 0.01%보다 낮은 농도에서 9.43%로 다른 처리군보다 가장 크게($p < 0.05$) 증가하였으며, 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리군은 7.43%로 다른 처리군보다 작은 값으로($p < 0.05$) 증가하였다. 저온저장 실험에서 이산화염소 가스의 처리는 방울토마토의 호흡률을 낮추는 효과를 보였으며, 저장 기간 3일 이후에는 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리보다 저농도 지속적인 처리가 방울토마토의 호흡률을 더 낮추는 효과가 있었다. 저장 기간 동안 상온저장(23°C)시 무처리군의 산소 농도는 7일째 0.32%로 떨어지면서 이산화염소 가스 전처리군과 지속적인 처리군보다 가장 크게($p <$

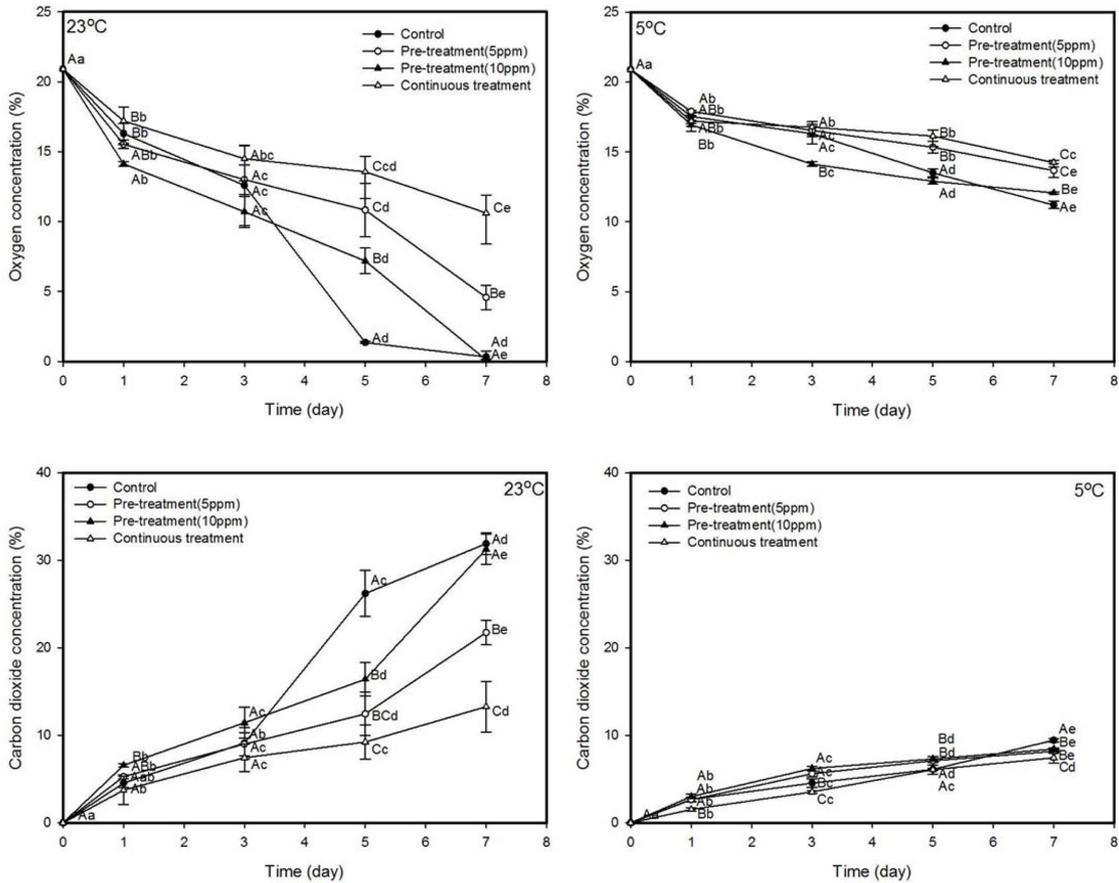


Fig. 2. Changes in gas composition of stored tomatoes according to different ClO₂ treatments. A-D: Values with different capital letters(A~D) among tomato of same storage day of different treatments are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test. a-e: Values with different small letters(a~e) among tomato of same treatments during storage days are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test.

0.05) 감소하였으며 이산화탄소 농도는 31.90%로 다른 처리군들보다 가장 크게($p < 0.05$) 증가하였다. 반면 저농도 지속적 이산화염소 가스 처리군은 산소의 감소폭과 이산화탄소의 증가폭이 대조군과 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리군(pre-treatment II)들에 비해 가장 작게 나타났다($p < 0.05$). 방울토마토의 상온저장 실험에서 이산화염소 가스의 처리는 호흡률을 낮추는 효과를 보였으며, 이산화염소 가스의 전처리보다 지속적인 처리가 호흡률을 더 낮추었다. Wu 등²⁵⁾은 여지열매(lichi)에 80 mg/L의 이산화염소 가스를 처리하였을 때 여지열매의 호흡률이 낮아지는 효과를 보았다. 반면, Gomez-lopez 등²⁶⁾은 상추와 양배추에 1.74와 1.29 mg/L의 각각의 농도를 가진 이산화염소 가스 처리를 하였을 때 호흡률에 영향을 미치지 못한다고 보고하였다. 실험 결과에서 저농도 지속적 이산화염소 가스 처리는 저장 중 방울토마토의 호흡률을 낮추는 영향을 끼치는 결과를 보았다. 이는 저농도 지속적 이산화염소 가스 처리가 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리보다 방울토마토의 호흡률에

낮은 영향을 준다고 생각되며, 따라서 고농도 단기적인 이산화염소 가스의 전처리보다는 저농도 지속적인 처리를 하는 것이 더 효과적인 것으로 판단된다.

