

## 이산화염소 가스 훈증, 중온 열수 및 푸마르산 병합처리가 감귤의 미생물학적 안전성 및 저장 중 품질에 미치는 영향

- 연구노트 -

김현규<sup>1</sup> · 민세철<sup>2</sup> · 오덕환<sup>3</sup> · 구자준<sup>4</sup> · 송경빈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 식품공학과, <sup>2</sup>서울여자대학교 식품공학과  
<sup>3</sup>강원대학교 식품생명공학부, <sup>4</sup>(주)에코바이오텍

### Combined Treatment of Chlorine Dioxide Gas, Mild Heat, and Fumaric Acid on Inactivation of *Listeria monocytogenes* and Quality of *Citrus unshiu* Marc. during Storage

Hyun Gyu Kim<sup>1</sup>, Sea Cheol Min<sup>2</sup>, Deog Hwan Oh<sup>3</sup>, Ja Jun Koo<sup>4</sup>, and Kyung Bin Song<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

<sup>3</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University

<sup>4</sup>Eco Biotech

**ABSTRACT** Combined treatment of chlorine dioxide (ClO<sub>2</sub>) gas, mild heat, and fumaric acid was performed to reduce microbial growth and maintain quality of *Citrus unshiu* during storage at 4°C. *Citrus unshiu* fruits were treated with ClO<sub>2</sub> gas (15 or 30 ppmv), mild heat (40, 50, or 60°C), and fumaric acid (0.1, 0.3, or 0.5%). Combined treatment of 15 or 30 ppmv ClO<sub>2</sub> gas, 50°C mild heat, and 0.5% fumaric acid reduced populations of inoculated *Listeria monocytogenes* by 3.5~3.7 log CFU/g. In addition, combined treatment decreased populations of yeast and molds in *Citrus unshiu* by 2.54 log CFU/g after 30-day storage at 4°C. Combined treatment also reduced the decay rate by 48% after 30 days of storage compared with the control. Total solid content, titratable acidity, and color values were not significantly affected by the combined treatment. Therefore, combined treatment of ClO<sub>2</sub> gas, mild heat, and fumaric acid can be a useful hurdle technology to improve microbial safety and quality of *Citrus unshiu* during storage.

**Key words:** *Citrus unshiu*, chlorine dioxide gas, *Listeria monocytogenes*, decay rate, storage

## 서 론

감귤은 비타민 C 등이 풍부하고 citric acid와 같은 유기산 및 naringin, hesperidin과 같은 다양한 flavonoids를 함유한 과일이다(1). 국내 감귤 생산량은 2014년도 기준 약 676천 톤으로 매년 증가하고 있으며 우리나라의 대표적인 과일 중 하나로 많이 소비되고 있다(2,3). 감귤은 온주밀감과 더불어 금귤, 탕자 등을 총칭하는데 1960년대 온주밀감이 많이 생산되기 시작하면서 온주밀감이 현재 감귤 소비의 약 80% 이상을 차지하게 되었다(3,4).

온주밀감은 저장, 유통 중 부패가 쉽게 일어나 저장성이 매우 낮은 과일로 알려져 있으며 이러한 부패 현상은 *Penicillium digitatum*에 의한 녹색곰팡이병과 *Penicillium italicum*에 의한 푸른곰팡이병에 의해 주로 발생한다(5). 또한,

감귤 등의 농산물은 토양에서 쉽게 발견되는 *Listeria monocytogenes*에 의한 교차오염에도 항상 노출되어 있는데(6) 미국 Centers for Disease Control and Prevention(CDC) 자료에 의하면 농산물에 오염된 *L. monocytogenes*에 의한 Listeriosis는 매년 발생하고 있다(7). 따라서 이러한 문제를 해결하고자 imazalil과 o-phenylphenol 등 화학 살진균제(8,9), potassium sorbate 등 방부제(10), *Bacillus* spp. 등 미생물 농약(11), 열수처리(12) 등의 방법이 연구되었지만 감귤의 부패 방지를 위한 연구는 아직도 미흡한 실정이다.

