

이산화염소수와 UV-C 또는 전자빔 병합처리가 치콘의 저장 중 미생물 성장과 품질에 미치는 영향

강지훈¹ · 박지용² · 오덕환³ · 송경빈^{1*}

¹충남대학교 식품공학과

²연세대학교 생명공학과

³강원대학교 바이오산업공학부

Effects of Combined Treatment of Aqueous Chlorine Dioxide and UV-C or Electron Beam Irradiation on Microbial Growth and Quality in Chicon during Storage

Ji Hoon Kang¹, Jiyong Park², Deog Hwan Oh³, and Kyung Bin Song^{1*}

¹Dept. of Food Science & Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Dept. of Biotechnology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

³School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University, Gangwan-do 200-701, Korea

Abstract

The effects of combined treatment of aqueous ClO₂ and UV-C or electron beam irradiation on microbial growth and quality in chicon during storage at 4°C were investigated. Samples were treated separately with 50 ppm of ClO₂, 5 kJ/m² of UV-C, 2, 5, 7, and 10 kGy of electron beam irradiation, as well as a combination of ClO₂ and UV-C or 2 kGy of electron beam irradiation. The populations of total aerobic bacteria as well as yeast and molds in the chicon samples were determined following each treatment. The populations of total aerobic bacteria in the chicon samples decreased by 1.49~2.92 log CFU/g following combined treatment of ClO₂ and UV-C irradiation compared to the control, whereas the populations of yeast and molds decreased by 1.63~1.78 log CFU/g. On the contrary, following combined treatment of ClO₂ and electron beam irradiation, the populations of total aerobic bacteria as well as yeast and molds in the chicon samples were undetectable during storage. Color measurements indicated that Hunter L*, a*, and b* values were not significantly different among the treatments during storage. These results suggest that combined treatment of ClO₂ and electron beam irradiation can be useful for improving microbiological safety in chicon during storage.

Key words: chicon, combined treatment, ClO₂, UV-C, electron beam irradiation

서 론

현대인들의 식습관 변화와 더불어 편리성, 건강상의 이유로 최근 신선 채소류의 유통 및 섭취가 늘어나는 추세이다(1). 특히, 치콘은 치커리 뿌리로부터 생산된 것으로 인티빈을 함유하고 있기 때문에 소화촉진 등의 기능성을 가져 소비자의 수요가 늘고 있는 신선 채소이다(2,3). 이러한 신선 채소류는 주로 소비자가 따로 조리 과정 없이 바로 섭취할 수 있도록 가공, 포장되어 신선편이식품으로 판매되고 있으나 원료인 신선 채소의 생산, 유통 및 가공 중 가열처리를 하지 않기 때문에 미생물 오염이 발생할 가능성이 높다. 따라서 신선 채소에서의 미생물 오염은 식품의 안전성에 영향을 주기에, 신선 채소 수확 후 초기 미생물 수 감소를 위한 방안이 필요하다(4).

가열 공정을 거치지 않는 식품의 미생물학적 안전성 확보

를 위해 방사선 조사(5), 전해수(6), 염소(7) 등의 비가열 처리 방법이 널리 사용되고 있다. 비가열 처리 방법 중 화학적 처리인 이산화염소(ClO₂)는 기존에 널리 사용되어 왔던 염소와는 다르게 트리할로메탄과 같은 발암물질 등을 생성하지 않고 5배나 높은 살균력을 가지며, pH 변화와 상관없이 살균력이 유지되고 식품의 품질에도 큰 영향을 주지 않는다고 보고된 바 있다(8). 따라서 신선 채소 등의 미생물학적 안전 유지를 위해 이산화염소수가 사용되고 있다(9).

자외선(ultra-violet, UV)은 파장의 영역에 따라 UV-A(320~400 nm), UV-B(280~320 nm), UV-C(200~280 nm)로 구분되는데(10), 이 중 살균에 사용되는 파장은 UV-C이다(11). 특히 253.7 nm 파장의 UV-C가 미생물의 DNA에 손상을 주어 미생물을 사멸시키는 것으로 알려져 있다(12). 또한 온도와 수분에 의한 영향이 크지 않고 설치 및 조사비용이 저렴한 장점을 가지고 있어, 식품 표면의 살균 목적으로

*Corresponding author. E-mail: kbsong@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6723, Fax: 82-42-825-2664

로 미국 Food and Drug Administration(FDA)에서 사용이 허가되었으며(13), 다양한 과채류 표면의 미생물 오염 방지를 위해 사용되고 있는 살균 방법이다(10,14,15).

UV-C 조사와 마찬가지로 전자빔 조사도 식품의 미생물학적 안전성 향상을 위해 이용되고 있는 물리적 비가열처리 기술인데, 식품에 사용 가능한 방사선 에너지는 감마선, X선 및 전자선의 3가지가 대표적이다(16). 이 중 전자빔 조사는 감마선에 비해 투과력이 떨어지기는 하나, 살균에 필요한 조사선량을 얻기 위해 수초밖에 걸리지 않고, 조사선량의 조절 역시 용이하여 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다(17,18). 국제기구에서 승인된 전자빔의 조사선량은 10 kGy 이하인데, Bagorogozza 등(19)이 가금육에 전자선을 조사하여 살균 효과와 품질에 미치는 영향에 대하여 실험한 결과, 10 kGy 이하의 조사선량으로도 미생물의 효과적인 사멸이 가능함을 보여준 바 있다.

