

## 이산화염소수, Ultraviolet-C 또는 병합처리가 샐러리와 체리에서의 살균 및 냉장저장 중 미생물 성장에 미치는 효과

송현정 · 천호현 · 조완신 · 송경빈<sup>†</sup>  
충남대학교 식품공학과

### Effects of Aqueous Chlorine Dioxide and UV-C Irradiation on Decontamination and Growth of Microbes during Chilled Storage of Celery and Cherries

Hyeon Jeong Song, Ho Hyun Chun, Wan Sin Jo, and Kyung Bin Song<sup>†</sup>

Dept. of Food Science & Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

#### Abstract

The effects of a combined treatment of aqueous chlorine dioxide (ClO<sub>2</sub>) and ultraviolet-C (UV-C) irradiation on microbial growth in celery and cherries were investigated. Celery and cherry samples were treated with 50 ppm ClO<sub>2</sub>, UV-C at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>, and a combination of ClO<sub>2</sub> and UV-C. The changes in the counts of *Escherichia coli* O157:H7 inoculated in the celery and cherries as well as those of total aerobic bacteria, yeast and molds in the celery and cherries were investigated after each treatment. After the combined treatment of aqueous ClO<sub>2</sub> and UV-C irradiation, the populations of *E. coli* O157:H7 in the inoculated celery and cherries were reduced by 2.8 and 3.0 log CFU/g, respectively, compared to those of the control. For the un-inoculated celery and cherries, the populations of total aerobic bacteria were reduced by 2.9 and 1.8 log CFU/g, respectively, compared to the control. In addition, the populations of yeast and molds were decreased by 1.8 and 1.2 log CFU/g, respectively. These results suggest that the combined treatment of 50 ppm ClO<sub>2</sub> and UV-C at a dose of 10 kJ/m<sup>2</sup> would be an effective technology for decontamination and improving the microbiological safety in celery and cherries during chilled storage.

**Key words:** celery, cherry, combined treatment, aqueous chlorine dioxide, UV-C irradiation

#### 서 론

최근 편의성 중시, 건강에 대한 관심 증대로 신선편이 채소의 소비가 증가하고 있다(1). 이러한 신선편이 채소는 가열처리를 거치지 않기 때문에 생산, 유통 과정 중 식중독 균의 오염이 발생할 수 있다. 실제로 양배추, 멜론, 새싹채소 등에서 유래된 *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli* O157:H7 등 병원성 미생물의 오염으로 인한 식중독 발생의 증가가 보고되고 있다(2). 특히 *E. coli* O157:H7은 과채류에서 빈번하게 검출되는 병원성 미생물로 토양, 농업용수 또는 작업자의 손으로부터 오염되기 쉽다(3-6). 따라서 신선편이 채소의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 소비자가 섭취하기 전에 미생물의 생육저해 방안이 마련되어야 한다(7).

식품의 살균을 위한 화학적 비가열처리 방법 중 이산화염소(ClO<sub>2</sub>)는 오존(O<sub>3</sub>), 염소(Cl<sub>2</sub>)와 함께 널리 사용되고 있는데, 염소의 경우에는 trihalomethanes과 염화페놀 등 발암물질이 생성되고 pH, 온도, 유기물질 등에 민감하다는 단점이 있다(8-10). 또한 오존은 반응성이 매우 높아 불안정하며 식

품의 맛과 색을 저하시키는 문제점이 있는데, 반면에 이산화염소수는 살균력이 강하고 식품의 풍미에도 큰 영향을 주지 않는다는 장점이 있기에 당근, 딸기, 멜론 등에서 효과적인 표면 살균처리 방법으로 연구가 진행되어 왔다(11-13).

Ultraviolet(UV)는 파장의 영역에 따라 UV-A(320-400 nm), UV-B(280~320 nm), UV-C(200~280 nm)로 구분되는데, 물리적 비가열 처리기술로써 식품의 살균에 사용되는 파장은 UV-C이다(14,15). 특히 253.7 nm 파장의 UV-C가 미생물의 DNA base에 손상을 일으켜 미생물을 사멸시키는 것으로 알려져 있다(16). UV-C 조사는 기존의 감마선이나 전자선 조사와 비교하여 잠재적 위험요소에 대한 소비자 거부감이 적고, 또한 온도와 수분의 영향을 크게 받지 않으며 설치 및 조사비용이 저렴한 장점을 가지고 있어, 식품 표면의 살균 목적으로 미국 식품의약품안전청에서 사용이 허가되었다(17). 따라서 UV-C는 토마토, 시금치, 양배추 등 다양한 채소류 표면의 미생물 오염 방지와 유통기한의 연장을 위해 사용되어 온 살균방법으로 널리 이용되어 왔다(14,18-20).