이산화염소는 농산물 등의 세척에 사용되는 염소의 대체제로 많이 사용되는데(13,14) 이산화염소 가스가 이산화염소수보다 투과력이 높아 농산물 표면 깊이 자리 잡고 있는 미생물에 대해 더 높은 살균력을 가진다(15). 그리고 푸마르산은 유기산 중에서 가장 살균력이 좋으며 병합처리 시 시너지 효과가 높은 물질로 알려져 있다(16). 또한, 열수처리는 부패 억제에 효과적인 처리방법 중 하나로 알려져 있는데, 그중 중온 열수 세척처리(mild heat)는 미생물을 제어하면서도 품질 손상을 최소화할 수 있는 처리법으로 알려져 있다

Received 11 April 2016; Accepted 24 May 2016

Corresponding author: Kyung Bin Song, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

E-mail: kbsong@cnu.ac.kr, Phone: +82-42-821-6723

(17).

따라서 본 연구에서는 감귤의 부패 억제 및 미생물학적 안전성을 확보할 수 있는 방법을 개발하고자 수확한 감귤에 이산화염소 가스, 중온 열수세척 및 푸마르산을 각각 단일 및 병합 처리한 후 미생물 살균 효과를 확인하였으며, 4°C에서 감귤을 저장하면서 부패율 및 품질 변화를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

감귤은 제주도 서귀포시에서 재배하고 있는 온주밀감으로 노지에서 재배된 것을 크기가 균일하고 일정한 숙성도의 것으로 선별한 후 실험에 사용하였다.

### 미생물 균주

실험에 사용한 *Listeria monocytogenes* 균주는 ATCC (Seoul, Korea)에서 분양받은 19115번 균주와 KCTC 생물자원센터(Jeongeup, Korea)에서 분양받은 13064번 균주이며, 두 균주를 혼합 배양하여 실험에 사용하였다. -70°C에서 동결 보존 중인 두 균주를 멸균 백금이를 사용하여 brain heart infusion agar(BHIA, Difco Co., Detroit, MI, USA)에 streaking 한 다음 37°C에서 24시간 배양하였다. 그 후 단일 집락을 취하여 25 mL brain heart infusion(BHI, Difco Co.) 배지에 접종한 후 37°C에서 24시간 진탕 배양하고, 원심분리기를 사용하여 4°C, 1,500×g에서 20분간 원심 분리 하여 cell pellet을 얻은 후 25 mL 0.1% 펩톤수에 현탁하여 실험에 사용하였다.

### 미생물 접종

접종할 *L. monocytogenes*를 감귤 시료 표면에  $10^5 \sim 10^6$  CFU/g 농도가 되도록 25 mL 혼합 균주 현탁액에 75 mL 0.1% 펩톤수를 첨가하여 현탁액을 제조하였다. 감귤 시료를 현탁액에 5분간 침지한 후 클린벤치에서 30분 이상 건조함으로써 균주가 시료 표면에 충분히 부착되도록 하였다.

### 처리 조건

이산화염소 가스 처리를 위해 (주)푸르고팜(Hwasung, Korea)에서 제작한 이산화염소 가스 발생 및 처리장치(18)를 이용하여 20°C, 상대습도 80% 조건에서 15, 30 ppmv 농도로 각각 5, 10, 20분 처리하였다. 열수 세척처리는 40, 50, 60°C 열수처리 조건에서, 푸마르산은 0.1, 0.3, 0.5% 농도에서 각각 5분간 처리하였다. 시료와 세척액의 비율은 1:10(w/v)으로 설정하였다. 병합처리는 열수 세척 50°C, 푸마르산 0.5% 조건에서 5분간 처리한 시료를 이산화염소 가스 농도 15, 30 ppmv, 처리시간 20분 조건에서 훈증 처리하였다.

### 저장실험

저장실험은 이산화염소 병합처리 농도 15, 30 ppmv를 두 처리구로 하여 처리하지 않은 대조구와 함께 LDPE 포장 용기에 개별 포장한 후  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 30일 동안 저장하면서 미생물 수 및 품질 변화를 측정하였다.