화학적 처리 방법인 이산화염소수나 UV-C 및 전자빔 조사 같은 물리적 비가열 처리 방법은 식품의 미생물학적 안전성을 높이기 위해 사용되어 왔지만 단일처리에 의한 연구만이 주로 진행되어 왔고, 이산화염소수와 UV-C 또는 전자빔 조사의 병합처리를 신선 채소에 적용한 연구 보고는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 재배된 치곤에 이산화염소수와 UV-C 또는 전자빔 조사의 단일처리 및 병합처리 방법에 따른 미생물 감소 효과와 품질 변화를 비교 분석함으로써 효과적인 병합처리 기술을 개발하고자 연구하였다.

재료 및 방법

실험 재료 및 저장 조건

본 연구에 사용된 치곤 시료는 대전에 위치한 대형마트에서 시판되고 있는 것을 실험 당일 구입하여 실험을 하였다. 치곤은 이산화염소수, UV-C 또는 전자빔 조사 단독처리 및 병합처리를 하였고, 처리 후 시료는 $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 11일 동안 low density polyethylene(LDPE) bag(21 cm \times 29 cm, 두께: 0.13 mm)에 처리구에 따라 개별적으로 포장하여 저장하였다.

이산화염소수 및 물 침지 처리

치곤을 물, 50 ppm 이산화염소수에 각각 5분간 침지하였고, 침지 처리 후 clean bench에서 2시간 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 제거하였다. 이산화염소 용액은 chlorine dioxide generator system(CH₂O Inc., Olympia, WA, USA)을 이용하여 농도가 50 ppm이 되게 제조하였으며, 농도는 iodometry 방법으로 측정하였다(20).

UV-C 조사

UV-C 조사를 위해 제작된 UV chamber(88 cm \times 55 cm \times 47 cm)의 상, 하부에 253.7 nm 파장의 unfiltered germi-

cidal 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(10 W/m²). 사용된 UV-C 조사량은 선행연구 결과를 바탕으로 5 kJ/m²로 설정하였고(21), 조사시간은 8분 20초이었다. 또한, 미생물의 photoreactivation을 최소화하기 위해 암실 조건에서 조사하였다.

전자빔 조사

전자빔 조사는 electron-beam accelerator(Model ELV-4, 2.5 MeV, Eb-Tech, Daejeon, Korea)를 이용하였다. LDPE bag에 치곤(두께: 0.5 ± 0.2 mm)을 넣고, 가속 전류 4.2 mA, beam dimension(60 cm \times 60 cm), velocity 25 m/min로 총 흡수선량이 2~10 kGy가 되도록 조사하였다.

이산화염소수와 UV-C 병합처리

이산화염소수와 UV-C의 병합처리는 시료를 먼저 50 ppm 이산화염소수에 5분간 침지한 후, 5 kJ/m² UV-C 조사를 연속적으로 처리하였다.

이산화염소수와 전자빔 병합처리

이산화염소수와 전자빔의 병합처리는 시료를 먼저 50 ppm 이산화염소수에 5분간 침지한 후, 2~10 kGy 전자빔 조사를 연속적으로 처리하였다.

미생물 생육 측정

치곤을 20 g과 멸균 처리한 0.1% 펩톤수 180 mL를 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화시켰다. 균질화된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고, 0.1% 멸균 펩톤수로 10배수 연속 희석한 후 각각의 배지에 분주하여 수행하였다. 총 호기성 세균은 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2일간 배양하고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co.)를 사용하여 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 3일간 배양 후 형성된 colony를 계수하였다. 검출된 미생물 수는 시료 g당 log colony forming unit(CFU)로 나타냈고 3회 반복하여 측정하였다.

색도 측정

색도는 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 Hunter L*, a*, b* 값을 각 시료의 다른 표면을 반복 측정한 뒤 평균값으로 나타내었다. 사용된 표준 백판의 L, a, b 값은 각각 L=96.69, a=-0.10, b=2.03이었다.

관능검사

시료의 병합 및 단일처리에 따른 저장기간 중 품질 변화를 분석하기 위해 훈련된 panel 요원 8명으로 시료의 외관적 상태(appearance), 냄새(odor) 및 종합적 기호도(overall ac-

ceptability)에 대한 관능검사를 실시하였다. 이때 각 처리된 시료에 대한 평점은 선정된 기준에 의거한 9점 기호 척도법(9~8점, 매우 좋음; 7~6점, 좋음; 5~4점, 보통; 3~2점, 나쁨; 1점, 매우 나쁨)으로 평가하였다.

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 분산분석(analysis of variance, ANOVA) 후 Duncan's multiple range test로 다중비교를 실시하였다.

결과 및 고찰

저장 중 미생물 수 측정

치콘 시료에 이산화염소수, UV-C, 전자빔 단일처리와 이산화염소수와 UV-C 또는 전자빔 조사 병합처리를 한 후, 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화를 측정하였다(Table 1, 2). 치콘의 저장 초기 대조구의 총 호기성 세균은 5.86 log CFU/g이었고, 물에 침지하여 세척한 처리구는 4.88 log CFU/g이었다(Table 1). 이러한 결과는 셀러리와 체리를 단순 물 침지 처리하였을 때 초기 미생물 수가 각각 0.83, 0.60 log CFU/g 감소했다는 보고(22)와 유사한 결과로, 물 침지에 의한 세척만으로는 미생물 수 감소가 충분하지 않음을 보여준다.