최근에는 물리, 화학적 방법을 병합한 hurdle 기술 개발에

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: kbsong@cnu.ac.kr  
Phone: 82-42-821-6723, Fax: 82-42-825-2664

관한 연구가 진행되고 있는데, Hadjok 등(21)의 연구에서는 iceberg 양배추, 로메인 양배추, 시금치, 콜리플라워, 브로콜리, 토마토에 과산화수소와 UV-C의 병합처리로 300 ppm의 염소처리보다 효과적인 감균 효과를 얻었다고 보고된 바 있다. 특히 이산화염소수나 UV-C의 단일처리에 의한 신선편이 채소의 미생물학적 안전성 향상에 대한 연구는 많이 있지만, 이산화염소수와 UV-C의 병합 처리를 적용한 hurdle 기술에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 셀러리와 체리의 이산화염소수와 UV-C의 단일 처리와 병합 처리에 따른 미생물 감소 효과를 비교 분석함으로써 효과적인 hurdle 기술을 개발하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료 및 처리조건

본 연구에서 사용된 셀러리와 체리는 대전에 위치한 대형 마트와 재래시장에서 시판되고 있는 것을 실험 당일 구입하여 사용하였다. 셀러리는 잎을 제거한 후 줄기 부분을 7 cm × 2 cm 되도록 잘랐고, 체리는 무게가 10 g 정도이고 외관 상태가 전체적으로 균일한 것을 선별하여 사용하였다. *E. coli* O157:H7을 접종한 셀러리, 체리 실험구와 접종하지 않은 셀러리, 체리 실험구로 나누어 각각 이산화염소수, UV-C 조사 단독 처리 및 병합 처리를 하였고, 처리 후 시료는 4 ± 1°C에서 7일 동안 low density polyethylene(LDPE) bag(21 cm × 29 cm, 두께: 130 μm)에 개별적으로 포장하여 저장하였다.

### 병원성 미생물 배양

셀러리와 체리에 접종하기 위해 사용된 *E. coli* O157:H7 (NCTC 12079)의 균주를 한국생명공학연구원 생물자원센터(KCTC, Daejeon, Korea)로부터 분양 받은 후 -80°C 초저온 냉동고에서 20% glycerol stock(v/v) 형태로 보관하면서 실험에 사용하였다. *E. coli* O157:H7은 MacConky Agar (Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 24시간 동안 배양 후 형성된 각 균주의 단일 집락을 멸균된 loop로 취해 tryptic soy broth(TSB, Difco Co.)에 접종하여 37°C에서 24시간 동안 진탕 배양하여 균주를 활성화하였다. 보관 균주의 오염여부를 확인하기 위하여 계대 배양한 균액을 0.1% sterile peptone water에 10배수로 희석하여 선택배지에 접종 배양한 후 형성된 전형적인 집락 형태와 수를 관찰하였다. 배양액을 원심분리 하여 침전된 *E. coli* O157:H7 cell culture를 0.1% sterile peptone water로 세척한 후 vortex mixer를 사용하여 재현탁시키고 원심분리 하여 2회 세척한 후, 침전된 cell pellet을 희석하여 균 접종 액으로 사용하였다.

### 병원성 미생물 접종

셀러리와 체리 시료 표면에 *E. coli* O157:H7 접종을 위해 clean bench 내 UV-C light(G40T10, Sankyo Denki Co.,

Kanagawa, Japan)로 30분 동안 처리하여 기존 자연적으로 부착되어 있는 미생물을 감소시킨 후, *E. coli* O157:H7 접종액 1 mL를 균일하게 접종하여 *E. coli* O157:H7의 초기 균수가 6~7 log CFU/g이 되게 하였다. 접종된 시료 표면에 균이 잘 부착될 수 있도록 laminar flow hood에서 30분 동안 방치하였다.

### 이산화염소수 처리

*E. coli* O157:H7이 접종된 셀러리, 체리 실험구와 접종하지 않은 실험구로 구분하여 증류수와 50 ppm 이산화염소수에 각각 10분간 침지하였고, 침지 후 clean bench에서 1시간 동안 방치함으로써 표면에 남아있는 수분을 제거하였다. 이산화염소수 용액은 chlorine dioxide generator system(CH<sub>2</sub>O Inc., Olympia, WA, USA)을 이용하여, 선행연구와 예비실험 결과를 바탕으로 최적 농도가 50 ppm이 되게 제조하였으며(22), 농도는 iodometry 방법으로 측정하였다(23).

### UV-C 조사

UV-C 조사를 위해 제작된 UV chamber(88 cm × 55 cm × 47 cm)의 상, 하부에 253.7 nm 파장의 unfiltered germicidal emitting lamps(Sylvania, G15T8, Phillips, Haarlem, Netherlands)를 각각 6개씩 설치하였고, UV-C 강도는 시료 tray 상에서 UV light meter(UV-340, Lutron Electronic Co., Taipei, Taiwan)를 사용하여 3회 반복하여 측정하였다. 사용된 UV-C 조사선량은 선행연구와 예비실험 결과를 바탕으로 10 kJ/m<sup>2</sup>로 정하였고(22), 조사시간은 13분 56초이었다. 또한, 미생물의 photoreactivation을 최소화하기 위해 암실 조건에서 조사하였다.

