

수확 후 산채류의 미생물 제어를 위한 이산화염소수와 유기산 및 Blanching 병합 처리

강지훈¹ · 박신민¹ · 김현규¹ · 손현정¹ · 이가연¹ · 강길남² · 박종태¹ · 송경빈¹

¹충남대학교 식품공학과

²충청남도산림환경연구소

Combined Treatment of Aqueous Chlorine Dioxide, Organic Acid, and Blanching for Microbial Decontamination of Wild Vegetables after Harvest

Ji Hoon Kang¹, Shin Min Park¹, Hyun Gyu Kim¹, Hyun Jung Son¹, Ka Yeon Lee¹,
Kil-Nam Kang², Jong Tae Park¹, and Kyung Bin Song¹

¹Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

²Chungcheongnam-do Forest Environment Research Institute

ABSTRACT To improve the microbiological safety of wild vegetables after harvest, *Aster scaber* and *Cirsium setidens* Nakai were treated with combinations of 50 ppm aqueous chlorine dioxide (ClO₂)/0.5% citric acid or fumaric acid, and 50 ppm ClO₂/0.5% fumaric acid/blanching at 90°C for 2 min. Combined treatment of 50 ppm ClO₂ and 0.5% citric acid reduced populations of total aerobic bacteria, yeast, and molds in *Aster scaber* and *Cirsium setidens* Nakai by 2.80~3.64 and 2.02~2.67 log CFU/g, respectively, compared to those of the control. Combined treatment of 50 ppm ClO₂ and 0.5% fumaric acid reduced total aerobic bacteria, yeast and molds populations by 3.62~3.82 and 2.47~3.02 log CFU/g, respectively. Based on the results, combined treatment of ClO₂ and fumaric acid was more effective in controlling microorganisms in the wild vegetables than either ClO₂ or citric acid. In addition, combined treatment of ClO₂/fumaric acid/blanching reduced the populations of total aerobic bacteria by 4.59~5.12 log CFU/g, and populations of yeast and molds were not detected by treatment. These results suggest that combined treatment of ClO₂/fumaric acid/blanching is the most effective method for improving microbiological safety of wild vegetables after harvest.

Key words: wild vegetable, chlorine dioxide, organic acid, blanching, microbiological safety

서 론

산채류는 식용이 가능한 산지 자생 식물로 봄철 구황작물로써 많이 소비되었고, 또한 다양한 기능성을 가지고 있어 한방 약재로도 널리 사용된다(1). 현재 국내에서는 약 3,000여 종이 산채로 분류되고 있는데, 이 중 약 80여 종이 식용 가능한 것으로 알려졌다(2). 특히 최근에는 항암작용, 항산화, 항균, 면역 증강 등의 효과가 있는 것으로 밝혀져 특용작물로써 약 30여 종 이상이 농가에서 재배되고 있다(2-6).

최근 다양한 신선 채소류의 소비가 증가하고 있는 추세인데(7-9), 특히 산채류는 식이섬유, 미네랄, 기능성 물질 등이 풍부해 소비자들의 수요가 매우 높아짐에 따라 재배 면적이 증가하고 있고(2), 또한 산채류에 관한 다양한 연구가 이

루어지고 있으나 주로 항산화 활성 등 기능성 성분 분석, 저장 중 품질 변화 등의 연구에만 초점이 맞춰지고 있어서 미생물학적 안전성과 관련한 연구는 미흡하다(3,4,10,11). 산채류는 특성상 수확 후 저장, 유통 과정 중에 가열 공정을 거치지 않으므로 미생물학적 안전성에 매우 취약할 수 있기에 수확 후 초기 미생물 수를 제어하는 방안이 필요하다.

신선 채소의 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 수단으로 오존, 염소, 이산화염소, 유기산, 전해수와 같은 세척처리 방법이 이용되고 있는데(8,12-16), 이산화염소는 기존 염소가 가지고 있는 살균력보다 높은 살균력을 보유하고 넓은 pH 범위에서도 살균력이 유지되는 등 많은 장점이 있어 다양한 과채류의 미생물학적 안전성 확보를 위해 사용되고 있으며(8,13,14), 세포막 단백질을 산화시켜 미생물을 사멸시킨다고 알려져 있다(17). 또한 유기산은 미생물의 성장을 억제하고 용액 상에서 비해리된 분자의 형태로 미생물을 불활성화시키는 기작을 가져 과채류의 초기 미생물 제어 용도로 사용된다(18,19).