3. 중량감소율

방울토마토의 이산화염소 가스 처리방법 차이에 따른 저장 중 중량 감소 변화율은 Fig. 3로 나타났다. 일반적으로 저장기간 중 신선 농산물은 증산작용이 활발해지면서 중량이 감소하게 되며²⁷⁾, 표피 수축으로 인해 외관이 변형되어 과채류의 품질에 직접적인 영향을 준다²⁸⁾. 본 연구 결과에서도 저장기간이 길어질수록 저온저장과 상온저장 방울토마토의 중량감소율은 증가($p < 0.05$) 경향을 보여주었다. 그러나 이산화염소 가스 처리군별로는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 저장 중 용기 내 일정한 농도가 유지된 이산화염소 가스 처리 간의 차이보다는 저장 온도 조건에 따라 방울토마토의 중량감소율에 크게 영향을 끼치는 것을 보여주는 것으로 판단된다. Javanmardi와 Kubota²⁹⁾는

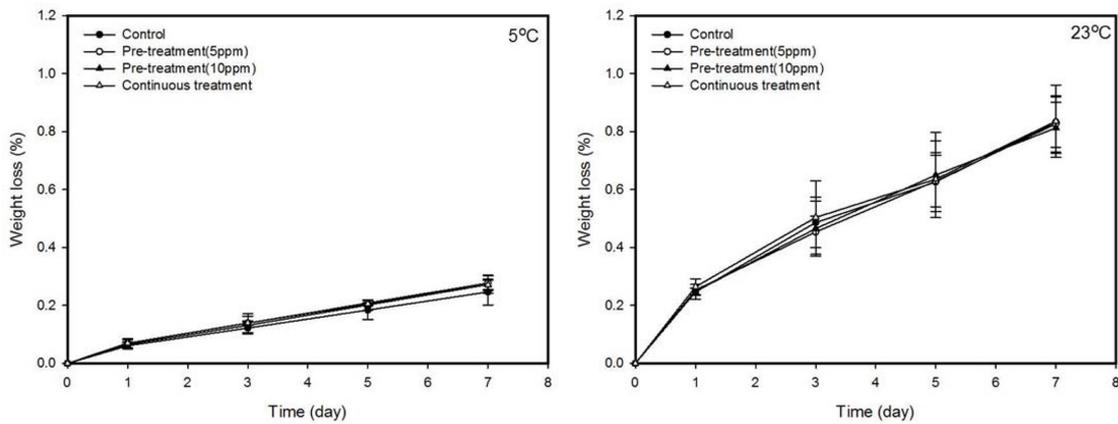


Fig. 3. Changes in weight loss of stored tomatoes according to different ClO_2 treatments.

온도에 따른 토마토의 중량감소를 변화를 측정하는 실험에서, 높은 온도에서 저장되는 토마토는 낮은 온도에서 저장되는 토마토보다 중량감소율이 더 크다는 결과를 냈다. 또한 Aday와 Caner³⁰⁾는 5와 10 ppm의 이산화염소 가스를 딸기에 처리하는 실험에서, 이산화염소 가스 처리를 하지 않았을 경우에 10일 동안 수확한 저장 중 딸기의 중량감소율이 0.33%로 값을 나타내며 이산화염소 가스 처리가 이산화염소 가스 무처리군과 비교하였을 때 딸기의 중량감소율에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 따라서 이산화염소 가스 처리에 따른 방울토마토의 중량감소율에 영향을 미치지 않는 본 실험의 내용과 유사한 결과를 보여주었다.

4. 경도

이산화염소 가스 처리에 따른 방울토마토의 경도 변화 관찰에서 저장기간 중 상온저장과 저온저장 방울토마토 모두 경도의 감소를 보여주었다(Table 2). 저온저장 7일째에 무처리군의 방울토마토 경도 값은 7.03 N로 나타났으나, 반면 이산화염소 가스의 저농도 지속적인 처리군은 7.90 N의 경도 값을 보여주었다($p < 0.05$). 그러나 이산화염소 가스의 고농도 단시간 전처리군(I, II)의 방울토마토도 경도가 감소하였지만, 무처리군과는 유의적으로 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 그리고 상온저장 7일째에 무처리군 토마토의 경도는 2.87 N로 다른 처리 조건에 비교하여 가장 작은 값을 나타냈으며, 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리군 방울토마토의 경도는 7.73 N로 가장 높은 값을 나타냈다($p < 0.05$). 저장기간이 길어질수록 방울토마토의 후숙으로 인해 경도는 떨어지게 되는데, 상온저장에서 이산화염소 가스의 처리가 방울토마토의 후숙을 지연시켜 경도를 유지하는 효과를 보였다. 또한 이산화염소 가스의 처리 중 저농도 지속적인 처리가 경도를 유지시키는데 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 반면 저온저장에서는 무처리군, 이산화염소 가스의 전처리(I, II)군의 방울토마토의 경도보다 저농도 지

속적인 이산화염소 가스 처리를 한 방울토마토의 경도가 높은 것으로 보아, 방울토마토의 후숙을 지연에 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리가 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 이산화염소 가스 처리군과 무처리군에 대한 경도 변화 값에 비교하여 본 실험결과에서 호흡률 및 중량감소 변화에서는 큰 차이의 결과를 보이지 않은 것은 미생물 및 세포벽 분해 효소 활성, 온도 등과 같은 여러 요인들이 이산화염소 가스 처리가 직접적으로 영향을 끼칠 수 있는 것으로 판단된다. Silveira 등³¹⁾은 3 mg/L의 이산화염소 가스를 멜론에 처리하였을 때 이산화염소 가스가 멜론 껍질의 연화를 지연시키는 효과를 보였다. 방울토마토 경도의 감소는 방울토마토의 수축으로 인하여 외관에 영향을 끼치므로 소비자들이 방울토마토 구매를 결정하는 중요한 요소 중 하나이기도 하다³²⁾.