이산화염소수 처리구의 경우 저장 0일차, 3.32 log CFU/g을 나타내어, 대조구와 비교했을 때 2.54 log CFU/g 미생물 수 감소로 물 처리구보다 1.56 log CFU/g만큼 더 큰 미생물 수 감소를 보였다(Table 1). 이러한 연구 결과는 이산화염소수 처리가 물 침지에 따른 단순 세척 처리보다 미생물 수 감소 측면에 있어서 보다 효과적인 방법인 것을 보여준다. 이산화염소수 처리구의 미생물 수 감소 결과는, Kim 등(1)이 고추에 50 ppm 이산화염소수 처리 후 대조구와 비교하였을 때 총 호기성 세균을 1.52 log CFU/g 감소시켰다는 결과

와 유사하였다. 이산화염소수와 UV-C 병합처리구의 경우, 총 호기성 세균 수가 2.94 log CFU/g으로 대조구에 비해 2.92 log CFU/g의 감소를 나타내어 물 처리구보다 1.94 log CFU/g의 더 큰 감균효과를 보였다. 이는 대향 딸기에 이산화염소수와 UV-C 조사의 병합처리로 높은 미생물 감균 효과를 보았다는 이전 보고(23)와도 유사하다. 한편, 이와는 대조적으로 이산화염소수와 2 kGy 전자빔 병합처리구에서는 미생물이 검출되지 않았는데, 이러한 결과는 단일처리에 있어서도 전자빔 조사가 다른 처리구와 비교해 가장 큰 감균 효과를 보였기에(Table 1), 전자빔 조사 처리를 이산화염소수와 병합처리 시, 가장 큰 미생물 감소 효과를 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

UV-C 단일처리구의 경우 저장 초기 4.33 log CFU/g을 나타내어, 대조구와 비교했을 때 1.53 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였다(Table 1). Fonseca와 Rushing(24)이 수박에 4.1~6.9 kJ/m²의 UV-C 조사처리로 미생물을 1~1.5 log CFU/g 감소시켰다는 결과는 본 연구에서의 UV-C 처리 결과와 비교했을 때 유사한 효과를 나타내었다. 반면에, 2 kGy 전자빔 처리구의 경우, 다른 단일 처리구와 비교했을 때 2.61 log CFU/g의 미생물 수 감소로 가장 큰 감균 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 가공된 햄에 1 kGy의 전자빔 조사가 총 호기성 세균을 1.5~2.5 log CFU/g 감소시켰다는 보고와 유사하다(25). 일반적으로 전자빔 조사는 투과력이 낮아 미생물의 사멸 또는 생장 억제에 효과가 떨어지는 것으로 보고되었지만(26), 본 연구에서는 전자빔 조사가 미생물 생육 및 성장을 억제하는데 효과적인 것으로 확인되었다. 특히, 2 kGy의 조사선량을 제외한 5, 7, 10 kGy 조사선량에서는 총 호기성 세균이 검출되지 않았다(Table 1). 이와 같은 전자빔 조사에 의한 미생물 불활성화 기작은 전자빔 처리가 미생물의 DNA에 손상을 끼치고, 또한 세포의 항상성에 불균형을 초래하기 때문이라고 보고된 바 있다(27-29). 따라서 전자빔 조사를 통해서 신선채소에서의 효과적인 미생물 감균 효과를 얻을 것으로 판단된다.

비가열 처리 후 치콘의 총 호기성 세균의 감균 효과는 저

Table 1. Change in the populations of total aerobic bacteria in chicon samples during storage at 4°C (log CFU/g)

Treatment ¹⁾	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	5.86 ± 0.19 ^{Aa2)}	5.70 ± 0.07 ^{Aab}	5.69 ± 0.06 ^{Aabc}	5.54 ± 0.14 ^{Abc}	5.50 ± 0.21 ^{Ac}
Water	4.88 ± 0.13 ^{Bb}	5.13 ± 0.20 ^{Ba}	5.19 ± 0.11 ^{Ba}	5.22 ± 0.02 ^{Ba}	5.26 ± 0.04 ^{Ba}
UV-C	4.33 ± 0.08 ^{Cc}	4.89 ± 0.13 ^{Cb}	4.90 ± 0.14 ^{Cb}	5.01 ± 0.13 ^{Cab}	5.10 ± 0.08 ^{Ca}
ClO ₂	3.32 ± 0.19 ^{Dc}	4.27 ± 0.03 ^{Db}	4.14 ± 0.12 ^{Dab}	4.30 ± 0.02 ^{Dab}	4.33 ± 0.04 ^{Da}
ClO ₂ +UV-C	2.94 ± 0.12 ^{Ed}	3.85 ± 0.15 ^{Ec}	3.75 ± 0.05 ^{Eabc}	3.99 ± 0.04 ^{Eab}	4.01 ± 0.08 ^{Ea}
E-beam (2 kGy)	3.25 ± 0.15 ^{Db}	2.95 ± 0.05 ^{Fc}	3.28 ± 0.13 ^{Fab}	3.34 ± 0.18 ^{Fab}	3.46 ± 0.11 ^{Fa}
E-beam (5, 7, 10 kGy)	N/D ³⁾	N/D	N/D	N/D	N/D
ClO ₂ +E-beam (2 kGy)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

¹⁾Control, No treatment; ClO₂, 50 ppm aqueous chlorine dioxide treatment; UV-C, 5 kJ/m² treatment; ClO₂+UV-C, Combined treatment; E-beam, Electron beam irradiation; ClO₂+E-beam, Combined treatment.