이산화염소나 유기산과 같은 비가열 처리를 이용한 세척

Received 1 October 2015; Accepted 26 November 2015

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

방법들은 농산물 등의 식품에 적용할 시 단일 처리보다 병합 처리하는 것이 더 효과적인 미생물 수 감소를 얻을 수 있다고 알려졌다(19). 또한 이러한 비가열 처리 기술들의 병합 처리는 단일 처리의 단점을 보완하고, 각 처리의 효과를 증대시켜 식품의 품질은 유지하면서 동시에 미생물 오염원을 효과적으로 감소시킬 수 있는 hurdle technology로 사용되고 있다(20).

산채류는 수확한 후 즉석식품으로 제품화하기 위해서는 가공 공정 중에 blanching 공정이 필요하다(4,10,11). Blanching 공정의 주목적은 산채류의 저장 시 효소로 인한 품질 저하를 방지하는 것으로, 쓴맛 성분을 제거하거나 polyphenol oxidase나 peroxidase와 같은 산화 효소를 불활성화시키기 위한 전처리 공정이다(10,11,21,22). 이러한 blanching 처리는 고온에서 이루어지기 때문에 처리되는 채소류의 물리적 손상 및 주요 영양성분의 파괴와 같은 문제점이 있다고 보고되었으나, blanching 처리 후의 미생물 제어와 관련한 연구는 거의 없는 실정이다. 최근 연구에 따르면 학교급식에서 제공되고 있는 데침 나물 13종에 대한 미생물 오염도 수준이 일반 세균과 대장균군을 포함하여 약 6~7 log CFU/g이라고 보고된 바 있는데(23), 이러한 결과는 단순 blanching 처리만으로는 산채류의 초기 미생물을 효과적으로 제어하기 어렵다는 것을 시사한다.

따라서 본 연구에서는 수확 후 산채류의 초기 미생물 수준을 저감화하려는 방안으로 취나물과 곤드레를 선정하여 이산화염소수와 유기산 용액을 단일 또는 병합 처리한 후 미생물 감소 효과를 분석하고, 또한 이산화염소수와 유기산 용액 처리 후 blanching을 병합 처리하여 미생물 제어 효과를 비교 분석함으로써 산채류의 가장 효과적인 세척 공정을 시스템을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에서 사용된 산채류는 충청남도 부여에서 2015년 3월부터 6월 사이에 수확한 시설, 노지 재배 취나물(*Aster scaber*)과 곤드레(*Cirsium setidens* Nakai)로 외관 상태가 양호하고 균일한 것을 선별하여 사용하였다.

이산화염소수, 유기산 용액 및 물 침지 처리

취나물과 곤드레 시료를 이산화염소수와 유기산 용액 및 물에 각각 5분간 침지하여 세척한 후 clean bench에서 30분 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 제거하였다. 이산화염소수는 1 g sodium chlorite(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA), 10 mL HCl(1 N, Sigma-Aldrich Co.), 100 mL 3차 증류수를 이용하여 고농도로 제조한 뒤 50, 100 ppm으로 희석하여 사용하였으며, 농도는 iodometry 방법으로 측정하였다(24). 유기산 용액은 citric acid(Sigma-Aldrich Co.)와 fumaric acid(Sigma-Aldrich Co.)

를 사용하였으며, 예비실험을 통하여 최적 농도로 각각 0.3, 0.5%가 되도록 제조하여 실험에 사용하였다. 이산화염소수와 유기산 용액의 미생물 감소 효과를 비교하기 위해 물 침지 처리구를 대조구로 사용하였다.

이산화염소수와 유기산 용액 병합 처리

이산화염소수와 유기산 용액의 병합 처리는 단일 처리를 통해 선정된 최적 농도 조건의 이산화염소수와 유기산 용액을 하나의 세척수로 제조하여 수행하였으며, 취나물과 곤드레 시료를 병합 세척수에 5분간 침지 처리한 후 clean bench에서 30분 동안 표면에 남아있는 수분을 제거하였다. 이산화염소수와 유기산 용액의 최적 농도 조건은 각각 50 ppm과 0.5%로 선정하였다.

Blanching 조건

취나물과 곤드레 시료의 blanching 조건은 선행 연구 결과(11) 및 예비 실험 결과를 토대로 90°C, 2분으로 설정하였으며, blanching 처리 후 즉시 얼음물에 30초간 냉각한 다음 cold chamber에서 20분 동안 건조하여 표면에 남아있는 수분을 제거하였다.