5. 당성분

이산화염소 가스 처리에 따른 방울토마토의 당성분의 변화를 측정하여 °Brix로 나타낸 결과는 Table 2와 같다. 저온저장 방울토마토의 당성분 함량은 처리군에 따라 유의적 차이를 보이지 않았으며($p > 0.05$), 각 처리군마다 저장기간이 길어질수록 당성분 함량이 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 상온저장 방울토마토의 당성분 함량은 5일차까지 유의적인 차이를 보이지 않았으나 7일차에 처리군에 따라 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 상온저장 7일째에는 무처리군 방울토마토의 당성분 함량이 3.93 °Brix로 가장 작은 값을 나타냈으며, 고농도 단시간 전처리군 I와 II 그리고 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리 방법에 따른 토마토에 대한 당성분 함량은 유의적인 차이를 나타내지 않았다($p > 0.05$). 저온저장에서 토마토에 이산화염소 가스를 처리하였을 때 당성분 함량을 유지하는 효과를 보지 못하였지만, 상온저장에서는 이산화염소 가스처리가 방울토마토의 당성분 함량을 유지하는데 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 이산화염소

Table 2. Firmness, Soluble solid content, and pH values of stored tomatoes according to different ClO₂ treatments

Treatment (5°C)	Storage period (day)	Firmness (N)	Soluble solid content (°Brix)	pH value
Control	0	9.01±0.43 ^{1)A2)a3)}	5.03±0.15 ^{Aa}	4.13±0.06 ^{Aa}
	1	8.73±0.49 ^{Aa}	4.83±0.15 ^{Aab}	4.20±0.10 ^{Aa}
	3	7.80±0.10 ^{Ab}	4.83±0.15 ^{Aab}	4.23±0.06 ^{Aa}
	5	7.33±0.06 ^{Abc}	4.63±0.06 ^{Ab}	4.36±0.06 ^{Ab}
	7	7.03±0.15 ^{Ac}	4.63±0.06 ^{Ab}	4.50±0.04 ^{Ac}
Pre-treatment I (5 ppm, 10 min)	0	9.04±0.12 ^{Aa}	4.97±0.25 ^{Aa}	4.30±0.10 ^{Ba}
	1	8.97±0.64 ^{Aa}	5.00±0.20 ^{Aa}	4.40±0.10 ^{Bab}
	3	8.33±0.12 ^{BCab}	4.87±0.23 ^{Aa}	4.43±0.12 ^{Aab}
	5	7.73±0.25 ^{Bbc}	4.73±0.12 ^{Aa}	4.57±0.12 ^{Bb}
	7	7.30±0.26 ^{Ac}	4.73±0.12 ^{Aa}	4.60±0.10 ^{Ab}
Pre-treatment II (10 ppm, 3 min)	0	8.98±0.15 ^{Aa}	5.00±0.20 ^{Aa}	4.17±0.06 ^{ABa}
	1	8.93±0.59 ^{Aa}	4.90±0.17 ^{Aab}	4.33±0.12 ^{ABab}
	3	8.13±0.15 ^{Bb}	4.80±0.10 ^{Aab}	4.43±0.15 ^{Ab}
	5	7.50±0.10 ^{Bbc}	4.77±0.06 ^{Aab}	4.40±0.10 ^{ABb}
	7	7.20±0.10 ^{Ac}	4.67±0.06 ^{Ab}	4.57±0.15 ^{Ab}
Continuous treatment	0	9.00±0.61 ^{Aa}	5.00±0.10 ^{Aa}	4.20±0.10 ^{ABa}
	1	8.97±0.55 ^{Aa}	4.90±0.17 ^{Aab}	4.40±0.06 ^{Bb}
	3	8.57±0.21 ^{Cab}	4.80±0.12 ^{Ab}	4.40±0.10 ^{Ab}
	5	8.20±0.20 ^{Cb}	4.77±0.06 ^{Ab}	4.43±0.06 ^{ABb}
	7	7.90±0.10 ^{Bb}	4.70±0.10 ^{Ab}	4.50±0.10 ^{Ab}
Treatment (23°C)	Storage period (day)	Firmness (N)	Soluble solid content (°Brix)	pH value
Control	0	8.78±0.12 ^{Aa}	5.06±0.12 ^{Aa}	4.17±0.06 ^{Aa}
	1	7.60±0.10 ^{Ab}	4.87±0.12 ^{Aab}	4.23±0.06 ^{Aab}
	3	7.20±0.10 ^{Ab}	4.87±0.11 ^{Aab}	4.27±0.10 ^{Ab}
	5	4.87±0.12 ^{Ac}	4.67±0.12 ^{Ab}	4.40±0.17 ^{Ac}
	7	2.87±0.42 ^{Ad}	3.93±0.31 ^{Ac}	4.53±0.06 ^{Ad}
Pre-treatment I (5 ppm, 10 min)	0	8.83±0.40 ^{Aa}	5.01±0.12 ^{Aa}	4.27±0.12 ^{Aa}
	1	8.33±0.12 ^{Aa}	5.01±0.11 ^{Ba}	4.37±0.15 ^{ABab}
	3	7.20±0.40 ^{Ab}	4.93±0.12 ^{Aab}	4.40±0.10 ^{Aab}
	5	6.53±0.23 ^{Bbc}	4.80±0.10 ^{Ab}	4.53±0.06 ^{Bb}
	7	5.93±0.81 ^{Cc}	4.60±0.10 ^{Bc}	4.57±0.12 ^{Ab}
Pre-treatment II (10 ppm, 3 min)	0	8.86±0.21 ^{Aa}	5.13±0.12 ^{Aa}	4.20±0.10 ^{Aa}
	1	7.70±1.05 ^{Aab}	5.00±0.10 ^{ABab}	4.37±0.06 ^{ABb}
	3	6.80±1.06 ^{Abc}	4.87±0.12 ^{Abc}	4.47±0.15 ^{Ab}
	5	5.87±0.61 ^{ABcd}	4.73±0.12 ^{Ac}	4.43±0.06 ^{Ab}
	7	4.60±0.26 ^{Bd}	4.33±0.12 ^{Bd}	4.50±0.10 ^{Ab}
Continuous treatment	0	8.80±0.17 ^{Aa}	5.07±0.12 ^{Aa}	4.17±0.12 ^{Aa}
	1	8.63±0.29 ^{Aab}	5.00±0.11 ^{ABab}	4.43±0.06 ^{Bb}
	3	8.40±0.40 ^{Bab}	4.87±0.12 ^{Abc}	4.43±0.12 ^{Ab}
	5	8.10±0.26 ^{Cbc}	4.80±0.21 ^{Ac}	4.43±0.06 ^{Ab}
	7	7.73±0.25 ^{Dc}	4.53±0.12 ^{Bd}	4.47±0.06 ^{Ab}