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

³⁾N/D: Not detected.

Table 2. Change in the populations of yeast and molds in chicon samples during storage at 4°C (log CFU/g)

Treatment	Storage time (days)				
	0	2	5	8	11
Control	4.87±0.15 ^{Aa1)}	4.86±0.07 ^{Aa}	4.85±0.10 ^{Aa}	4.84±0.11 ^{Aa}	4.85±0.09 ^{Aa}
Water	4.56±0.48 ^{Aa}	4.68±0.11 ^{Aa}	4.66±0.07 ^{Ba}	4.66±0.04 ^{Ba}	4.64±0.03 ^{Ba}
UV-C	3.93±0.29 ^{Bb}	4.24±0.22 ^{Bab}	4.24±0.04 ^{Cab}	4.25±0.05 ^{Cab}	4.29±0.17 ^{Ca}
ClO ₂	3.36±0.32 ^{Ca}	3.45±0.19 ^{Ca}	3.38±0.16 ^{Da}	3.39±0.12 ^{Da}	3.41±0.10 ^{Da}
ClO ₂ +UV-C	3.09±0.14 ^{Ca}	3.24±0.21 ^{Ca}	3.14±0.02 ^{Ea}	3.18±0.03 ^{Ea}	3.22±0.15 ^{Ea}
E-beam (2, 5, 7, 10 kGy)	N/D ²⁾	N/D	N/D	N/D	N/D
ClO ₂ +E-beam (2 kGy)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

¹⁾Any means in the same column (A-E) or row (a,b) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

²⁾N/D: Not detected.

장 중에도 지속되었는데, 저장 8일 후 대조구의 미생물 수가 5.54 log CFU/g을 나타낸 반면에 이산화염소수와 UV-C 및 2 kGy 전자빔 단일처리구는 4.30, 5.01, 3.34 log CFU/g을 나타내어 1.14, 0.53, 2.20 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 이산화염소수와 UV-C 병합 처리구는 3.99 log CFU/g으로 1.55 log CFU/g의 유의적인 미생물 수 감소를 나타냈다. 2 kGy의 조사선량을 제외한 나머지 5, 7, 10 kGy 전자빔 단일 처리구의 경우에도 저장 초기와 마찬가지로 미생물이 검출되지 않는 것을 확인하였다. 또한, 이산화염소수와 2 kGy 전자빔 병합처리구 역시 저장기간 동안 미생물은 검출되지 않았다. 이러한 결과로부터 저장기간 동안, 이산화염소수와 UV-C 병합처리구보다는 5 kGy 이상의 전자빔 단일처리나 이산화염소수와 2 kGy 전자빔 병합처리구가 치콘의 미생물학적 안전성을 확보할 수 있는 것을 시사한다.

치콘의 저장 중 효모 및 곰팡이 수 경우에도 총 호기성 세균의 결과와 유사한 경향을 나타냈다(Table 2). 치콘의 저장 초기 대조구의 경우 4.87 log CFU/g이었고, 물 침지 처리구는 4.56 log CFU/g으로 0.31 log CFU/g의 감소를 보였다. 이산화염소수 단일 처리와 이산화염소수와 UV-C 병합처리구는 3.36, 3.09 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 각각 1.51, 1.78 log CFU/g의 감균효과를 나타내어 물 처리구보다 1.20, 1.47 log CFU/g의 더 큰 미생물 감균 효과를 확인할 수 있었다. 특히, 이산화염소수와 2 kGy 전자빔 병합처리구는 11일간의 저장기간 동안에 미생물이 검출되지 않았다(Table 2). UV-C 처리구의 경우 저장 초기, 3.93 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 0.94 log CFU/g의 감균효과를 나타낸 반면에, 전자빔 단일처리의 경우 모든 조사선량에서 미생물이 검출되지 않았다. 이러한 결과는 로터스 씨앗에 7.5 kGy의 전자빔 조사 후, 효모 및 곰팡이를 완전히 사멸했다고 보고한 문헌(30)과 유사한 결과이다.

본 연구에서는 전자빔의 경우 2 kGy에서의 단일 처리만으로도 이산화염소수나 UV-C보다 강력한 살균력을 확보하는 것을 확인하였다(Table 1, 2). 전자빔 조사는 식품에 허용된 범위가 10 kGy 이하이기 때문에 본 연구를 통해 2, 5, 7, 10 kGy의 전자빔 조사 범위에 따른 미생물 저감효과를 비교하고자 하였다. 실험 결과, 2 kGy의 저선량에서도 미생물

저감효과가 다른 비가열 처리보다 높은 것을 확인할 수 있었고, 본 연구에서는 이산화염소수와 병합처리 시 2 kGy 전자빔 조사로도 미생물의 완전 사멸을 확인할 수 있었다(Table 1, 2). 또한, 이산화염소수의 경우 단일 처리만으로는 저장기간 동안 높은 살균 효과를 유지하는 것이 어렵기 때문에 UV-C나 전자빔과 병합처리가 필요하다고 판단했는데, 그 결과 UV-C보다는 전자빔과 병합처리 시 미생물 감소 효과에서 보다 효과적인 것을 확인할 수 있었다.