### 이산화염소수와 UV-C 병합 처리

이산화염소수와 UV-C의 병합 처리는 시료를 먼저 50 ppm 이산화염소수에 10분간 침지한 후 물기를 제거하고 나서, 10 kJ/m<sup>2</sup> 선량의 UV-C 조사를 연속적으로 병합 처리하였다.

### 셀러리와 체리의 저장 중 미생물 수 측정

셀러리와 체리는 20 g씩 각각 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화 시켰다. 균질화된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 0.1% 멸균 펩톤수로 10배수 연속 희석한 후 각각의 배지에 분주하여 수행하였다. *E. coli* O157:H7은 MacConky Agar(Difco Co.)를 사용하여 37°C에서 24시간 동안 배양하였다. 총 호기성 세균은 plate count agar(PCA, Difco Co.)를 사용하여 37°C에서 2일간, 그리고 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co.)를 사용하여 25°C에서 3일간 배양한 후 형성된 colony를 계수하였다. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈고 3회 반복하여 측정하였다.

### 통계 처리

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였고, 그 결과는 평균값 ± 표준편차로 나타냈으며 통계적 분석은 SAS(Statistical Analysis System program, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 각 처리구 간의 유의성( $p < 0.05$ ) 검증을 위해 분산분석한 후 Duncan's multiple range test로 다중비교를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 저장 중 접종된 *E. coli* O157:H7 수 측정

*E. coli* O157:H7으로 접종된 셀러리와 체리에 이산화염소수, 증류수, UV-C 조사, 또는 이산화염소수와 UV-C 병합 처리를 한 후 저장 중 미생물 수 변화를 측정하였다(Table 1). 셀러리와 체리의 초기 *E. coli* O157:H7 수는 5.9, 6.2 log CFU/g이었다(Table 1). 셀러리의 경우 물로 침지하여 세척한 처리구는 5.2 log CFU/g로서 0.7 log CFU/g만큼 감소하였고, 체리의 경우 5.3 log CFU/g으로 대조구보다 0.9 log CFU/g 감소하였다. 이러한 연구 결과는 양배추를 수도물로 세척했을 때 *E. coli*의 미생물 수가 단지 0.3 log CFU/g 감소했다는 이전의 연구결과(24)와 유사한 것으로서, 물을 이용한 단순 세척은 이산화염소수 같은 화학적 살균 처리 방법보다 미생물 감소율이 현저히 낮다는 것을 시사한다.

이산화염소수로 세척한 셀러리의 경우 *E. coli* O157:H7의 수가 4.0 log CFU/g으로 감소하여 대조구와 비교했을 때 1.9 log CFU/g만큼 감소한 것으로 확인되었다(Table 1). UV-C로 조사한 시료 역시 *E. coli* O157:H7 수는 3.9 log CFU/g로 나타나 대조구와 2.0 log CFU/g의 차이를 보였다. 체리의 경우 *E. coli* O157:H7 수가 이산화염소수 처리와 UV-C 조사구에서 각각 4.1, 4.8 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 각각 2.1, 1.4 log CFU/g의 감소를 나타냈다(Table 1). 이러한 연구 결과는 단순한 물 세척보다는 이산화염소수 처

리나 UV-C 조사가 미생물 수 감소에 있어서 보다 효과적인 방법인 것을 시사한다. 본 연구에서의 이산화염소수의 병합성 미생물 사멸 효과는 이산화염소수가 탈이온수와 산성 전해수보다 *E. coli* O157:H7 수 감소에 있어서 1 log CFU/g 이상의 저해효과를 보였다는 Keskinen 등(25)의 연구보고와 유사한 경향을 나타냈다. Sommers 등(26) 또한 40 kJ/m<sup>2</sup>의 UV-C 조사로 토마토표면의 *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *S. aureus*를 2.6~3.1 log CFU/g 감균 시켰다고 보고하였고, Guan 등(27)의 연구에서도 버섯에 2.7 kJ/m<sup>2</sup>의 UV-C 조사로 *E. coli* O157:H7을 1.1 log CFU/g의 감소 효과를 나타내었다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 보였다. 따라서 UV-C 조사처리는 화학적 살균처리가 어려운 채소류에 적용하거나 화학적 살균 방법과 병합하여 처리한다면 미생물 감균 효과에 있어서 효과적일 것이라고 판단된다.

이산화염소수와 UV-C 조사로 병합 처리된 셀러리와 체리의 *E. coli* O157:H7 수는 3.1, 3.2 log CFU/g으로 각각 2.8, 3.0 log CFU/g의 초기 미생물 수 감소를 보였다. 이산화염소수와 UV-C 조사의 병합처리 결과는 다른 화학적, 물리적 병합처리를 수행한 실험과 비교가 된다. Huang 등(28)은 사과에 접종된 *Salmonella*와 *E. coli* O157:H7 수가 40 ppm의 이산화염소수와 170 kHz의 ultrasonication 병합처리로 이산화염소 단일 처리보다 미생물 감소율이 2 log cycle 이상 높았다고 보고하였다. 또한 Selma 등(29)은 24 g/m<sup>3</sup> 농도의 오존과 54 kJ/m<sup>2</sup> UV-C를 과채류의 세척에 각각 적용 시 coliform의 감소가 대조구와 비교하여 2.4, 4.0 log CFU/g인 반면에, 오존과 UV-C 병합 처리한 경우 5 log CFU/g 이상의 미생물 감소를 나타내어 살균방법에 있어서 단일처리보다 병합처리가 더 효과적임을 입증하였다.