¹⁾Average±standard deviation of triplicate determinations.

²⁾Values with different capital letters(A~D) among tomato of same storage day of different treatments are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

³⁾Values with different small letters(a~d) among tomato of same treatments during storage days are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

처리방법에 따른 당성분 함량은 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. Chang 등³³⁾은 포도에 20과 40 ppm 농도의 이산화염소 가스를 처리한 뒤 포도의 당성분의 함량을 측정하였다. 실험결과로서 이산화염소 가스 무처리군의 포도가 가장 빨리 후숙되고, 이산화염소 가스 처리를 한 포도는 후숙 지연의 효과를 보였다.

6. pH

방울토마토에 각각 다른 조건의 이산화염소 가스 처리를 한 뒤, 저온과 상온 저장 중 방울토마토의 pH 값의 변화를 측정된 결과는 Table 2와 같다. 저온저장 조건에서 방울토마토 pH값은 이산화염소 가스 처리에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으며($p>0.05$), 저장기간이 길어질수록 각 처리군 방울토마토의 pH값이 모두 유의적으로 증가하는($p<0.05$) 결과가 나왔다. 상온저장에서도 같은 결과가 나왔는데, 무처리군 토마토의 초기 4.17의 pH값에서 4.53으로 유의적으로 증가($p<0.05$)하였지만 이는 다른 처리군과는 유의적 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 결과적으로 이산화염소 가스를 방울토마토에 처리했을 경우 방울토마토의 pH값에는 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 이와 유사한 연구 결과로 Du 등¹⁸⁾은 피망에 0, 5, 10, 20, 50 mg/L의 각기 다른 농도로 이산화염소 가스처리를 하였지만 피망의 pH값은 저장 기간 동안 변화를 보이지 않았다고 보고하였다.

7. 색도

이산화염소 가스 처리에 따른 저장 중 방울토마토 L, a, b값의 변화를 측정하여 저장 기간 중 과숙에 따른 색 변화 및 이산화염소가 방울토마토의 색도에 어떤 영향을 미치는지 관찰하였다(Table 3). 과채류는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스와 리그닌과 같은 다양한 올리고당의 산화로 인하여 이산화염소에 의한 표백을 발생할 수 있기 때문에, 이산화염소 가스 처리가 제품의 갈변반응 및 표백으로 인하여 관능적 품질을 떨어뜨린다고 보고하고 있다³⁴⁾. 저온과 상온의 조건에서 이산화염소 처리에 따른 색도변화를 확인한 결과 처리한 이산화염소 가스가 저온과 상온저장 방울토마토의 색도에 크게 영향을 미치지 못하는 못하였다. L값은 저장 5일째를 제외하고 저온과 상온저장 방울토마토의 이산화염소 가스 처리에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 그리고 저온과 상온저장에서의 방울토마토는 이산화염소 처리 방법이나 저장기간에 따른 적색도(a)값은 유의적으로 차이가 없었다. 반면 이산화염소의 전처리군 II와 이산화염소 가스의 지속적인 처리군 방울토마토의 황색도(b)값은 저장기간이 길어질수록 유의적으로 감소하는 경향이 있었다($p<0.05$). 이산화염소 가스의 처리는 방울토마토의 색도에 큰 영향을 끼치지 않으며, 방울토마토의 탈색현상도 보이지 않았다. Mahmoud 등³⁵⁾은 딸기에 0.5, 1, 1.5, 3, 5 mg/L의

각각 다른 농도로 이산화염소 가스를 처리하였을 때 색도에는 영향을 미치지 않으며 유통기한을 연장시켰다고 보고하였다.