### 미생물 수 측정

처리된 감귤 시료의 껍질 10 g과 0.1% 펩톤 수 90 mL를 stomacher bag에 넣고 3분 동안 균질하였다. 균질한 현탁액을 연속 희석한 후 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co.)에서 25°C에서 3일간 배양하였고, *L. monocytogenes*는 modified oxford agar(MOX, Difco Co.)에서 37°C 조건으로 2일간 배양한 후 집락 수를 계산하였다. 계산된 집락 수는 log colony forming units(CFU)/g으로 나타내었다.

### 당도 및 산도 측정

감귤의 당도 측정은 과즙을 당도계(PR-101a, Atago, Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 반복하여 측정된 후 °Brix로 나타내었다. 산도 측정은 시료를 분쇄하여 과즙이 되도록 한 후, 50 g을 칭량하여 0.1 N NaOH로 적정하여 pH 8.5가 되었을 때를 종말점으로 하고 citric acid 양으로 환산하여 산도(%)로 나타내었다.

$$\text{산도}(\%) = \frac{0.0064 \times V \times F}{S} \times 100$$

V: 0.1 N NaOH의 적정 소비량(mL)

F: 제조한 0.1 N NaOH의 역가

S: 시료량(g)

### 부패율 측정

감귤의 부패율 측정은 대조구를 포함한 각 처리구당 시료 40과를 LDPE 포장 용기에 각 처리구당 3반복씩 개별 포장하여  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 30일 동안 저장하면서 껍질 표면에 곰팡이의 생육이 관찰된 부패과를 선별하여 전체 시료 대비 부패과의 비율(%)로 나타내었다.

### 색도 측정

감귤 껍질의 색도 측정은 색차계(CR-400 Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 시료 표면을 처리구당 3반복씩, 각 반복당 4회씩 총 12회 측정하여 Hunter-b 값으로 나타내었다. 표준 백판의 b 값은  $b = 2.07$ 이었다.

### 통계 처리

실험 결과는 분산분석(analysis of variance) 하였으며 Duncan's multiple range test를 이용한 검정을 시행하였고, SAS 프로그램(Statistical Analysis System, ver 9.4,

**Table 1.** Effect of fumaric acid or mild heat on the inactivation of *Listeria monocytogenes* and inoculated on *Citrus unshiu* (unit: log CFU/g)

| Treatment         | <i>L. monocytogenes</i>  |
|-------------------|--------------------------|
| Control           | 6.43±0.17 <sup>A1)</sup> |
| Fumaric acid 0.1% | 5.30±0.15 <sup>C</sup>   |
| Fumaric acid 0.3% | 4.57±0.35 <sup>D</sup>   |
| Fumaric acid 0.5% | 4.31±0.17 <sup>E</sup>   |
| Mild heat 40°C    | 6.09±0.05 <sup>B</sup>   |
| Mild heat 50°C    | 5.38±0.07 <sup>C</sup>   |
| Mild heat 60°C    | 5.14±0.17 <sup>C</sup>   |

<sup>1)</sup>Means with the same letter in the same column are not significantly ( $P<0.05$ ) different.

SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 단일 및 병합 처리 효과

감귤 시료에 다양한 농도의 푸마르산과 열수 세척처리에 따른 미생물 감소 효과를 분석한 결과(Table 1) 푸마르산 농도 및 열수 세척처리 온도가 증가할수록 미생물 감소 효과도 유의적으로 증가하였다. 0.5% 푸마르산 처리 시 감귤 시료 표면에 인위적으로 접종된 *L. monocytogenes* 수에 있어서 2.12 log CFU/g의 감소 효과를 보인 반면에 60°C 열수 세척처리에서 *L. monocytogenes*를 1.29 log CFU/g 감소시켜 푸마르산 처리 효과가 더 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Kondo 등(19)이 상추에 0.5% 푸마르산을 처리했을 때 병원성 미생물을 2 log CFU/g 이상 감소시킨 반면에 50°C 열수 세척처리에서 1.7 log CFU/g 감소시켰다고 보고한 결과와 유사하였다. 그리고 이산화염소 가스 15, 30 ppmv 농도로 5에서 20분까지 훈증 처리를 한 결과(Table 2) 처리 농도와 시간이 증가할수록 *L. monocytogenes* 수가 유의적으로 감소하였는데 30 ppmv에서 20분 처리 시 *L. monocytogenes* 수가 2.19 log CFU/g 감소하였다. 이러한 결과는 방울토마토에 *L. monocytogenes* 접종 후 90% 상대습도에서 10 ppmv 농도로 20분 처리하였을 때 3.4 log CFU/g의 미생물 감소 효과를 보였다는 보고(20)와는 다소 차이를 보였는데, 이러한 차이는 이산화염소 가스 훈증 처리