셀러리와 체리의 *E. coli* O157:H7 수의 감소효과는 저장 중에도 지속되었는데, 셀러리의 경우 대조구의 미생물 수가 저장 5일까지 큰 차이를 보이지 않다가 저장 7일 후 6.4 log

Table 1. Effects of aqueous chlorine dioxide, UV-C irradiation, and combined treatment of aqueous chlorine dioxide and UV-C on the populations of *E. coli* O157:H7 inoculated on celery and cherry during storage (log CFU/g)

Sample	Treatment <sup>1)</sup>	Storage time (days)				
		0	1	3	5	7
Celery	Control	5.89±0.14 <sup>Ab2)</sup>	5.71±0.04 <sup>Ab</sup>	5.83±0.27 <sup>Ab</sup>	5.77±0.21 <sup>Ab</sup>	6.41±0.13 <sup>Aa</sup>
	Water	5.17±0.28 <sup>Ba</sup>	5.34±0.17 <sup>Ba</sup>	5.00±0.30 <sup>Ba</sup>	5.00±0.30 <sup>Ba</sup>	5.40±0.23 <sup>Ba</sup>
	ClO <sub>2</sub>	4.00±0.21 <sup>Cc</sup>	4.01±0.02 <sup>Cc</sup>	4.26±0.10 <sup>Cbc</sup>	4.47±0.18 <sup>Cb</sup>	4.81±0.17 <sup>Ca</sup>
	UV-C	3.85±0.30 <sup>Cc</sup>	4.00±0.21 <sup>Cbc</sup>	4.17±0.13 <sup>Cbc</sup>	4.28±0.16 <sup>Cb</sup>	4.95±0.09 <sup>Ca</sup>
	ClO <sub>2</sub> /UV-C	3.08±0.11 <sup>Dc</sup>	3.14±0.17 <sup>Dc</sup>	3.40±0.12 <sup>Db</sup>	3.79±0.14 <sup>Dab</sup>	3.59±0.04 <sup>Da</sup>
Cherry	Control	6.19±0.05 <sup>Aa</sup>	6.02±0.06 <sup>Aa</sup>	5.55±0.10 <sup>Ab</sup>	5.49±0.23 <sup>Ab</sup>	5.30±0.14 <sup>Ab</sup>
	Water	5.28±0.10 <sup>Ba</sup>	5.26±0.04 <sup>Ba</sup>	5.17±0.10 <sup>ABa</sup>	5.32±0.12 <sup>Aa</sup>	5.16±0.08 <sup>Aa</sup>
	ClO <sub>2</sub>	4.11±0.54 <sup>Ca</sup>	4.39±0.44 <sup>Ca</sup>	4.44±0.85 <sup>BCa</sup>	4.37±0.09 <sup>Ba</sup>	4.31±0.11 <sup>Ba</sup>
	UV-C	4.80±0.30 <sup>Ba</sup>	4.16±0.41 <sup>Ca</sup>	4.29±0.49 <sup>BCa</sup>	4.16±0.02 <sup>Ba</sup>	4.26±0.16 <sup>Ba</sup>
	ClO <sub>2</sub> /UV-C	3.19±0.08 <sup>Da</sup>	3.45±0.61 <sup>Da</sup>	3.52±0.46 <sup>Ca</sup>	3.54±0.68 <sup>Ca</sup>	3.51±0.09 <sup>Ca</sup>

<sup>1)</sup>Control: no treatment, water: distilled water washing, ClO<sub>2</sub>: 50 ppm aqueous chlorine dioxide treatment, UV-C: UV-C irradiation at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>, ClO<sub>2</sub>/UV-C: combined treatment of 50 ppm ClO<sub>2</sub> and UV-C at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>2)</sup>Any means in the same column (A-D) or row (a-c) followed by different letters are significantly ( $p < 0.05$ ) different by Duncan's multiple range test.

CFU/g으로 증가하였고, 또한 이산화염소수와 UV-C 처리한 시료의 경우도 *E. coli* O157:H7 수가 저장 중 점차 증가하여 4.8, 4.9 log CFU/g으로 증가하였다. 반면 체리의 경우 저장 중 대조구의 미생물 수가 저장 3일 후 약간 감소하였다가 저장 7일까지 유의적인 차이를 보이지 않았고, 이산화염소수 처리구와 UV-C 조사구, 병합 처리구 또한 저장 7일 동안 유의적인 차이를 보이지 않았다. 저장 중 병합 처리된 셀러리와 체리의 미생물 수는 대조구와 비교하여 약 2~3 log CFU/g 감균 효과를 유지하였다. 이와 관련한 유사한 연구로서 Chen과 Zhu(30)는 ultrasonication과 이산화염소수의 병합처리로 저장 40일까지 자두의 총 호기성균과 효모 및 곰팡이 수에 있어서 약 2~3 log CFU/g의 감균 효과가 유지되었다고 보고한 바 있다. 따라서 이산화염소수와 UV-C 조사 병합처리는 셀러리와 체리뿐만 아니라 신선편이 채소류의 저장, 유통 중 오염될 수 있는 병원성 미생물의 생육을 억제함으로써 미생물학적 안전성을 확보할 수 있다고 판단된다.