UV-C 조사가 표면 살균으로 고체의 경우 표면에서만, 액체의 경우는 일정한 두께 이하로만 살균소독이 제한되는 것으로 알려져 있는 반면에(31,32), 전자빔 조사는 UV-C와는 달리 강한 에너지로 투과력을 가지기 때문에 이산화염소수와 병합처리 시 전자빔이 더 강한 살균력을 갖는 것이라고 판단된다(33).

따라서 본 연구 결과로부터 이산화염소수와 UV-C의 병합처리보다는 전자빔과의 병합처리가 치콘뿐만 아니라 신선 채소류의 초기 미생물 수를 더 효과적으로 감소시키고, 저장기간 동안 미생물의 생육을 저해함으로써 미생물학적 안전성을 확보할 수 있는 효율적인 비가열처리 기술이라고 판단된다.

색도 변화

이산화염소수와 UV-C, 전자빔 단일 또는 병합처리 된 시료의 색도는 색차계를 이용하여 측정하였고, Hunter L^* , a^* , b^* 값은 Table 3와 같다. 치콘의 Hunter L^* 값은 대조구를 비롯한 모든 처리구가 20 이상의 값으로 처리구들 간의 유의적인 차이는 없었으며, 11일간의 저장기간 동안에도 대조구 및 처리구 간에 차이를 나타내지 않았다. a^* , b^* 값 역시 L^* 값과 마찬가지로 처리구 간의 차이가 없었고, 저장 중에도 유의적 차이는 보이지 않았다. 이러한 결과를 통해 이산화염소수, UV-C, 전자빔 단일처리 및 이들의 병합처리는 치콘의 색도 변화에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각된다. 이러한 결과는 딸기에 이산화염소수, UV-C 및 이들의 병합처리를 한 결과, 저장기간 동안 L^* , a^* , b^* 값의 차이가 나타나지 않았다는 이전의 연구결과(21)와 유사하다. 따라서 본 연구에서 사용된 비가열 처리는 치콘의 외관적 색도 품질 측면에서 부정적인 영향을 끼치지 않은 것으로 판단된다.

Table 3. Change in Hunter color values in chicon samples during storage at 4°C

Color parameter	Treatment	Storage time (days)				
		0	2	5	8	11
L^*	Control	20.05±0.82 ¹⁾	20.68±0.18	20.77±0.59	20.75±0.82	20.84±0.20
	Water	20.20±0.81	20.68±0.24	20.75±0.37	20.34±2.10	20.46±0.95
	UV-C	20.77±0.27	20.92±0.39	20.96±1.51	20.99±0.42	20.82±0.52
	ClO ₂	20.13±0.75	20.57±0.19	20.64±0.59	20.68±0.67	20.69±1.74
	ClO ₂ +UV-C	20.10±0.77	20.61±0.68	20.89±0.52	20.80±0.43	20.73±0.41
	E-beam 2 kGy	20.62±0.18	20.77±0.84	20.86±1.42	20.86±0.63	20.81±0.52
	5 kGy	20.21±0.44	20.39±0.23	20.64±0.37	20.90±0.39	20.95±0.06
	7 kGy	20.60±0.38	20.78±0.51	20.83±0.34	20.88±0.77	20.81±0.19
	10 kGy	20.51±0.31	20.91±0.34	20.86±0.41	20.87±0.53	20.88±0.09
	ClO ₂ +2 kGy	20.33±0.80	20.51±0.48	20.64±0.11	20.74±0.21	20.77±0.21
a^*	Control	3.79±0.92	3.75±0.06	3.45±0.13	3.52±0.16	3.58±0.10
	Water	3.66±0.81	3.59±0.29	3.65±0.15	3.67±0.13	3.57±0.19
	UV-C	3.49±0.05	3.46±0.26	3.54±0.22	3.43±0.16	3.63±0.16
	ClO ₂	3.44±0.19	3.54±0.31	3.51±0.28	3.45±0.28	3.47±0.26
	ClO ₂ +UV-C	3.69±0.41	3.51±0.32	3.55±0.40	3.54±0.39	3.63±0.09
	E-beam 2 kGy	3.60±0.40	3.58±0.08	3.57±0.33	3.54±0.29	3.57±0.12
	5 kGy	3.59±0.35	3.55±0.26	3.59±0.20	3.59±0.15	3.63±0.08
	7 kGy	3.52±0.26	3.54±0.07	3.55±0.16	3.54±0.18	3.60±0.11
	10 kGy	3.69±0.47	3.59±0.12	3.51±0.10	3.53±0.19	3.59±0.12
	ClO ₂ +2 kGy	3.64±0.32	3.66±0.16	3.61±0.18	3.68±0.20	3.66±0.15
b^*	Control	0.92±0.19	0.98±0.14	1.03±0.07	1.01±0.08	1.06±0.06
	Water	1.08±0.05	1.07±0.11	1.05±0.22	1.00±0.10	1.01±0.10
	UV-C	1.01±0.13	0.98±0.22	0.98±0.04	1.04±0.06	1.02±0.05
	ClO ₂	0.99±0.17	1.04±0.60	0.98±0.08	1.05±0.05	0.99±0.03
	ClO ₂ +UV-C	0.99±0.14	1.06±0.05	1.02±0.13	1.01±0.22	1.02±0.04
	E-beam 2 kGy	0.92±0.03	1.08±0.01	1.05±0.21	1.04±0.12	1.04±0.12
	5 kGy	0.98±0.08	1.00±0.05	1.01±0.06	1.03±0.06	0.98±0.06
	7 kGy	1.02±0.06	1.03±0.08	1.01±0.07	1.00±0.06	1.04±0.04
	10 kGy	0.99±0.06	1.00±0.07	0.98±0.07	0.97±0.06	1.00±0.07
	ClO ₂ +2 kGy	0.98±0.16	0.97±0.05	0.98±0.03	1.00±0.04	1.01±0.04