**Table 2.** Effect of chlorine dioxide gas treatment on the inactivation of *L. monocytogenes* inoculated on *Citrus unshiu* (unit: log CFU/g)

| Treatment                    | <i>L. monocytogenes</i>  |                         |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Control                      | 6.39±0.08 <sup>A1)</sup> |                         |
| Chlorine dioxide gas 15 ppmv | 5 min                    | 5.49±0.44 <sup>B</sup>  |
|                              | 10 min                   | 5.12±0.66 <sup>BC</sup> |
|                              | 20 min                   | 4.92±0.14 <sup>C</sup>  |
| 30 ppmv                      | 5 min                    | 5.29±0.24 <sup>BC</sup> |
|                              | 10 min                   | 5.10±0.24 <sup>BC</sup> |
|                              | 20 min                   | 4.20±0.17 <sup>D</sup>  |

<sup>1)</sup>Means with the same letter in the same column are not significantly ( $P<0.05$ ) different.

**Table 3.** Effect of combined treatment of fumaric acid, mild heat, and 15 or 30 ppmv chlorine dioxide gas on the inactivation of *L. monocytogenes* inoculated on *Citrus unshiu* (unit: log CFU/g)

| Treatment                  | <i>L. monocytogenes</i>  |
|----------------------------|--------------------------|
| Control                    | 6.15±0.19 <sup>A2)</sup> |
| CT <sup>1)</sup> , 15 ppmv | 2.63±0.35 <sup>B</sup>   |
| CT, 30 ppmv                | 2.46±0.12 <sup>B</sup>   |

<sup>1)</sup>CT, combined treatment of 0.5% fumaric acid, 50°C mild heat, and chlorine dioxide gas.

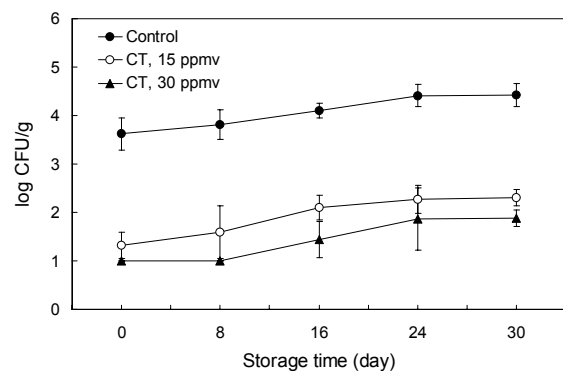
<sup>2)</sup>Means with the same letter in the same column are not significantly ( $P<0.05$ ) different.

에서 처리 농도 및 상대습도의 차이에 기인한 것으로 판단된다(21). 그리고 푸마르산, 열수 세척, 이산화염소 가스 훈증 각각의 단일 처리 시 약 2 log CFU/g 정도의 미생물 수 감소 효과를 보이는 것으로 나타나 단일처리만으로는 감귤의 저장 중 미생물학적 안전성을 확보하기에 미흡하다고 판단된다.

감귤 시료의 병합처리 시 푸마르산은 0.5%, 열수 세척처리 온도는 50°C로 설정하였고, 이산화염소 가스는 두 농도의 처리구 모두 20분 처리를 최적조건으로 설정하였다. 열수 세척처리의 경우 50°C와 60°C의 처리 간 유의적인 차이가 존재하지 않아 품질 변화를 최소화하기 위해서 50°C로 설정하였다. 감귤의 병합처리 실험 결과를 분석한 결과(Table 3) 15 ppmv 병합처리의 경우 대조구와 비교하여 *L. monocytogenes* 수가 3.52 log CFU/g 감소하였고, 30 ppmv 병합처리의 경우 3.69 log CFU/g의 미생물 감소 효과를 보였다.