병합 세척과 blanching

이산화염소수와 유기산 용액의 병합 처리 중 효과가 더 우수한 이산화염소수와 fumaric acid 병합 세척수에 취나물과 곤드레 시료를 5분간 침지 처리한 후 90°C의 물에서 2분간 blanching 처리한 뒤 즉시 얼음물에 30초간 냉각한 다음 cold chamber에서 20분 동안 표면에 남아있는 수분을 제거하였다.

미생물 생육 측정

취나물과 곤드레 시료 20 g과 0.1% 멸균 펩톤수 180 mL를 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화시켰다. 균질화된 시료는 0.1% 멸균 펩톤수로 10배수 연속 희석한 후 각각의 건조필름배지에 분주하여 실험하였다. 총 호기성 세균은 Petrifilm™ Aerobic Count plates(AC, 3M Co., St. Paul, MN, USA)를 사용하여 37°C에서 2일간 배양하고, 효모 및 곰팡이는 Petrifilm™ Yeast and Mold count plates(YM, 3M Co.)를 사용하여 25°C에서 3일간 배양한 후 형성된 colony를 계수하였으며, 미생물 수는 3회 반복 실험하여 colony forming unit(CFU)으로 나타내었다(25).

통계적 처리 분석

모든 실험은 최소 3회 이상 반복 수행하였고, 결과는 평균 값±표준편차로 나타내었다. 본 연구에서의 통계적 분석은 SAS(Statistical Analysis System, version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 사용하여 $P < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test 방법으로 실

시하였다.

결과 및 고찰

이산화염소수와 유기산 용액 단일 처리에 따른 미생물 수 변화

취나물과 곤드레 시료에 이산화염소수 및 유기산 용액 중 citric acid와 fumaric acid 용액을 농도별로 단일 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화를 분석하였다 (Table 1). 취나물과 곤드레 시료 대조구의 총 호기성 세균 수는 각각 6.13, 5.52 log CFU/g이었고, 물 세척 처리구는 5.82, 5.01 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 0.31, 0.41 log CFU/g의 낮은 미생물 수 감소를 보였다. 이러한 결과는 Kang 등(9)이 다채와 적근대를 단순 물 침지 처리하였을 때 초기 총 호기성 세균 수가 각각 0.36, 0.62 log CFU/g 감소했다는 결과와 유사한 것으로, 단순 물 세척만으로는 취나물, 곤드레와 같은 산채류의 미생물학적 안전성을 충분히 확보하지 못함을 보여준다.

취나물의 이산화염소수 처리의 경우 총 호기성 세균 수는 50 ppm과 100 ppm 처리 농도에서 각각 3.77, 3.10 log CFU/g으로 대조구와 비교해 2.36, 3.03 log CFU/g의 미생물 수 감소를 나타내었다. 곤드레의 이산화염소수 처리도 취나물 결과와 유사하였는데, 농도별 총 호기성 세균 수는 2.57, 2.15 log CFU/g이었으며, 각각 대조구보다 2.95, 3.37 log CFU/g 만큼 낮게 검출되었다. 이와 같은 이산화염소수 처리에 의한 미생물 수 감소 결과는 Kang 등(14)이 치콘에 50 ppm 이산화염소수 처리 후 대조구와 비교하였을 때 총 호기성 세균 수가 2.54 log CFU/g 감소하였다는 결과와 더불어 Kim 등(26)이 alfalfa sprouts에 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes* 접종 후 50 ppm 이산화염소수를 처리하였을 때 대조구보다 2.25, 2.01, 2.27 log CFU/g 낮은 미생물 수가 검출되었다는 결과와 유사하였다. 이러한 결과는 50 ppm 이산화염소수 단일 처리만으로도 단순 물 세척 처리와 비교하여 약 1.5~2.0 log CFU/g 이상 높은 미생물 수 감소 효과를 얻을 수 있음을 시사한다. 취나물과 곤드레의 citric acid