8. 총균수

토마토의 저장기간이 길어짐에 따라 부패균의 성장이 늘어나면서 품질변화가 이루어지게 되는데, 토마토의 부패에 따라 총균수 또한 증가하게 된다. 따라서 저온과 상온의 조건에서 이산화염소 처리에 따른 토마토의 총균수에 미치는 영향을 확인하였다(Fig. 4). 저온과 상온저장 토마토의 총균수는 무처리군의 총균수가 다른 이산화염소 처리군들보다 상당히 높음을 보여주었다($p<0.05$). 그리고 저온저장 1일째 저농도 지속적인 이산화염소 가스로 처리한 토마토의 총균수는 2.653 Log CFU/mL를 나타냈으며, 고농도 단시간 이산화염소 전처리 I과 II로 적용한 토마토의 총균수는 각각 1.684 Log CFU/mL와 2.173 Log CFU/mL로 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리에서의 높은 총균수 값을 보여주었지만 저온저장 7일째 고농도 단시간 이산화염소 가스로 전처리 I 및 II로 처리한 토마토에서의 총균수는 각각 3.718 Log CFU/mL와 3.790 Log CFU/mL로 저농도 지속적으로 처리한 토마토의 총균수는 3.640 Log CFU/mL로 유의적으로 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 반면 상온저장 1일째 이산화염소 가스의 저농도 지속적인 처리군의 총균수는 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리군의 총균수보다 높았지만, 7일째에는 각각 6.544, 6.420 Log CFU/mL의 총균수를 나타내는 이산화염소 가스 전처리군 I, II의 방울토마토에 비해 저농도 지속적인 처리군의 토마토는 5.352 Log CFU/mL로 상대적으로 낮은 총균수를 보였다($p<0.05$). 저온저장과 달리 상온저장에서는 토마토의 후숙이 더 빨리 일어나기 때문에 이러한 차이를 보였다고 판단된다. 결과적으로 이산화염소 가스의 처리는 토마토의 총균수의 성장을 억제하는 효과를 보였으며, 상온 저장 시에는 고농도 단시간 이산화염소 가스의 전처리보다는 이산화염소 가스의 저농도 지속적인 처리가 토마토의 총균수를 줄이는데 더 효과적인 것으로 판단된다. Lee 등³⁶⁾은 적색육에 30, 50, 100 ppm의 이산화염소 가스 처리하여 호기성균을 확인한 결과로써, 이산화염소 처리가 적색육의 위생적인 안전성 확보와 품질수명 연장을 통한 저장성을 증대할 수 있다고 보고하였다.

9. 부패율

저장 7일이 경과 후 이산화염소 가스 처리에 따른 방울토마토의 부패율은 Fig. 5와 같다. 저온저장에서 무처리군 방울토마토의 부패율과 이산화염소 가스 전처리 I과 II로 처리한 토마토의 부패율은 각각 21.67와 18.33%로 나타났으며, 저농도로 지속적으로 처리한 토마토의 부패율은 1.67%로 보여주었다. 상온저장에서 무처리군, 이산화염소 가스 전

Table 3. Hunter color values of stored tomatoes according to different ClO₂ treatments

Treatment (5°C)	Storage period (day)	L ¹⁾	a ²⁾	b ³⁾
Control	0	26.40±0.10 ^{4)A5)a6)}	19.63±0.85 ^{Aa}	22.20±0.10 ^{Aa}
	1	26.27±0.06 ^{Aa}	19.93±1.89 ^{Aa}	22.00±0.62 ^{Aa}
	3	26.27±0.47 ^{Aa}	20.03±0.81 ^{Aa}	21.73±0.15 ^{Aa}
	5	26.13±0.38 ^{Aa}	19.13±0.93 ^{Aa}	20.10±1.39 ^{Aa}
	7	26.00±0.62 ^{Aa}	20.30±0.30 ^{Aa}	21.53±0.40 ^{Aa}
Pre-treatment I (5 ppm, 10 min)	0	26.50±0.72 ^{Aa}	18.13±2.27 ^{Aa}	22.93±1.33 ^{Aa}
	1	26.40±0.70 ^{Aa}	18.73±1.63 ^{Aa}	22.43±1.29 ^{Aa}
	3	26.13±0.47 ^{Aa}	18.87±1.70 ^{Aa}	22.10±1.65 ^{Aa}
	5	26.63±0.21 ^{ABa}	19.23±0.55 ^{Aa}	21.40±0.82 ^{Aa}
	7	26.10±0.56 ^{Aa}	19.50±0.95 ^{Aa}	21.40±0.61 ^{Aa}
Pre-treatment II (10 ppm, 3 min)	0	26.67±0.59 ^{Aa}	19.53±0.55 ^{Aa}	22.57±0.95 ^{Aa}
	1	26.63±0.81 ^{Aa}	20.20±2.10 ^{Aa}	22.27±0.95 ^{Aab}
	3	26.50±0.72 ^{Aa}	20.23±1.39 ^{Aa}	21.93±0.12 ^{Aabc}
	5	27.03±0.15 ^{Ba}	20.33±0.74 ^{Aa}	21.03±0.40 ^{Ac}
	7	26.47±0.55 ^{Aa}	20.97±1.85 ^{Aa}	21.17±0.15 ^{Abc}
Continuous treatment	0	26.50±0.61 ^{Aa}	20.17±0.42 ^{Aa}	22.27±0.35 ^{Aa}
	1	26.67±0.91 ^{Aa}	19.93±0.61 ^{Aa}	21.13±0.50 ^{Ab}
	3	26.50±0.62 ^{Aa}	20.30±0.95 ^{Aa}	21.57±0.06 ^{Aab}
	5	26.63±0.76 ^{ABa}	19.20±1.49 ^{Aa}	20.77±0.91 ^{Ab}
	7	25.87±0.86 ^{Aa}	20.87±1.05 ^{Aa}	21.33±0.50 ^{Ab}
Treatment (23°C)	Storage period (day)	L	a	b
Control	0	26.30±0.26 ^{Aa}	19.47±1.11 ^{Aa}	22.03±0.31 ^{Aa}
	1	26.10±0.26 ^{Aa}	19.77±1.97 ^{Aa}	21.83±0.76 ^{Aa}
	3	26.10±0.20 ^{Aa}	19.87±0.90 ^{Aa}	21.57±0.42 ^{Aa}
	5	25.97±0.31 ^{Aa}	18.97±0.90 ^{Aa}	19.93±1.25 ^{Aa}
	7	25.83±0.47 ^{Aa}	20.13±0.57 ^{Aa}	21.43±0.29 ^{Aa}
Pre-treatment I (5 ppm, 10 min)	0	26.33±0.84 ^{Aa}	19.80±5.13 ^{Aa}	22.77±1.42 ^{Aa}
	1	26.23±0.85 ^{Aa}	20.40±4.51 ^{Aa}	22.27±1.41 ^{Aa}
	3	25.97±0.35 ^{Aa}	20.53±4.57 ^{Aa}	21.93±1.83 ^{Aa}
	5	26.47±0.49 ^{ABa}	20.90±3.16 ^{Aa}	21.23±1.05 ^{Aa}
	7	25.93±0.83 ^{Aa}	21.17±3.12 ^{Aa}	21.23±0.32 ^{Aa}
Pre-treatment II (10 ppm, 3 min)	0	26.50±0.46 ^{Aa}	19.70±0.61 ^{Aa}	22.73±1.07 ^{Aa}
	1	26.47±0.71 ^{Aa}	20.37±2.22 ^{Aa}	22.43±1.07 ^{Aab}
	3	26.33±0.55 ^{Aa}	20.40±1.48 ^{Aa}	22.10±0.36 ^{Aab}
	5	26.87±0.35 ^{Ba}	20.50±0.87 ^{Aa}	21.20±0.36 ^{Ab}
	7	26.30±0.26 ^{Aa}	21.13±1.74 ^{Aa}	21.37±0.21 ^{Aab}
Continuous treatment	0	26.33±0.32 ^{Aa}	19.50±0.92 ^{Aa}	22.43±0.61 ^{Aa}
	1	26.50±0.62 ^{Aa}	19.27±1.40 ^{Aa}	21.33±0.64 ^{Ab}
	3	26.33±0.35 ^{Aa}	19.63±0.67 ^{Aa}	21.60±0.00 ^{Aab}
	5	26.47±0.58 ^{ABa}	18.53±0.40 ^{Aa}	20.90±0.78 ^{Ab}
	7	25.63±0.50 ^{Aa}	20.20±1.54 ^{Aa}	21.37±0.31 ^{Ab}