#### 저장 중 효모 및 곰팡이 수 변화

감귤 시료를 병합처리 조건에서 처리한 후 4°C에서 30일간 저장하면서 효모 및 곰팡이 수의 변화를 측정하였다(Fig. 1). 감귤의 초기 균수는 3.62 log CFU/g이었고, 15 ppmv 이산화염소 가스 병합처리 후 1.32 log CFU/g으로 2.3 log



**Fig. 1.** Change in the populations of yeast and molds in *Citrus unshiu* during storage at 4°C. ●: Control, ○: CT, 15 ppmv, ▲: CT, 30 ppmv, CT: combined treatment of 0.5% fumaric acid, 50°C mild heat, and chlorine dioxide gas. Bars represent standard deviation.

CFU/g의 감소 효과를 보여 위의 병합처리 실험 결과와 유사한 결과를 보였다. 이러한 미생물 수 감소는 저장 중 지속되어 저장 16일에는 대조구의 미생물 수가 4.10 log CFU/g인 반면에 15 ppmv 병합처리구에서는 2.10 log CFU/g으로 2 log CFU/g의 감소 효과를 유지하였고, 저장 30일에는 대조구의 미생물 수가 4.42 log CFU/g, 15 ppmv 병합처리구의 미생물 수는 2.22 log CFU/g으로 2.2 log CFU/g의 감소 효과를 유지하였다. 한편 30 ppmv 이산화염소 가스 병합처리도 15 ppmv 병합처리구와 유사한 경향을 나타내었는데 저장 16일에 2.66 log CFU/g, 저장 30일에 2.54 log CFU/g의 감소 효과를 나타내었다. 따라서 본 연구에서의 병합처리가 감귤 시료의 저장 중 미생물학적 안전성을 유지할 수 있는 허들기술이라고 판단된다.

### 저장 중 부패율 변화

병합처리 후 감귤 시료의 저장 중 부패율 변화를 관찰하였다(Table 4). 부패율은 대조구에서 저장 8일부터 관찰되어 꾸준히 증가하는 경향을 보인 반면에 병합처리구에서는 8일까지 부패도가 발생하지 않았다. 저장 16일 후에는 대조구가 37.36%의 부패율을 보였고, 15 ppmv 병합처리구는 15.01%, 30 ppmv 병합처리구에서는 12.45%의 부패율을 보였다. 저장기간이 늘어나면서 대조구의 경우 부패율이 급격하게 증가하였으며, 저장 24일부터는 15 ppmv 병합처리구에서도 부패율의 증가가 대조구와 비슷한 비율로 급격히 상승하였으나 30 ppmv 병합처리구에서는 저장 30일까지 부패율이 완만하게 증가하였다. 저장 30일 후에는 대조구가 67.40%, 15 ppmv 병합처리구는 47.62%, 30 ppmv 병합처리구는 19.96%의 부패율이 측정되었다. Lee 등(2)은 온실재배 감귤의 저장 30일 후 65°C의 열수와 솔질의 병합처리구의 부패율이 10% 미만으로 나타났다고 보고하여 본 연구 결과와는 차이가 있는데, 이것은 노지재배가 온실재배보다 미생

물 오염 정도가 높아 부패율이 더 높은 것으로 판단된다. 본 연구에서의 이산화염소 가스 병합처리가 저장 30일 후에 감귤 시료의 부패율을 대조구와 비교하여 약 48% 감소시켰기 때문에 감귤의 유통 및 저장 시 상품성을 유지할 수 있는 효과적인 기술이라고 판단된다.