용액 처리에 따른 총 호기성 세균 수는 0.3% 농도에서 각각 3.50, 3.98 log CFU/g으로 나타났으며, 0.5% 농도에서는 3.30, 3.39 log CFU/g으로 검출되었다. 대조구와 비교하여 취나물은 2.63~2.83 log CFU/g, 곤드레의 경우에는 1.54~2.13 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였다. 이는 Park 등(27)의 연구에서 상추에 *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes* 접종 후 1% citric acid 용액을 처리하였을 때 대조구와 비교하여 각각 2.50, 2.65, 2.13 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였다는 결과와 비슷하였다. Fumaric acid 용액 처리에 따른 취나물과 곤드레의 미생물 수 변화도 citric acid 용액 처리 결과와 비슷하였는데, 0.3% fumaric acid 용액 처리 후 취나물의 총 호기성 세균 수는 3.91 log CFU/g이었으며, 0.5% fumaric acid 용액 처리구는 3.33 log CFU/g으로 나타났다. 곤드레의 경우에는 농도별로 2.63, 2.16 log CFU/g의 미생물 수가 검출되었다. Fumaric acid 용액 처리에 의한 미생물 수 감소 효과는 Kim 등(13)이 broccoli sprouts에 0.5% fumaric acid 용액 처리 후 총 호기성 세균 수가 2.60 log CFU/g 감소하였다는 연구 보고와 유사한 결과였다. 이러한 결과는 유기산 용액 단일 처리를 통해 산채류의 미생물 수를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 보여준다.

이산화염소수와 유기산 용액 단일 처리의 미생물 감균 효과는 효모 및 곰팡이 수의 경우에도 총 호기성 세균 결과와 유사한 경향을 나타내었다(Table 1). 취나물 대조구의 효모 및 곰팡이 수는 5.32 log CFU/g이었으며, 단순 물 침지 처리구는 4.84 log CFU/g, 이산화염소수 처리구는 50, 100 ppm 각각 4.00, 3.93 log CFU/g으로 나타났다. 이는 Kim 등(28)이 매향 딸기에 50 ppm 이산화염소수 처리 후 효모 및 곰팡이 수가 대조구와 비교하여 1.55 log CFU/g 감소하였다는 연구 결과와 유사하였다. 0.3% citric acid 용액 처리 후 취나물의 효모 및 곰팡이 수는 4.73 log CFU/g, 0.5% citric acid 용액 처리구는 4.35 log CFU/g이었으며, fumaric acid 용액 0.3, 0.5% 처리구는 각각 4.64, 4.38 log CFU/g의 미생물 수를 나타내었다. Citric acid 용액 처리에 따른 효모 및 곰팡이 수 감소 효과는 Rahman 등(29)이 양배추에 1% citric acid 용액을 처리하였을 때 대조구보다 2.30

Table 1. Effects of aqueous chlorine dioxide and organic acids on the microbial populations in *Aster scaber* and *Cirsium setidens* Nakai (unit: log CFU/g)

Treatment	<i>Aster scaber</i>		<i>Cirsium setidens</i> Nakai	
	Total aerobic bacteria	Yeast and molds	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Control ¹⁾	6.13±0.29 ^{a2)}	5.32±0.08 ^a	5.52±0.23 ^a	5.28±0.26 ^a
Water washing	5.82±0.27 ^a	4.84±0.18 ^b	5.01±0.19 ^b	4.70±0.29 ^{bc}
ClO ₂ 50 ppm	3.77±0.40 ^{bc}	4.00±0.00 ^{de}	2.57±0.19 ^e	2.58±0.28 ^f
100 ppm	3.10±0.17 ^c	3.93±0.12 ^e	2.15±0.21 ^f	2.28±0.17 ^g
Citric acid 0.3%	3.50±0.17 ^{bc}	4.73±0.05 ^{bc}	3.98±0.27 ^c	4.74±0.20 ^b
0.5%	3.30±0.30 ^{bc}	4.35±0.28 ^{cd}	3.39±0.19 ^d	4.46±0.10 ^c
Fumaric acid 0.3%	3.91±0.34 ^b	4.64±0.22 ^{bc}	2.63±0.11 ^e	3.76±0.15 ^d
0.5%	3.33±0.28 ^{bc}	4.38±0.19 ^{cd}	2.16±0.28 ^f	2.95±0.23 ^e

¹⁾Control: no treatment.