¹⁾Any means in the same column or row are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

관능적 품질 검사

치콘의 비가열처리 후 저장 중 외관적 상태, 향 및 종합적 기호도를 9점 기호척도법으로 조사한 관능적 품질 특성에 대한 결과는 Table 4와 같다. 각 처리 직후 모든 처리구는 9점의 점수로 처리구 간에 관능적 품질 차이를 나타내지 않았다. 그러나 치콘의 관능적 품질에 대한 점수는 저장기간이 경과함에 따라 대조구 및 모든 처리구에서 전체적으로 낮아지는 경향을 나타냈다. 치콘의 외관적 상태의 경우 저장 11일 후, 5점 이상의 점수로 대조구와 비교하여 처리구 간의 유의적 차이가 없었다. 또한, 향과 종합적 기호도 역시 외관적 상태와 마찬가지로 5점 이상의 점수로 대조구와 처리구 간의 차이는 나타나지 않았다. 이러한 결과를 통해, 치콘에 적용된 이산화염소수, UV-C, 전자빔 단일 및 병합 처리는 대조구와 비교하여 외관적 품질에 큰 영향을 미치지 않는다고 판단된다. Allende와 Artès(34)가 적상추에 UV-C 처리 후 관능평가를 한 결과, 대조구와 비교하여 유의적인 차이가 나타나지 않았다는 결과와 Ko 등(35)이 건조 오징어에 2~16 kGy 범위의 전자빔 조사를 실시한 결과, 색, 냄새, 맛 및 종합적 기호도면에서 처리구 간의 유의적 차이가 없다고 보고한 결과는 본 실험의 결과와 유사하였다.

따라서 본 연구에 사용된 이산화염소수와 UV-C 또는 전자빔의 병합처리가 신선 채소인 치콘의 저장 중에 품질을 유지하면서 미생물 오염의 위험을 감소시킬 수 있는 효과적인 처리기술이라고 판단된다.

요 약

치콘의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 50 ppm 이산화염소수와 5 kJ/m² UV-C 및 2 kGy 전자빔 조사 병합처리에 따른 저장 중 미생물 수 및 품질 변화를 4±1°C에서 11일 동안 저장하면서 측정하였다. 이산화염소수와 UV-C 병합처리 후 치콘의 총 호기성 세균 수는 대조구와 비교하여 1.49~2.92 log CFU/g, 효모 및 곰팡이는 1.63~1.78 log CFU/g의 감소를 보였다. 반면에, 이산화염소수와 2 kGy 전자빔 병합처리구의 경우 총 호기성 세균은 저장기간 동안 검출되지 않았으며, 효모 및 곰팡이 역시 11일 간의 저장기간 동안 나타나지 않았다. 이산화염소수와 전자빔의 병합처리는 대조구와 비교하여 치콘의 저장 중 Hunter 색도 값에 부정적 영향을 미치지 않았다. 관능검사에 있어서도 저장기간 동안 대조구와 비교 시 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 4. Sensory evaluation in chicon samples during storage at 4°C