### 저장 중 품질 변화

감귤 시료에 이산화염소 가스 병합처리 후 저장 30일 동안 당도, 산도 및 색도 변화를 측정하였다(Table 4). 전체적인 당도는 저장 중 약간 감소하는 경향을 보였고 산도는 거의 일정한 경향을 보였다. 이러한 저장 중 성분 변화는 온주 감귤이 다른 감귤류에 비해 껍질이 얇아 외부 환경의 영향을 많이 받고 또한 수분의 증산이 쉽게 발생하는데(22), 수분 증산에 의한 농축 효과보다는 수확 후 호흡과정 중 기질로 사용되어 감소한 영향이 큰 것으로 판단되며 기질로 유기산보다는 당분이 먼저 사용되었기 때문으로 판단된다. 감귤 시료의 당도와 산도는 처리구 간 차이를 보이지 않았고, 이러한 경향은 저장 30일까지 유지되었다. Lee 등(23)은 감귤 시료에 45°C 열풍 처리 후 5°C에서 저장하였을 때 처리에 따른 당도와 산도에서의 차이가 없었다고 보고하였으며, Hong 등(24)의 연구에서도 시료에 52°C 열수처리 후 30일 저장 시 저장기간 동안 처리에 따른 당도와 산도의 차이가 없었다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다. 또한, 이산화염소 가스 병합처리 후 저장 중 시료 표면의 Hunter-b 값을 분석한 결과에서도 처리구 간 큰 차이를 보이지 않았다. 이산화염소 가스 훈증의 경우 열수 처리 및 유기산 처리와는 다르게 감귤 표면의 페놀화합물 및 내부물질 등의 산화에 의한 갈변을 유발할 가능성이 있기에 적절한 농도와 시간을 설정하는 것이 중요한데(25), 본 연구에서는 이산화염소 가스 병합처리가 감귤 시료 표면에 영향을 끼치지 않는 적절한 농도와 시간인 것으로 확인되었다. 따라서 병합처리

**Table 4.** Change in the quality characteristics of *Citrus unshiu* during storage at 4°C

| Quality characteristics <sup>1)</sup> | Treatment   | Storage time (day)         |                          |                           |                           |                          |
|---------------------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                       |             | 0                          | 8                        | 16                        | 24                        | 30                       |
| Decay rate (%)                        | Control     | 0.00±0.00 <sup>Ac</sup>    | 15.02±0.63 <sup>Ad</sup> | 37.36±6.12 <sup>Ac</sup>  | 54.95±1.90 <sup>Ab</sup>  | 67.40±5.19 <sup>Aa</sup> |
|                                       | CT, 15 ppmv | 0.00±0.00 <sup>Ad</sup>    | 0.00±0.00 <sup>Bd</sup>  | 15.01±0.63 <sup>Bc</sup>  | 27.47±3.96 <sup>Bb</sup>  | 47.62±5.64 <sup>Ba</sup> |
|                                       | CT, 30 ppmv | 0.00±0.00 <sup>Ac</sup>    | 0.00±0.00 <sup>Bc</sup>  | 12.45±4.16 <sup>Bb</sup>  | 17.58±4.79 <sup>Cab</sup> | 19.96±4.05 <sup>Ca</sup> |
| TSS (°Brix)                           | Control     | 12.56±0.37 <sup>Aa2)</sup> | 12.56±0.75 <sup>Aa</sup> | 12.07±0.65 <sup>Aa</sup>  | 10.81±0.71 <sup>Ab</sup>  | 10.74±0.44 <sup>Ab</sup> |
|                                       | CT, 15 ppmv | 12.73±0.34 <sup>Aa</sup>   | 12.53±0.70 <sup>Aa</sup> | 11.83±0.96 <sup>Aab</sup> | 10.99±0.85 <sup>Ab</sup>  | 10.86±0.24 <sup>Ab</sup> |
|                                       | CT, 30 ppmv | 12.57±0.88 <sup>Aa</sup>   | 12.51±0.78 <sup>Aa</sup> | 11.83±0.59 <sup>Aa</sup>  | 10.90±0.40 <sup>Ab</sup>  | 10.70±0.34 <sup>Ab</sup> |
| TA (%)                                | Control     | 0.46±0.03 <sup>Ab</sup>    | 0.47±0.01 <sup>Aab</sup> | 0.48±0.01 <sup>Aab</sup>  | 0.48±0.01 <sup>Aab</sup>  | 0.49±0.01 <sup>Aa</sup>  |
|                                       | CT, 15 ppmv | 0.48±0.02 <sup>Aa</sup>    | 0.48±0.06 <sup>Aa</sup>  | 0.47±0.01 <sup>Aa</sup>   | 0.48±0.01 <sup>Aa</sup>   | 0.49±0.01 <sup>Aa</sup>  |
|                                       | CT, 30 ppmv | 0.47±0.01 <sup>Aa</sup>    | 0.47±0.05 <sup>Aa</sup>  | 0.47±0.02 <sup>Aa</sup>   | 0.47±0.02 <sup>Aa</sup>   | 0.48±0.00 <sup>Aa</sup>  |
| Hunter-b                              | Control     | 35.29±1.13 <sup>Aa</sup>   | 35.35±1.04 <sup>Aa</sup> | 35.46±1.09 <sup>Aa</sup>  | 35.15±0.90 <sup>Aa</sup>  | 35.03±0.90 <sup>Aa</sup> |
|                                       | CT, 15 ppmv | 35.65±1.07 <sup>Aa</sup>   | 35.29±0.54 <sup>Aa</sup> | 35.52±0.66 <sup>Aa</sup>  | 35.45±1.17 <sup>Aa</sup>  | 35.74±0.98 <sup>Aa</sup> |
|                                       | CT, 30 ppmv | 35.28±0.78 <sup>Aa</sup>   | 35.31±0.74 <sup>Aa</sup> | 35.42±0.69 <sup>Aa</sup>  | 35.36±1.29 <sup>Aa</sup>  | 35.21±1.09 <sup>Aa</sup> |