²⁾Means with different letters (a-g) in the column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

log CFU/g 만큼 낮게 나타났다는 결과와 비슷하였다. 콘드레의 미생물 수 변화도 취나물의 결과와 비슷하였는데, 콘드레 대조구의 효모 및 곰팡이 수는 5.28 log CFU/g, 단순물 침지 처리구는 4.70 log CFU/g으로 나타났으며, 50 ppm 이산화염소수 처리구는 2.58 log CFU/g, 100 ppm 이산화염소수 처리구는 2.28 log CFU/g의 미생물 수를 보였다. 유기산 용액 중 citric acid 용액 처리구는 0.3, 0.5%에서 각각 4.74, 4.46 log CFU/g, fumaric acid 용액 처리구는 농도별로 3.76, 2.95 log CFU/g으로 검출되었다. 이러한 결과로부터 이산화염소수와 유기산 용액을 이용한 세척 처리가 산채류의 초기 미생물 수준을 효과적으로 감소시킬 수 있으며, 단순 물 세척과 비교하여 낮은 농도의 단일 처리만으로도 최대 2.2~2.9 log CFU/g 이상의 미생물 감균 효과를 확보할 수 있다고 판단된다. 또한 이산화염소수와 유기산 용액 처리는 많은 선행 연구 결과로부터 농산물의 색도 등 품질 변화를 일으키지 않는다고 보고되었기에, 산채류의 외관적 품질 변화 없이 미생물 제어 효과를 확보할 수 있는 효과적인 처리 기술이라고 생각된다(8,14,28,30,31).

이산화염소수와 유기산 용액 병합 처리에 따른 미생물 수 변화

취나물과 콘드레 시료의 단일 처리 결과로부터 선정된 최적 농도의 이산화염소수와 유기산 용액을 병합 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화를 분석하였다 (Table 2). 이산화염소수의 경우 농도에 따른 미생물 감소 효과가 큰 차이를 보이지 않아 상대적으로 낮은 농도인 50 ppm을 최적 농도로 선정하였으며, 유기산 용액의 경우에는 종류와 농도에 따른 각 미생물에 대한 감균 효과를 비교하여 0.5%를 최적 농도로 선정하였다. 병합 처리 전 취나물 대조구의 총 호기성 세균 수는 6.84 log CFU/g이었으며, 단순물 침지 처리구는 6.12 log CFU/g으로 단일 처리 결과와 동일하게 단순 물 세척만으로는 충분한 미생물 감균 효과를 얻지 못함을 재확인하였다. 효모 및 곰팡이의 결과도 이와 유사하였는데 취나물 대조구는 5.50 log CFU/g이었으며, 단순 물 침지 처리구는 4.94 log CFU/g으로 검출되어 대조구와 비교해 0.56 log CFU/g의 낮은 미생물 수 감소를 보였다. 이와는 달리 이산화염소수와 citric acid 용액 병합 처리구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 4.04 log CFU/g, 3.48 log CFU/g으로 나타났으며, 이산화염소수와

fumaric acid 용액 병합 처리구의 경우에는 각각 3.22, 3.03 log CFU/g의 미생물 수가 검출되었다. 총 호기성 세균 수의 경우 대조구와 비교해 citric acid 병합 처리구는 2.80 log CFU/g, fumaric acid 병합 처리는 3.62 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 효모 및 곰팡이는 각각 2.02, 2.47 log CFU/g의 감균 효과를 나타내었다. Alfalfa sprouts의 초기 잔존 미생물 수 제어를 위해 50 ppm 이산화염소수와 0.5% fumaric acid 용액을 시간별로 병합 처리한 후 총 호기성 세균 수 변화를 분석한 Kim 등(26)의 선행 연구에서는 5분 처리 시 대조구와 비교하여 2.95 log CFU/g의 미생물 수 감소를 나타내어 단일 처리보다 높은 감균 효과를 가진다고 보고하였으며, 또 다른 선행 연구인 Kim 등(13)의 연구에서는 broccoli sprouts의 저장 중 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 제어를 위해 50 ppm 이산화염소수와 0.5% fumaric acid 용액을 병합 처리한 후 미생물 수 변화를 분석하였을 때 저장 초기 대조구와 비교하여 각 미생물 수의 감소가 2.70, 2.46 log CFU/g으로 단일 처리보다 병합 처리의 효과가 더 크게 나타났다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다. 기존 선행 연구 결과와 본 연구 결과를 통해 이산화염소수와 유기산 용액의 병합 처리가 단일 처리보다 높은 미생물 감균 효과를 가지는 것으로 확인되었는데(Table 3), 이는 이산화염소수와 유기산 용액 병합 처리 시 이산화염소에 의한 미생물 세포막 단백질 산화 작용과 유기산에 의한 세포 내부 pH 감소 및 효소 활성 저해가 동시에 발생되기 때문이다(32,33). 특히 이산화염소수와 fumaric acid 용액의 병합 처리가 citric acid 용액과의 병합 처리와 비교하여 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 모두에서 더 높은 감균 효과를 보여, 보다 효율적인 처리 기술이라고 판단된다.