저장 중 총 호기성균과 효모 및 곰팡이 수 측정

이산화염소수, UV-C 조사, 이산화염소수와 UV-C 조사 병합처리를 한 셀러리와 체리의 저장 중 총 호기성균과 효모 및 곰팡이 수를 측정한 결과를 Table 2, 3에 나타내었다. 셀러리와 체리 대조구 시료들에서의 최초 총 호기성균 수는 각각 5.7, 5.0 log CFU/g으로 나타났다(Table 2). 물로 세척한 셀러리와 체리는 4.9, 4.4 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 각각 0.8, 0.6 log CFU/g으로 미미한 감소를 나타냈다. 반면에 이산화염소수로 처리한 셀러리와 체리의 총 호기성균의 수는 3.7, 3.3 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 각각 2.0, 1.7 log CFU/g 감소하였다. 또한 UV-C 조사한 셀러리의 경우 3.7 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 2.0 log CFU/g 감소하였고, 체리의 경우 4.3 log CFU/g으로 0.7 log CFU/g 감소하였다.

한편 이산화염소수와 UV-C 조사로 병합처리 된 셀러리

와 체리의 총 호기성균은 이산화염소수나 UV-C 조사로 단일 처리된 시료의 미생물 수보다 높은 감소율을 나타냈는데, 셀러리의 경우 총 호기성 균수는 2.8 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 2.9 log CFU/g으로 감소하였고, 체리의 경우는 3.2 log CFU/g으로, 1.8 log CFU/g의 감소효과를 보였다. 이러한 연구 결과는 Kim 등(22)과 Kim 등(31)이 딸기, 레드치커리, 청경채에서 이산화염소수와 UV-C 병합처리로 1-2 log CFU/g의 총 호기성균 수가 감소하였다는 결과와 유사하였다.

셀러리와 체리의 저장기간 중 모든 처리구에서의 총 호기성균은 증가하였는데, 저장 7일 후 대조구의 총 호기성균은 6.4와 7.1 log CFU/g에 도달하였다. 신선편의 식품에서의 미생물 규격은 세균수가 6 log CFU/g 이하, 그리고 *Salmonella*, *E. coli* O157:H7은 음성으로 규정되어 있는데(32), 본 실험 결과 저장 7일 후에는 대조구의 총 호기성균 수가 기준 규격 이상인 것으로 나타났다. 반면에 이산화염소수와 UV-C 조사 처리구에서는 총 호기성균 수가 4~5 log CFU/g으로 저장 7일 후에도 미생물 기준 규격에 적합하였다.

셀러리와 체리의 효모 및 곰팡이의 초기 숫자는 4.9, 4.6 log CFU/g이었는데(Table 3), 물로 세척한 경우 셀러리와 체리의 효모 및 곰팡이 수는 각각 0.2, 0.3 log CFU/g 감소하여 각각 4.7, 4.3 log CFU/g으로 측정되었다. 반면에 이산화염소수로 세척한 셀러리의 경우 저장 초기에 3.6 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 1.3 log CFU/g의 감소를 나타냈고, 체리는 3.7 log로 0.9 log CFU/g의 감소 효과를 보였다. Wu와 Kim의 연구(33)에서는 15 ppm 이산화염소수에 의한 블루베리 세척으로 효모 및 곰팡이 수에 있어서 2.8 log CFU/g의 감소 효과를 보고한 바 있어 차이를 보였는데, 이는 시료의 특성, 처리방법, 초기 미생물 수 등에 의한 차이로 판단된다. 셀러리와 체리의 UV-C 조사구는 각각 4.1, 3.8 log CFU/g으로써 둘 다 0.8 log CFU/g의 감소를 보였으나, 이산화염소수와 병합처리 시 대조구와 비교해서 셀러리와

Table 2. Effects of aqueous chlorine dioxide, UV-C irradiation, and combined treatment of aqueous chlorine dioxide and UV-C on the population of total aerobic bacteria in celery and cherry during storage (log CFU/g)