Sensory attributes	Treatment	Storage time (days)				
		0	2	5	8	11
Appearance	Control	9.00±0.00 ^{Aa1)}	7.50±0.53 ^{BCb}	7.25±0.71 ^{ABCb}	6.38±0.74 ^{ABc}	5.38±0.92 ^{ABd}
	Water	9.00±0.00 ^{Aa}	7.38±0.52 ^{Cb}	6.75±0.46 ^{Cbc}	6.13±0.83 ^{Bc}	5.38±0.92 ^{ABd}
	UV-C	9.00±0.00 ^{Aa}	7.88±0.35 ^{ABCb}	7.50±0.53 ^{ABCb}	6.38±0.92 ^{ABc}	5.38±0.74 ^{ABd}
	ClO ₂	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.00 ^{ABb}	7.75±0.46 ^{ABbc}	7.13±0.83 ^{Ac}	6.25±1.28 ^{Ad}
	ClO ₂ +UV-C	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.00 ^{ABb}	7.88±0.35 ^{Ab}	7.00±0.76 ^{ABc}	5.75±1.16 ^{ABd}
	E-beam 2 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{Ab}	7.38±0.74 ^{ABCbc}	6.63±0.92 ^{ABc}	6.13±1.46 ^{ABd}
	5 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.25±0.46 ^{Ab}	7.63±0.74 ^{ABb}	6.75±0.71 ^{ABc}	5.88±0.64 ^{ABd}
	7 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	7.88±0.64 ^{ABCb}	7.38±0.74 ^{ABCb}	6.75±0.71 ^{ABc}	5.88±0.64 ^{ABd}
	10 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	7.75±0.71 ^{ABCb}	7.13±0.99 ^{ABCb}	6.25±0.71 ^{ABc}	5.50±0.53 ^{ABd}
	ClO ₂ +2 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{Ab}	7.38±0.74 ^{ABCbc}	6.75±0.71 ^{ABc}	5.88±0.64 ^{ABd}
Odor	Control	9.00±0.00 ^{Aa}	7.63±0.74 ^{BCb}	7.25±0.71 ^{Ab}	6.50±0.93 ^{Ac}	5.50±1.20 ^{Ad}
	Water	9.00±0.00 ^{Aa}	7.38±0.52 ^{Cb}	6.88±0.64 ^{ABc}	6.63±1.06 ^{Ac}	6.00±1.31 ^{Ad}
	UV-C	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.53 ^{ABb}	7.25±0.71 ^{Abc}	6.88±0.83 ^{Ac}	5.88±1.13 ^{Ad}
	ClO ₂	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.00 ^{ABb}	7.50±0.76 ^{Abc}	7.00±0.93 ^{Ac}	6.50±1.20 ^{Ad}
	ClO ₂ +UV-C	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{ABb}	7.50±0.76 ^{Abc}	7.13±0.83 ^{Ac}	6.50±1.07 ^{Ad}
	E-beam 2 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{ABb}	7.38±0.74 ^{Abc}	7.00±0.76 ^{Ac}	6.38±1.06 ^{Ad}
	5 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{ABb}	7.63±0.74 ^{Abc}	6.63±0.74 ^{Ac}	5.63±0.74 ^{Ad}
	7 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.53 ^{ABb}	7.50±0.76 ^{Abc}	6.63±0.74 ^{Ac}	5.63±0.74 ^{Ad}
	10 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.76 ^{ABb}	7.13±0.99 ^{Abc}	6.38±0.52 ^{Ac}	5.50±0.53 ^{Ad}
	ClO ₂ +2 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{ABb}	7.50±0.76 ^{Abc}	6.63±0.74 ^{Ac}	5.63±0.74 ^{Ad}
Overall acceptability	Control	9.00±0.00 ^{Aa}	7.56±0.62 ^{BCb}	7.25±0.71 ^{ABb}	6.38±0.74 ^{ABc}	5.25±1.16 ^{Bd}
	Water	9.00±0.00 ^{Aa}	7.25±0.46 ^{Cb}	6.75±0.46 ^{Bbc}	6.25±0.71 ^{ABc}	5.25±1.04 ^{Bd}
	UV-C	9.00±0.00 ^{Aa}	7.88±0.35 ^{ABb}	7.38±0.74 ^{ABb}	6.50±0.93 ^{ABc}	5.13±0.99 ^{Bd}
	ClO ₂	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.00 ^{ABb}	7.63±0.52 ^{Abc}	6.88±0.83 ^{ABc}	6.38±1.30 ^{Ad}
	ClO ₂ +UV-C	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.00 ^{ABb}	7.88±0.35 ^{Ab}	7.13±0.64 ^{Ac}	6.13±1.13 ^{ABd}
	E-beam 2 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{Ab}	7.50±0.53 ^{ABbc}	6.75±0.89 ^{ABc}	6.00±1.41 ^{ABd}
	5 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{Ab}	7.63±0.74 ^{Abc}	6.75±0.71 ^{ABc}	6.00±0.53 ^{ABd}
	7 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	7.88±0.64 ^{ABb}	7.38±0.74 ^{ABb}	6.75±0.71 ^{ABc}	6.00±0.53 ^{ABd}
	10 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	7.75±0.71 ^{ABb}	7.13±0.99 ^{ABb}	6.25±0.89 ^{ABc}	5.25±0.71 ^{Bd}
	ClO ₂ +2 kGy	9.00±0.00 ^{Aa}	8.13±0.35 ^{Ab}	7.38±0.74 ^{ABbc}	6.88±0.64 ^{ABc}	5.75±0.71 ^{ABd}

¹⁾Any means in the same column (A-C) or row (a-d) followed by different letters are significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

따라서 본 연구결과, 이산화염소수와 전자빔 조사의 병합처리가 치콘의 저장 중 오염될 수 있는 위해미생물의 감소와 외관적 품질유지에 효과적인 살균처리 기술이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원의 지원을 받아 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