이산화염소수와 두 가지 유기산 용액의 병합 처리에 따른 미생물 감균 효과는 콘드레에서도 취나물 결과와 유사한 경향을 나타내었다(Table 2). 콘드레 대조구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 5.35, 5.48 log CFU/g이었으며, 단순 물 침지 처리구는 4.88, 4.71 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 0.47, 0.77 log CFU/g의 낮은 미생물 감균 효과를 보였다. 반면에 이산화염소수와 citric acid 용액 병합 처리구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 1.71, 2.81 log CFU/g으로 검출되었으며, 이산화염소수와 fumaric acid 용액 병합 처리구의 경우에는 1.53, 2.46 log CFU/g의 미생물 수를 나타내었다. 이산화염소수와 citric

Table 2. Effects of combined treatment of aqueous chlorine dioxide and organic acids on the microbial populations in *Aster scaber* and *Cirsium setidens* Nakai (unit: log CFU/g)

Treatment	<i>Aster scaber</i>		<i>Cirsium setidens</i> Nakai	
	Total aerobic bacteria	Yeast and molds	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Control ¹⁾	6.84±0.35 ²⁾	5.50±0.27 ^a	5.35±0.13 ^a	5.48±0.17 ^a
Water washing	6.12±0.11 ^b	4.94±0.27 ^b	4.88±0.37 ^b	4.71±0.19 ^b
50 ppm ClO ₂ +0.5% citric acid	4.04±0.49 ^c	3.48±0.41 ^c	1.71±0.33 ^c	2.81±0.32 ^c
50 ppm ClO ₂ +0.5% fumaric acid	3.22±0.21 ^d	3.03±0.28 ^d	1.53±0.40 ^c	2.46±0.15 ^c

¹⁾Control: no treatment.

²⁾Means with different letters (a-d) in the column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

Table 3. Microbial reduction levels of microorganisms on *Aster scaber* and *Cirsium setidens* Nakai following treatments with aqueous chlorine dioxide (ClO₂) and organic acids alone or the combination of aqueous ClO₂ and organic acids (unit: log CFU/g)

Treatment	<i>Aster scaber</i>		<i>Cirsium setidens</i> Nakai	
	Total aerobic bacteria	Yeast and molds	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Water washing	0.56±0.22 ^{d1)}	0.58±0.28 ^c	0.50±0.28 ^f	0.58±0.36 ^c
ClO ₂ 50 ppm	2.36±0.44 ^c	1.32±0.08 ^c	2.95±0.28 ^d	2.71±0.35 ^b
Citric acid 0.5%	2.83±0.38 ^b	0.97±0.28 ^d	2.12±0.29 ^e	0.83±0.26 ^d
Fumaric acid 0.5%	2.80±0.38 ^b	0.94±0.20 ^d	3.36±0.32 ^c	2.33±0.32 ^c
50 ppm ClO ₂ +0.5% citric acid	2.82±0.27 ^b	2.09±0.24 ^b	3.64±0.31 ^b	2.67±0.33 ^b
50 ppm ClO ₂ +0.5% fumaric acid	3.60±0.21 ^a	2.48±0.17 ^a	3.82±0.36 ^a	3.02±0.21 ^a

¹⁾Means with different letters (a-f) in the column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

Table 4. Effects of combined non-thermal treatment and blanching on the microbial populations in *Aster scaber* and *Cirsium setidens* Nakai (unit: log CFU/g)

Treatment ¹⁾	<i>Aster scaber</i>		<i>Cirsium setidens</i> Nakai	
	Total aerobic bacteria	Yeast and molds	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Control	6.69±0.19 ^{a2)}	5.36±0.13	6.55±0.59 ^a	5.78±0.48
Blanching	2.94±0.09 ^b	ND ³⁾	3.45±0.24 ^b	ND
Water washing+Blanching	2.99±0.11 ^b	ND	3.75±0.46 ^b	ND
Combined non-thermal treatment+ Blanching	1.57±0.19 ^c	ND	1.96±0.45 ^c	ND

¹⁾Control: no treatment, Blanching: 90°C/2 min, Combined treatment: 50 ppm ClO₂+0.5% fumaric acid.