¹⁾L: (0)Black ~ (100)White. ²⁾a: (-)Green ~ (+)Red. ³⁾b: (-)Blue ~ (+)Yellow. ⁴⁾Average±standard deviation of triplicate determinations.

⁵⁾Values with different capital letters(A~D) among tomato of same storage day of different treatments are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

⁶⁾Values with different small letters(a~d) among tomato of same treatments during storage days are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

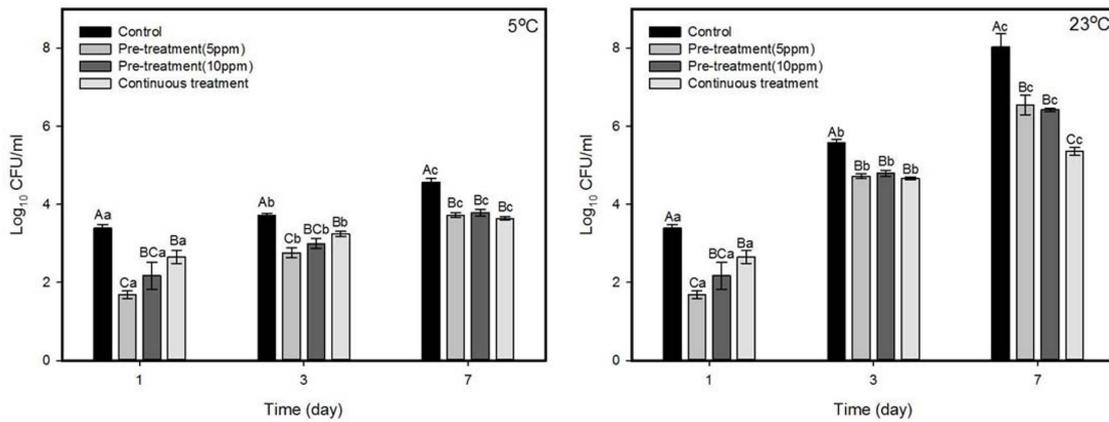


Fig. 4. Changes in total microbial growth on stored tomatoes according to different ClO₂ treatments. A-C: Values with different capital letters(A~C) among tomato of same storage day of different treatments are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test. a-c: Values with different small letters(a~c) among tomato of same treatments during storage days are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test.

처리 II, 저농도 지속적 처리로 적용한 토마토의 부패율은 저장 7일째 각각 55.01, 51.67, 11.67%를 보여주었다. 무처리군과 비교하여 이산화염소 가스 전처리 II군이 선행 연구로 총균수 감소에 효과가 있음에도 불구하고 부패율 결과의 차이를 보이지 않은 것은 부패율에 직접적으로 영향을 끼치는 무름, 쭈뼌 및 곰팡이 발생 등이 외관적 결점이 높은 것으로 관찰되었다. 반면 이산화염소 가스 전처리 I은 토마토의 부패율을 낮추는데 효과가 있었다. 이는 고농도·단시간 이산화염소 가스 처리를 할 때 10 ppm에서 3 min 처리보다는 5 ppm에서 10 min 처리가 상대적으로 토마토의 부패를 억제하는데 효과적인 것을 나타낸다. 고농도 단시간 이산화염소 가스 전처리 결과 값이 저농도 지속적인 처리군보다 높은 부패율을 보여준다. Karabulut 등³⁷⁾은 무화과

에 저농도(0.3과 1 mg/L)의 이산화염소를 60분 동안 장시간 처리를 하였을 때 무화과의 부패율이 감소를 보여주었다. 이러한 결과는 방울토마토의 부패율을 줄이는데 저농도·장시간의 이산화염소 가스 처리가 고농도·단시간의 이산화염소 가스처리보다 더 효과적인 본 연구 실험 내용과 유사하다. 또한 상온저장에서 이산화염소 가스 전처리 I의 토마토 부패율보다는 이산화염소 가스를 지속적으로 처리한 토마토가 낮은 부패율을 나타냈다($p < 0.05$).