문헌

- Kim MH, Kim YJ, Kim KS, Song YB, Seo WJ, Song KB. 2009. Microbial change in hot peppers, ginger, and carrots treated with aqueous chlorine dioxide or fumaric acid. *Korean J Food Preserv* 16: 1013-1017.
- Lee KJ, Park MH, Seo HT, Park YH, Kwon CJ, Lim SH, Kim KH, Jeon SJ, Won JH. 2009. Screening of biological activities of ethanol extracts from several varieties of endives. *Korean J Food Preserv* 16: 1008-1012.
- Kim TY, Yoon YJ, Lee KW. 1978. Studies on the constituents of the chicory root. *Korean J Food Sci Technol* 10: 258-262.
- 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.
- Nithenge AK, Weese JS, Carter M, Wei CI, Huang TS. 2007. Efficacy of gamma radiation and aqueous chlorine on *Escherichia coli* O157:H7 in hydroponically grown lettuce plants. *J Food Prot* 70: 748-752.
- Guentzel JL, Liang Lam K, Callan MA, Emmons SA, Dunham VL. 2008. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiol* 25: 36-41.
- Beuchat LR, Adler BB, Lang MM. 2004. Efficacy of chlorine and peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on iceberg and romaine lettuce using simulated commercial processing conditions. *J Food Prot* 67: 1238-1242.
- Kim YJ, Kim MH, Song KB. 2009. Efficacy of aqueous chlorine dioxide and fumaric acid for inactivating pre-existing microorganisms and *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on broccoli sprouts. *Food Control* 20: 1002-1005.
- 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.
- 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.
11. 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.
 12. Artés-Hernández F, Robles PA, Gómez PA, Tomás-Callejas A, Artés F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol Technol* 55: 114-120.
 13. FDA. 2002. *Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food*. Code of Federal regulations, 21 Part 179. 39.
 14. 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.
 15. Obande MA, Tucker GA, Shama G. 2011. Effect of pre-harvest UV-C treatment of tomatoes (*Solanum lycopersicon* Mill.) on ripening and pathogen resistance. *Postharvest Biol Technol* 62: 188-192.
 16. Jongen Y, Abs M, Genin F, Nguyen A, Capdevila JM, Defrise D. 1993. The rhodotron, a new 10-MeV, 100 kW, cw metric wave electron accelerator. *Nucl Instrum Methods Phys Res* 79: 865-870.
 17. Ito H, Islam S. 1994. Effect of dose rate on inactivation of microorganism in spices by electro-beams and gamma-rays irradiation. *Radiat Phys Chem* 43: 545-550.
 18. Lee MK, Lee MH, Kwon JH. 1998. Sterilizing effect of electron beam on ginseng powder. *Korean J Food Sci Technol* 30: 1362-1366.
 19. Bagorogoza K, Bowers J, Okot-Kotber M. 2001. The effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the quality of intact chill-stored turkey breast. *J Food Sci* 66: 367-372.
 20. APHA. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. Method 4-54.
 21. Kim JY, Kim HJ, Lim GO, Jang SA, Song KB. 2010. Effect of combined treatment of ultraviolet-C with aqueous chlorine dioxide of fumaric acid on the postharvest quality of strawberry fruit "Flamengo" during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 138-145.
 22. Song HJ, Chun HH, Jo WS, Song KB. 2012. Effect of aqueous chlorine dioxide and UV-C irradiation on decontamination and growth of microbes during chilled storage of celery and cherries. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 402-407.
 23. 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 'Mae-hyang' strawberries. *Postharvest Biol Technol* 56: 254-256.
 24. Fonseca JM, Rushing JW. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol Technol* 40: 256-261.
 25. Aguirre JS, Rodríguez MR, García de Fernando GD. 2011. Effect of electron beam irradiation on the variability in survivor number and duration of lag phase of four food-borne organisms. *Int J Food Microbiol* 149: 236-246.
 26. Hayashi T. 1991. Comparative effectiveness of gamma-rays and electron beams in food irradiation. In *Food Irradiation*. Thorne S, ed. Elsevier Applied Science, London and New York. p 169-206.
 27. Fielding LM, Cook PE, Grandison AS. 1997. The effect of electron beam irradiation, combined with acetic acid, on the survival and recovery of *Escherichia coli* and *Lactobacillus curvatus*. *Int J Food Microbiol* 35: 259-265.
 28. Clack JP. 2002. Processing papers and exhibits-electronic irradiation system. *Food Technol* 56: 101-110.
 29. Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial growth and qualities of chicken breast. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 48: 120-127.
 30. Bhat R, Sridhar KR, Karim AA. 2010. Microbial quality evaluation and effective decontamination of nutraceutically valued lotus seeds by electron beams and gamma irradiation. *Radiat Phys Chem* 79: 976-981.
 31. Mok C, Lee N. 2009. Ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* in stainless steel cups. *Food Eng Prog* 13: 122-129.
 32. Bintsis T, Litopoulou-Tzanetaki E, Robinson RK. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry—a critical review. *J Sci Food Agric* 80: 637-645.
 33. Cho JD, Lee JS, Kim YB, Hong JW. 2005. Synthesis and comparison of EB- and UV-curable monomers for anti-fogging coatings. *J Korean Ind Eng Chem* 16: 449-455.
 34. Allende A, Artés F. 2003. Combined ultraviolet-C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce. *LWT-Food Sci Technol* 36: 779-786.
 35. Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and qualities of sliced dried squid. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 433-437.

(2012년 7월 25일 접수; 2012년 8월 30일 채택)