²⁾Means with different letters (a-c) in the column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

³⁾ND: not detected.

acid 용액 병합 처리구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 대조구와 비교하여 3.64, 2.67 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, fumaric acid 용액 병합 처리구는 각각 3.82, 3.02 log CFU/g의 미생물 감균 효과를 나타내 취나물의 경우와 동일하게 citric acid 용액보다 fumaric acid 용액과의 병합 처리가 더 효과적인 산채류 세척 처리 기술이라고 판단된다(Table 3). 따라서 이러한 결과를 바탕으로 blanching 처리와의 병합 처리를 통한 미생물 제어 효과를 분석하기 위해 이산화염소수와 fumaric acid 용액의 병합 처리를 세척 전처리로 선정하였다. 또한 현재까지 취나물, 곤드레 등 산채류에 적합한 세척제의 허용 기준이 정해져 있지 않기 때문에, 본 연구 결과로부터 이산화염소수는 50 ppm, 유기산은 0.5%로 최적 처리 조건을 적용할 경우 산채류 같은 농산물의 미생물학적 안전성을 확보할 것으로 생각한다.

이산화염소수와 fumaric acid 용액 및 blanching 병합 처리에 따른 미생물 수 변화

Blanching 처리에 의한 미생물 제어 효과를 분석하기 위해 이산화염소수와 fumaric acid 용액의 병합 세척수로 세척한 취나물과 곤드레 시료를 90°C에서 2분 동안 blanching 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화를 분석하였다(Table 4). 취나물 대조구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 6.69, 5.36 log CFU/g이었으며, 세척 처리 없이 단순 blanching 처리된 취나물의 총 호기성 세균 수는 2.94 log CFU/g으로 나타난 반면에 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았다. 단순 물 침지 처리 후 blanching 처리한 취나물의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수도 단순

blanching 처리구와 유사한 결과를 보였는데, 총 호기성 세균 수는 2.99 log CFU/g이었으며 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았다. 이러한 결과는 단순 물 세척에 따른 미생물 제어 효과가 매우 미미하며, blanching 처리만으로도 총 호기성 세균의 경우에는 3.70~3.75 log CFU/g, 효모 및 곰팡이의 경우에는 약 5 log CFU/g 이상의 미생물 감균 효과가 있음을 보여준다. 이산화염소수와 fumaric acid 용액의 병합 세척수로 세척 처리 후 blanching 처리한 취나물의 총 호기성 세균 수는 1.57 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 5.12 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였으며, 효모 및 곰팡이는 단순 blanching 처리와 동일하게 검출되지 않았다. 이러한 결과로부터 단순 blanching 처리를 통해서도 충분한 미생물 수 감소 효과를 얻을 수 있으나, blanching 처리 전 세척 처리로써 이산화염소수와 유기산 용액 병합 처리가 미생물 제어에 있어 보다 높은 시너지 효과가 있다고 판단된다. Huang과 Chen(34)은 시금치에 *E. coli* O157:H7을 접종하여 다양한 종류의 유기산 용액을 온도를 달리하여 처리한 후 미생물 수 변화를 분석하였는데, 22°C 처리와 50°C 처리를 비교하였을 때 모든 종류의 유기산 처리구가 50°C에서 약 0.3~0.7 log CFU/g 더 많은 미생물 수 감소를 보였다고 보고하였다. 이러한 연구 결과는 낮은 온도보다 높은 온도에서의 미생물 수 감소 효과가 더 높음을 보여주는데, 본 연구에서의 blanching 처리는 90°C의 고온이었기 때문에 기존 결과보다 더 높은 수준의 미생물 수 감소가 이루어진 것이라고 판단된다.

Blanching 처리에 의한 곤드레의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화도 취나물의 결과와 유사한 결과를 나타내