요 약

5와 23°C의 저장 조건에서 이산화염소 가스 처리 방법에 따른 방울토마토의 품질 변화를 용기 내 기체조성, 중량감소율, 경도, 당성분, pH, 색도, 총균수로 평가하였다. 이산화염소 가스 처리방법은 고농도 단시간 전처리 I(5 ppm, 10분) 및 전처리 II(10 ppm, 3분)과 저농도 지속적인 처리(1 ppm, 매일 1번 처리)를 하여 이산화염소 가스 무처리군과 비교 실험하였다. 방울토마토에 이산화염소 가스 처리를 하였을 경우 방울토마토의 호흡률, 총균수, 부패율을 낮춰주고 경도와 당성분 함량을 유지시키는 효과가 있었지만 이산화염소 가스의 처리는 방울토마토의 pH와 색도에 영향을 미치지 않았다. 또한 이산화염소 가스 처리 방법에서도 이산화염소 가스 고농도 단시간 전처리 방법들(I, II)보다 저농도 이산화염소 가스의 지속적인 처리가 방울토마토의 호흡률, 총균수, 부패율, 경도, 당성분 함량 관찰에서 품질 유지에 더욱 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 ‘유니콘’ 방울토마토는 저농도 지속적인 이산화염소 가스 처리가 전체적으로 유통기한 연장에 큰 효과를 보였으며, 이러한 결과를 토대로 유통기간 중 저농도의 이산화염소 가스를 지속적으로 방

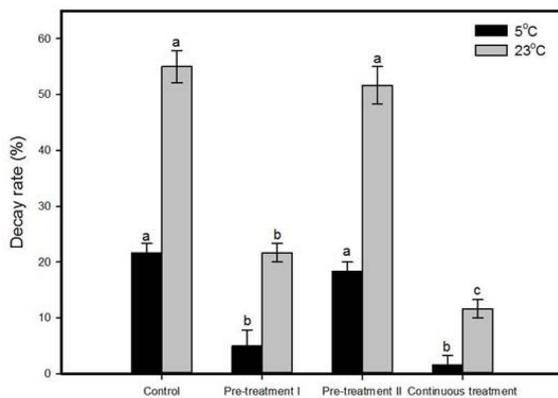


Fig. 5. Decay rate of tomatoes according to different ClO₂ treatments on day 7. a-c: Values with different small letters(a~c) among tomato of same storage day of different treatments are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test.