Sample	Treatment <sup>1)</sup>	Storage time (day)				
		0	1	3	5	7
Celery	Control	5.73±0.04 <sup>Aa2)</sup>	6.08±0.54 <sup>Aa</sup>	6.35±0.57 <sup>Aa</sup>	6.36±0.21 <sup>Aa</sup>	6.36±0.50 <sup>Aa</sup>
	Water	4.90±0.05 <sup>Bb</sup>	5.12±0.59 <sup>Bb</sup>	5.28±0.13 <sup>Bb</sup>	5.64±0.10 <sup>Ab</sup>	6.03±0.61 <sup>Aa</sup>
	ClO <sub>2</sub>	3.69±0.23 <sup>Db</sup>	4.18±0.76 <sup>Cab</sup>	4.41±0.68 <sup>Cab</sup>	4.52±0.82 <sup>Bab</sup>	4.65±0.15 <sup>Ba</sup>
	UV-C	3.68±0.03 <sup>Cb</sup>	4.47±0.09 <sup>BCa</sup>	4.68±0.63 <sup>Ca</sup>	4.88±0.28 <sup>Ba</sup>	4.70±0.15 <sup>Ba</sup>
	ClO <sub>2</sub> /UV-C	2.84±0.15 <sup>Ec</sup>	3.69±0.03 <sup>Cab</sup>	3.96±0.22 <sup>Ca</sup>	3.56±0.15 <sup>Cb</sup>	3.60±0.20 <sup>Cb</sup>
Cherry	Control	5.01±0.27 <sup>Ac</sup>	5.43±0.34 <sup>Abc</sup>	5.97±0.64 <sup>Ab</sup>	7.05±0.19 <sup>Aa</sup>	7.05±0.08 <sup>Aa</sup>
	Water	4.41±0.33 <sup>Bc</sup>	5.66±0.16 <sup>Ab</sup>	5.73±0.02 <sup>Ab</sup>	6.21±0.17 <sup>Ba</sup>	6.27±0.33 <sup>Ba</sup>
	ClO <sub>2</sub>	3.34±0.02 <sup>Cb</sup>	3.43±0.28 <sup>Cb</sup>	4.94±0.05 <sup>Ba</sup>	5.12±0.38 <sup>Ca</sup>	5.00±0.21 <sup>Ca</sup>
	UV-C	4.25±0.12 <sup>Bb</sup>	4.32±0.15 <sup>Bb</sup>	4.95±0.13 <sup>Ba</sup>	5.29±0.46 <sup>Ca</sup>	5.37±0.21 <sup>Ca</sup>
	ClO <sub>2</sub> /UV-C	3.23±0.20 <sup>Cc</sup>	3.80±0.34 <sup>Cb</sup>	4.74±0.06 <sup>Ba</sup>	4.95±0.00 <sup>Ca</sup>	4.93±0.04 <sup>Ca</sup>

<sup>1)</sup>Control: no treatment, water: distilled water washing, ClO<sub>2</sub>: 50 ppm aqueous chlorine dioxide treatment, UV-C: UV-C irradiation at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>, ClO<sub>2</sub>/UV-C: combined treatment of 50 ppm ClO<sub>2</sub> and UV-C at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>2)</sup>Any means in the same column (A-E) or row (a-c) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

Table 3. Effects of aqueous chlorine dioxide, UV-C irradiation, and combined treatment of aqueous chlorine dioxide and UV-C on the population of yeast and molds in celery and cherry during storage (log CFU/g)

Samples	Treatment <sup>1)</sup>	Storage time (day)				
		0	1	3	5	7
Celery	Control	4.95±0.10 <sup>Ab2)</sup>	5.53±0.46 <sup>Ab</sup>	5.57±0.65 <sup>Aab</sup>	5.70±0.12 <sup>Aa</sup>	6.19±0.21 <sup>Aa</sup>
	Water	4.74±0.07 <sup>Ab</sup>	4.72±0.07 <sup>Bb</sup>	5.28±0.13 <sup>Bb</sup>	5.06±0.23 <sup>ABa</sup>	5.38±0.35 <sup>Ba</sup>
	ClO <sub>2</sub>	3.62±0.33 <sup>Cb</sup>	3.90±0.37 <sup>CDb</sup>	4.41±0.68 <sup>BCb</sup>	3.69±0.36 <sup>Cb</sup>	4.93±0.08 <sup>BCa</sup>
	UV-C	4.15±0.22 <sup>Bb</sup>	4.23±0.49 <sup>BCa</sup>	4.68±0.63 <sup>Bab</sup>	4.71±0.49 <sup>Bab</sup>	4.83±0.08 <sup>Ca</sup>
	ClO <sub>2</sub> /UV-C	3.20±0.35 <sup>Db</sup>	3.27±0.14 <sup>Da</sup>	3.96±0.22 <sup>Ca</sup>	4.32±0.57 <sup>BCa</sup>	4.72±0.42 <sup>Ca</sup>
Cherry	Control	4.58±0.04 <sup>Ad</sup>	5.31±0.05 <sup>Ac</sup>	5.82±0.19 <sup>Ab</sup>	7.30±0.46 <sup>Aa</sup>	6.91±0.06 <sup>Aa</sup>
	Water	4.31±0.21 <sup>Ae</sup>	5.05±0.08 <sup>Bd</sup>	4.69±0.13 <sup>Bc</sup>	5.68±0.15 <sup>Bb</sup>	6.24±0.05 <sup>Ba</sup>
	ClO <sub>2</sub>	3.71±0.58 <sup>Bb</sup>	3.78±0.16 <sup>Cb</sup>	5.24±0.60 <sup>ABa</sup>	4.91±0.20 <sup>Ca</sup>	5.07±0.23 <sup>Ca</sup>
	UV-C	3.79±0.10 <sup>Bc</sup>	3.82±0.11 <sup>Cc</sup>	4.78±0.35 <sup>Bb</sup>	5.07±0.37 <sup>Cab</sup>	5.35±0.10 <sup>Ca</sup>
	ClO <sub>2</sub> /UV-C	3.43±0.06 <sup>Bb</sup>	3.44±0.03 <sup>Db</sup>	3.92±0.08 <sup>Ca</sup>	4.00±0.06 <sup>Da</sup>	4.01±0.03 <sup>Da</sup>