<sup>1)</sup>TSS, total soluble solid; TA, titratable acidity; CT, combined treatment of 0.5% fumaric acid, 50°C mild heat, and chlorine dioxide gas.

<sup>2)</sup>Means with the same uppercase letter in the same column and the same lowercase letter in the same row are not significantly ( $P<0.05$ ) different.

감귤 시료의 당도, 산도 및 색도에 영향을 끼치지 않는 처리 방법이라고 판단된다.

## 요 약

감귤의 저장 중 미생물학적 안전성 확보 및 품질 향상을 위해 0.5% 푸마르산과 50°C 열수 세척처리 후 15, 30 ppmv 이산화염소 가스 혼증 처리하여 4±1°C에서 30일간 저장하였다. 푸마르산, 열수 세척처리, 15와 30 ppmv 병합처리 시 접종된 *Listeria monocytogenes*를 3.5~3.7 log CFU/g 감소시켰다. 또한, 감귤의 병합처리 후 30 ppmv 병합처리구에서 저장 30일 후에 효모 및 곰팡이 수에 있어서 2.54 log CFU/g의 감소 효과를 나타냈고, 대조구와 비교하여 부패율을 48% 낮추는 효과를 보였다. 저장 중 당도, 산도는 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 병합처리하는 감귤 시료의 표면 색도에 부정적인 영향을 끼치지 않았다. 따라서 본 연구 결과 이산화염소 가스, 중온 열수 세척, 푸마르산 병합처리는 감귤 시료의 품질에 영향을 끼치지 않으면서 미생물학적 안전성 및 품질을 향상할 수 있는 효과적인 허들기술이라고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원(IPET, Project No. 314059-03)의 지원을 받아 수행된 것으로, 이에 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- Jeong SM, Kim SY, Kim DR, Jo SC, Nam KC, Ahn DU, Lee SC. 2004. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *J Agric Food Chem* 52: 3389-3393.
- Lee HH, Hong SI, Son SM, Kim DM. 2011. Effect of on-site postharvest hot water treatment on storage quality of commercial greenhouse satsuma mandarin. *Korean J Food Sci Technol* 43: 577-582.
- Korea Agricultural Marketing Information Service. <http://www.kamis.co.kr/customer/circulation/domestic/item.do> (accessed Feb 2016).
- Nongsaro. <http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/pst/psta/trendYearStats.ps?menuId=PS00211&categoryCode=C0300&subCode=1#chartTab> (accessed Feb 2016).
- Sharma RR, Singh D, Singh R. 2009. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biol Control* 50: 205-221.
- Weis J, Seeliger HPR. 1975. Incidence of *Listeria monocytogenes* in nature. *Appl Environ Microbiol* 30: 29-32.
- Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/index.html> (accessed Feb 2016).
- Brown GE, Dezman DJ. 1990. Uptake of imazalil by citrus fruit after postharvest application and the effect of residue distribution on sporulation of *Penicillium digitatum*. *Plant Dis* 74: 927-930.
- Ito Y, Goto T, Oka H, Matsumoto H, Miyazaki Y, Takahashi N, Nakazawa H. 2003. Simple and rapid determination of thiabendazole, imazalil, and o-phenylphenol in citrus fruit using flow-injection electrospray ionization tandem mass spectrometry. *J Agric Food Chem* 51: 861-866.
- Palou L, Usall J, Smilanick JL, Aguilar MJ, Vinas I. 2002. Evaluation of food additives and low-toxicity compounds as alternative chemicals for the control of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* on citrus fruit. *Pest Manag Sci* 58: 459-466.
- Lee JH, Seo MW, Kim HG. 2012. Isolation and characterization of an antagonistic endophytic bacterium *Bacillus velezensis* CB3 the control of citrus green mold pathogen *Penicillium digitatum*. *Korean J Mycol* 40: 118-123.