출하는 포장 시스템을 고려하여 적용할 경우 수출용 토마토의 선도유지에 충분히 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Lee, C.Y., Lee, W.G., Song, J.E., Kim, K.Y., Shim, W.B., Yoon, Y.H., Kim, Y.S. and Chung, D.H. 2012. Hazard analysis for the cultivation stage of strawberry farms for securing preliminary data to establish the good agricultural practices. *J. Agric. Life Sci.* 46(3): 97-108.
- Moon, K.D., Lee, C.H., Kim, J.K. and Sohn, T.H. 1992. Storage of tomatoes by polyethylene film packaging and CO₂ treatment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 24(6): 603-609.
- Park, S.W., Kwon, Y.D., Park, Y.M., Hong, H.J., Lee, M.R. and Hong, S.J. 2005. Effects of maturity and packaging on the fruit Quality of 'York' tomato during simulated shipment and shelf life. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(1): 19-25.
- Park, W.P., Cho, S.H. and Kim, C.H. 2004. Quality characteristics of cherry tomatoes packaged with paper bag incorporated with antimicrobial agents. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33(8): 1381-1384.
- Lee, Y.S., Lee, Y.E., Lee, J.S. and Kim, Y.S. 2011. Effect of antimicrobial microperforated film packaging on extending shelf life of cluster-type tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29(5): 447-455.
- Park, K.W., Kang, H.M., Kim, D.M. and Park, H.W. 1999. Effects of the packaging films and storage temperatures on modified atmosphere storage of ripe tomato. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 40(6): 643-646.
- Lee, S.H., Lee, M.S., Lee, Y.W., Yeom, H.J., Sun, N.K. and Song, K.B. 2004. Effect of packaging material and storage temperature on the quality of tomato and plum fruits. *Korean J. Food Preserv.* 11(2): 135-141.
- Diaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillen, F., Valverde, J.M., Valero, D. and Serrano, M. 2011. Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 2. Effect on bioactive compounds and antioxidant activity. *Postharvest Biol. Technol.* 61(2): 110-116.
- Zambre, S.S., Venkatesh, K.V. and Shah, N.G. 2010. Tomato redness for assessing ozone treatment to extend the shelf life. *J. Food Eng.* 96(3): 463-468.
- Kim, J.M. 2001. Use of chlorine dioxide as a biocide in the food industry. *Food Industry and Nutrition.* 6(2): 33-39.
- Lee, S.H., Shin, H.Y., Ku, K.J., Jin, Y.Y., Jeon, S.J., Chae, H.S. and Song, K.B. 2007. Quality change of red meat by chlorine dioxide treatment during storage. *Korea J. Food Sci. Technol.* 39(2): 222-227.
- Shin, H.Y., Lee, Y.J., Park, I.Y., Kim, J.Y., Oh, S.J. and Song, K.B. 2007. Effect of chlorine dioxide treatment on microbial growth and qualities of fish paste during storage. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 50(1): 42-47.
- Gu, K.J., MA, Y.H., Shin, H.Y., Lee, S.H., Park, J.Y., Kim, L.H. and Son, K.B. 2006. Effects of chlorine dioxide treatment on quality and microbial change of agaricus bisporus during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35(7): 955-959.
- Kim, S.K., Ma, Y.H., Gu, K.J., Lee, Y.J., Kim, E.J. and Song, K.B. 2005. Effect of chlorine dioxide treatment on microbial safety and quality of saury during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 34(8): 1258-1264.
- Du, J.H., Han, Y. and Linton, R.H. 2002. Inactivation by chlorine dioxide gas (ClO₂) of *Listeria monocytogenes* spotted onto different apple surfaces. *Food Microbiol.* 19(5): 481-490.
- Sy, K.V., Mcwatters, K.H. and Beuchat, L.R. 2005. Efficacy of gaseous chlorine dioxide as a sanitizer for killing *salmonella*, yeasts, and molds on blueberries, strawberries, and raspberries. *J. Food Prot.* 68(6): 1165-1175.
- Sy, K.V., Murray, M.B., Harrison, M.D. and Beuchat, L.R. 2005. Evaluation of gaseous chlorine dioxide as a sanitizer for killing *salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and yeasts and molds on fresh and fresh-cut produce. *J. Food Prot.* 68(6): 1176-1187.
- Du, J.H., Fu, M.R., Li, M.M. and Xia, W. 2007. Effects of chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Capsicum frutescens* L. var. Longrum). *Agric. Sci. China.* 6(2): 214-219.
- Valentina, T., Nirupama, V., Richard, L. and Mark, M. 2010. Evaluation of chlorine dioxide gas residues on selected food produce. *J. Food Sci.* 76(1): 11-15.
- Wu, V.C. and Kim, B.C. 2007. Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries. *Food Microbiol.* 24(7): 794-800.
- Trinetta, V., Morgan, M.T. and Linton, R.H. 2010. Use of high-concentration-short-time chlorine dioxide gas treatments for the inactivation of *Salmonella enterica* spp. inoculated onto Roma tomatoes. *Food Microbiol.* 27(8): 1009-1015.
- Tangwongchai, R., Ledward, D.A. and Ames, J.M. 2000. Effect of high-pressure treatment on the texture of cherry tomato. *J. Agric. Food Chem.* 48(5): 1434-1441.
- Gómez-López, V.M., Rajkovic, A., Ragaert, P., Smigic, N. and Devlieghere, F. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 20(1): 17-26.
- Goyette, B., Vigneault, C., Raghavan, V. and Charles, M.T. 2012. Hyperbaric treatment on respiration rate and respiratory quotient of tomato. *Food Bioprocess Technol.* 5(8): 3066-3074.
- Wu, B., Li, X., Hu, H., Kiu, A. and Chen, W. 2011. Effect of chlorine dioxide on the control of postharvest diseases and quality of litchi fruit. *Afr. J. Biotechnol.* 10(32): 6030-6039.
- Gomez-Lopez, V.M., Ragaert, P., Jeyachandran, V., Debevere, Johan. and Devlieghere, F. 2008. Shelf-life of minimally processed lettuce and cabbage treated with gaseous chlorine dioxide and cysteine. *Int. J. Food Microbiol.* 121(1): 74-83.
- Park, W.P., Cho, S.H. and Kim, C.H. 2004. Quality characteristics of cheery tomatoes packaged with paper bag incorporated with antimicrobial agents. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33(8): 1381-1384.

28. Choi, D.J., Lee, Y.J., Kim, Y.K., Kim, M.H., Choi, S.R., Park, I.S., Cha, H.S. and Youn, A.R. 2012. Quality changes of minimally processed sliced deodeok (*Cndonopsis lanceolata*) during storage by packaging method. Korean J. Food Preserv. 19(5): 626-632.
29. Javanmardi, J. and Kubota, C. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biol. Technol. 41(2): 151-155.
30. Aday, M.S. and Caner, C. 2011. The applications of 'active packaging and chlorine dioxide' for extended shelf life of fresh strawberries. Packaging Technol. Sci. 24(3): 123-136.
31. Silveira, A.C., Conesa, A., Aguayo, E. and Artes, F. 2008. Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut "Galia" (*Cucumis melo var. cantalupensis*) melon. J. Food Sci. Nutr. 73(9): M405-M411
32. Saha, S., Heddau, N.K., Mahajan, V., Singh, G., Gupta, H.S. and Gahalain, A. 2010. Textural, nutritional and functional attributes in tomato genotypes for breeding better quality varieties. J. Sci. Food Agric. 90(2): 239-244.
33. Chang, E.H. Chung, D.S. and Choi, J.U. 2007. Effects of chlorine dioxide (ClO₂) gas treatment on postharvest quality of grapes. Korean J. Food Preserv. 14(1): 1-7.
34. Han, J.E. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation. Bulletin of Food Technology. 22(3): 445-461.
35. Mahmoud, B.S., Bhagat, A.R. and Linton, R.H. 2007. Inactivation kinetics of inoculated *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* on strawberries by chlorine dioxide gas. Food Microbiol. 24(7-8): 736-744.
36. Lee, S.H., Shin, H.Y., Ku, K.J., Jin, Y.Y., Jeon, S.J., Chae, H.S. and Song, B.K. 2007. Quality change of red meat by chlorine dioxide treatment during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 39(2): 222-227.
37. Karabulut, O.A., Ilhan, K., Arslan, U. and Vardar, C. 2009. Evaluation of the use of chlorinedioxide by fogging for decreasing postharvest decay of fig. Postharvest Biol. Technol. 52(3): 313-315.