<sup>1)</sup>Control: no treatment, water: distilled water washing, ClO<sub>2</sub>: 50 ppm aqueous chlorine dioxide treatment, UV-C: UV-C irradiation at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>, ClO<sub>2</sub>/UV-C: combined treatment of 50 ppm ClO<sub>2</sub> and UV-C at dose of 10 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>2)</sup>Any means in the same column (A-D) or row (a-c) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

체리 각각 1.8, 1.2 log CFU/g의 감소를 가져와 상승효과를 나타냈다. Begum 등(34)의 연구에서는 곰팡이 포자에 4.6 J/m<sup>2</sup> 선량의 UV-C 조사에 의해 5 log CFU/g 이상의 감소를 나타내었는데, 이러한 차이는 pure culture에서는 UV-C 조사에 의한 미생물 감소 효과가 크지만 식품에 있어서는 식품 표면의 topography, UV-C 투과율, 미생물 종류 등에 따라 그 효과가 달라질 수 있기 때문이라고 생각된다(35).

샐러리와 체리의 모든 처리구에 있어서 효모 및 곰팡이 미생물 수는 저장 중 증가했는데, 샐러리의 경우 대조구의 효모 및 곰팡이 수가 저장 7일째 6.2 log CFU/g으로 증가하였고, 체리의 경우 6.9 log CFU/g의 높은 숫자를 보였다. 그러나 이산화염소수와 UV-C로 병합 처리된 샐러리와 체리의 효모 및 곰팡이 수는 저장 중 1~2 log CFU/g의 미생물 수 감소를 유지하였는데, 이러한 결과는 Manzocco 등(36)의 연구에서 수박에 12 kJ/m<sup>2</sup> 선량의 UV-C 조사로 효모 및 곰팡이 수에 있어서 저장 15일 동안 2 log CFU/g의 감소효과를 유지했다는 결과와 유사하였다.

따라서 본 연구 결과, 이산화염소수와 UV-C 조사의 병합 처리는 샐러리와 체리의 저장 중 총 호기성균과 효모 및 곰팡이 수를 효과적으로 감소시키므로써 유통기한을 증대시킬 수 있는 효과적인 hurdle 기술이라고 판단된다.

## 요 약

신선편이 채소류 중 샐러리와 체리의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 50 ppm 이산화염소수와 10 kJ/m<sup>2</sup> 선량의 UV-C 조사와의 병합 처리에 따른 저장 중 미생물 수의 변화를 측정하였다. *E. coli* O157:H7로 접종된 샐러리와 체리의 경우, 이산화염소수와 UV-C 병합 처리구의 *E. coli* O157:H7 수가 대조구와 비교했을 때 각각 2.8, 3.0 log CFU/g의 감소효과를 나타냈다. 또한 접종하지 않은 샐러리와 체리의 총 호기성 균은 병합 처리로 각각 2.9, 1.8 log CFU/g이 감소

되었고, 효모 및 곰팡이도 1.8, 1.2 log CFU/g의 감소효과를 나타냈다. 따라서 본 연구결과, 50 ppm 이산화염소수와 10 kJ/m<sup>2</sup> UV-C 조사의 병합처리가 샐러리와 체리의 저장 중 오염될 수 있는 위해미생물 수 감소에 있어서 효과적인 살균 처리 기술이라고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2011년 충남대학교 연구비의 지원을 받아 이루어진 것으로 감사를 드립니다.

## 문 헌

- Chen Z, Zhu C, Zhang Y, Niu D, Du J. 2010. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Postharv Biol Technol* 58: 232-238.
- CDC. 2009. *Centers for Disease Control and Prevention. Surveillance for foodborne disease outbreaks-United States, 2006. Morb Mortal Wkly Rep* 58: 609-615.
- Bean NH, Griffin PM. 1990. Foodborne disease outbreak in the United States, 1973-1987: pathogens, vehicles, and trends. *J Food Prot* 53: 807-814.
- Beuchat LR. 1996. Pathogenic microorganism associated with fresh produce. *J Food Prot* 59: 204-216.
- Du J, Han Y, Linton RH. 2003. Efficacy of chlorine dioxide gas in reducing *Escherichia coli* O157:H7 on apple surfaces. *Food Microbiol* 20: 583-591.
- Lu Z, Yu Z, Gao X, Lu F, Zhang L. 2005. Preservation effects of gamma irradiation on fresh-cut celery. *J Food Eng* 67: 347-351.
- Trinetta V, Morgan MT, Linton RH. 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: 1009-1015.
- Kraybill HF. 1978. Origin, classification and distribution of chemicals in drinking water with an assessment of their carcinogenic potential. In *Water Chlorination*. Jolly RL, ed. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, USA. Vol 1, p 211-228.