- Porat R, Pavoncello D, Peretz J, Weiss B, Daus A, Cohen L, Ben-Yehoshua S, Fallik E, Droby S, Lurie S. 2000. Induction of resistance to *Penicillium digitatum* and chilling injury in 'Star Ruby' grapefruit by a short hot-water rinse and brushing treatment. *J Hort Sci Biotechnol* 75: 428-432.
- Youm HJ, Ko JK, Kim MR, Song KB. 2004. Inhibitory effect of aqueous chlorine dioxide on survival of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* in pure cell culture. *Korean J Food Sci Technol* 36: 514-517.
- Singh N, Singh RK, Bhunia AK, Strohshine RL. 2002. Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *LWT - Food Sci Technol* 35: 720-729.
- Han Y, Linton RH, Nielsen SS, Nelson PE. 2001. Reduction of *Listeria monocytogenes* on green peppers (*Capsicum annuum* L.) by gaseous and aqueous chlorine dioxide and water washing and its growth at 7°C. *J Food Prot* 64: 1730-1738.
- Chun HH, Song KB. 2014. Optimisation of the combined treatments of aqueous chlorine dioxide, fumaric acid and ultraviolet-C for improving the microbial quality and maintaining sensory quality of common buckwheat sprout. *Int J Food Sci Technol* 49: 121-127.
- Lamikanra O, Bett-Garber KL, Ingram DA, Watson MA. 2005. Use of mild heat pre-treatment for quality retention of fresh-cut cantaloupe melon. *J Food Sci* 70: C53-C57.
- Kang JH, Park SM, Kim HG, Son HJ, Song KJ, Cho M, Kim JR, Lee JY, Song KB. 2015. Gaseous chlorine dioxide treatment to produce high quality paprika for export. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44: 1072-1078.
- Kondo N, Murata M, Isshiki K. 2006. Efficiency of sodium hypochlorite, fumaric acid, and mild heat in killing native microflora and *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium DT104, and *Staphylococcus aureus* attached to fresh-cut lettuce. *J Food Prot* 69: 323-329.
- Park SH, Kang DH. 2015. Combination treatment of chlorine dioxide gas and aerosolized sanitizer for inactivating food-borne pathogens on spinach leaves and tomatoes. *Int J Food Microbiol* 207: 103-108.
- Han Y, Floros JD, Linton RH, Nielsen SS, Nelson PE. 2001. Response surface modeling for the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on green peppers (*Capsicum annuum* L.) by chlorine dioxide gas treatments. *J Food Prot* 64: 1128-1133.
- Chung SK, Lee DS, Koh JS. 1996. Interrelation between respiration rate, peel permeability and internal atmosphere for sealed and wax-coated Satsuma mandarin oranges. *Food Biotechnol* 5: 330-333.
- Lee HH, Hong SI, Son SM, Kim D. 2004. Storage quality of early harvested Satsuma mandarin as influenced by hot

- air treatment. *Korean J Food Preserv* 11: 304-312.
24. Hong SI, Lee HH, Kim D. 2007. Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a post-harvest decay control. *Postharvest Biol Tec* 43: 271-279.
25. Gómez-López VM, Rajkovic A, Ragaert P, Smigic N, Devlieghere F. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends Food Sci Tech* 20: 17-26.