9. Moore GS, Balabrese EJ, Dinardi SR, Ruthill RW. 1978. Potential health effect of chlorine dioxide as a disinfectant in potable water supplies. *Med Hypotheses* 4: 481-496.
10. Keskinen LA, Burke A, Annous BA. 2009. Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminated *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. *Int J Food Microbiol* 132: 134-140.
11. Mahmoud BSM, Linton RH. 2007. Inactivation kinetics of inoculated *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* on strawberries by chlorine dioxide gas. *Food Microbiol* 24: 736-744.
12. Mahmoud BSM, Vaidya NA, Corvalan CM, Linton RH. 2008. Inactivation kinetics of inoculated *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Poonna on whole cantaloupe by chlorine dioxide gas. *Food Microbiol* 25: 857-865.
13. Karabulut OA, Ilhan K, Arslan U, Vardar C. 2009. Evaluation of the use of chlorine dioxide by fogging for decreasing postharvest decay of fig. *Postharv Biol Technol* 52: 313-315.
14. Schenk M, Raffellini S, Guerrero S, Blanco GA, Alzamora SM. 2011. Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* by UV-C light: study of cell injury by flow cytometry. *LWT-Food Sci Technol* 44: 191-198.
15. Allende A, Artés F. 2003. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Res Int* 36: 739-746.
16. Artés-Hernández F, Robles PA, Gómez PA, Tomás-Callejas A, Artés F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of freshcut watermelon. *Postharv Biol Technol* 55: 114-120.
17. FDA. 2002. Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food. *Code of Federal Regulations* 21, Part 179.39.
18. Allende A, McEvoy JL, Luo Y, Artes F, Wang CY. 2006. Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. *Food Microbiol* 23: 241-249.
19. Artés-Hernández F, Escalona VH, Robles PA, Martínez-Hernández GB, Artés F. 2009. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *J Sci Food Agric* 89: 414-421.
20. Obande MA, Tucker GA, Shama G. 2011. Effect of pre-harvest UV-C treatment of tomatoes (*Aolanum lycopersicon* Mill.) on ripening and pathogen resistance. *Postharv Biol Technol* 62: 188-192.
21. Hadjok C, Mittal GS, Warriner K. 2008. Inactivation of human pathogens and spoilage bacteria on the surface and internalized within fresh produce by using a combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide. *J Appl Microbiol* 104: 1014-1024.
22. Kim JY, Kim HJ, Lim GO, Jang SA, Song KB. 2010. The effects of aqueous chlorine dioxide or fumaric acid treatment combined with UV-C on postharvest quality of 'Maehyang' strawberries. *Postharv Biol Technol* 56: 254-256.
23. APHA. 1995. *Standard methods for the examination of water and waste water*. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. Method 4-54.
24. López-Gálvez F, Gil MI, Truchado P, Selma MV, Allende A. 2010. Cross-contamination of fresh-cut lettuce after a short-term exposure during pre-washing cannot be controlled after subsequent washing with chlorine dioxide or sodium hypochlorite. *Food Microbiol* 27: 199-204.
25. Keskinen LA, Burke A, Annous BA. 2009. Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminate *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. *Int J Food Microbiol* 132: 134-140.
26. Sommers CH, Sites JE, Musgarove M. 2010. Ultraviolet light (254 nm) inactivation of pathogens on foods and stainless steel surfaces. *J Food Safety* 30: 470-479.
27. Guan W, Fan X, Yan R. 2012. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharv Biol Technol* 64: 119-125.
28. Huang TS, Xu C, Walker Ken, West P, Zhang S, Weese J. 2006. Decontamination efficacy of combined chlorine dioxide with ultrasonication on apples and lettuce. *J Food Sci* 71: M134-M139.
29. Selma MV, Allende A, López-Gálvez F, Conesa MA, Gill MI. 2008. Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry. *Food Microbiol* 25: 809-814.
30. Chen Z, Zhu C. 2011. Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). *Postharv Biol Technol* 61: 117-123.
31. Kim HJ, Song HJ, Song KB. 2011. Effect of combined treatment of aqueous chlorine dioxide with ultraviolet-C on the quality of red chicory and pak choi during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 245-252.
32. KFDA. 2011. *Korean Food Standards Codex*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea.
33. Wu VCH, Kim BC. 2007. Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries. *Food Microbiol* 24: 794-800.
34. Begum M, Hocking AD, Miskelly D. 2009. Inactivation of food spoilage fungi by ultra violet (UVC) irradiation. *Int J Food Microbiol* 129: 74-77.
35. Chun HH, Kim JY, Lee BD, Yu DJ, Song KB. 2010. Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. *Food Control* 21: 276-280.
36. Manzocco L, Pieve SD, Maifreni M. 2011. Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Inno Food Sci Emerg Technol* 12: 13-17.

(2011년 12월 19일 접수; 2012년 1월 28일 채택)