었다(Table 4). 곤드레 대조구의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 6.55, 5.78 log CFU/g으로 나타났으며, 단순 blanching 처리와 물 침지 처리 후 blanching 처리된 곤드레의 총 호기성 세균 수는 각각 3.45, 3.75 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 3.10, 2.80 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였다. 병합 세척수로 세척 후 blanching 처리된 곤드레의 총 호기성 세균 수는 1.96 log CFU/g으로 대조구보다 4.59 log CFU/g 낮은 미생물 수가 검출되었다. 각 처리구의 효모 및 곰팡이의 경우에는 취나물 결과와 동일하게 모두 검출되지 않았다. Rahman 등(35)은 shredded carrots에 단순 물 세척 처리 및 전해수와 citric acid 용액 병합 처리를 온도를 달리하여 처리한 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화를 조사하였는데, 모든 온도에서의 병합 처리구가 약 2.40 log CFU/g 더 높은 미생물 수 감소를 나타냈다고 보고한 바 있다. 이러한 결과와 유사하게 본 연구의 두 산채류 시료에 있어서도 이산화염소수와 fumaric acid 병합 처리 후 90°C blanching 처리구가 단순 물 세척 처리 후 blanching 처리구보다 1.42~1.79 log CFU/g 더 높은 미생물 수 감소 효과를 보였다(Table 4). 다만 미생물 수 감소에서 차이가 발생한 이유는 본 연구에서 적용된 blanching이 90°C에서 이루어진 반면에 Rahman 등(35)의 연구에서는 최대 온도가 50°C로, 열처리에 의한 효과보다 전해수와 citric acid 병합 처리에 의한 효과가 더 크게 작용하였기 때문이라고 생각된다. 또한 취나물과 곤드레 같은 산채류 섭취에서의 주요 미생물학적 위해인자는 효모 및 곰팡이가 아닌 세균으로(36,37), 단순 blanching 처리만으로는 효과적인 제어가 어렵고 저장 기간 중 균 증식의 우려가 존재하기 때문에 이산화염소수와 유기산 용액의 병합 세척 처리 후 blanching을 하는 것이 더욱 확실한 전처리 공정이 될 수 있다고 생각된다. 이러한 결과들로부터 단순 물 세척 처리, 이산화염소수와 유기산 용액 병합 처리나 단순 blanching 처리보다는 이산화염소수와 유기산 용액의 병합 세척 처리 후 blanching을 하는 것이 산채류의 미생물학적 안전성을 확보하는 가장 효과적인 방법이라고 판단된다.

요 약

수확 후 산채류의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 선정된 산채류인 취나물과 곤드레에 이산화염소수와 유기산 용액 병합 처리 및 이산화염소수, 유기산 용액, blanching 병합 처리 후 미생물 제어 효과를 비교 분석하였다. 50 ppm 이산화염소수와 0.5% citric acid 용액의 병합 처리는 취나물과 곤드레의 총 호기성 세균 수를 2.80~3.64 log CFU/g, 효모 및 곰팡이 수는 2.02~2.67 log CFU/g 감소시켰다. 50 ppm 이산화염소수와 0.5% fumaric acid 용액의 병합 처리 후 총 호기성 세균 수는 대조구와 비교하여 3.62~3.82 log CFU/g 감소하였으며, 효모 및 곰팡이의 경우에는 2.47~3.02 log CFU/g 만큼 감소하여 이산화염소수와 citric acid

용액의 병합 처리보다 fumaric acid 용액과의 병합 처리가 더 효과적인 병합 처리 조건이라고 생각된다. 이산화염소수와 fumaric acid 병합 처리 후 blanching 처리된 취나물의 총 호기성 세균 수는 대조구보다 5.12 log CFU/g 더 낮게 검출되었으며, 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았다. 곤드레의 경우에도 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았으며, 총 호기성 세균 수는 대조구와 비교하여 4.59 log CFU/g 감소하였다. 따라서 본 연구 결과 이산화염소수와 유기산 용액 전처리 후 blanching 병합 처리가 산채류의 미생물학적 안전성을 확보하는 가장 효과적인 방법이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 충청남도산림환경연구소의 지원을 받아 수행된 것으로, 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. Cho JY, Yang SY, Yu SO, Kim BW, Jang HG, Chon SU, Park YJ, Heo BG. 2005. The actual distributing states of the fresh wild vegetables at five-day traditional markets in Jeonnam district. *Kor J Hort Sci Technol* 23: 396-401.
2. Rural Development Administration. 2013. *The cultivation of wild vegetables*. Rural Development Administration, Jeonbuk, Korea. p 17-27.
3. You JK, Chung MJ, Kim DJ, Choe M. 2009. Change of antioxidant activities in preparing freeze dried wild vegetable block for the long-term storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1649-1655.
4. Lee OH, Kim JH, Kim YH, Lee YJ, Lee JS, Jo JH, Kim BG, Lim JK, Lee BY. 2014. Nutritional components and physiological activities of *Cirsium setidens* Nakai. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 791-798.
5. Lyu HN, Park MH, Hong SG, Lee DY, Han KM, Yoon JS, Kim SY, Rho YD, Baek NI. 2007. Development of biologically active compounds from edible plant sources - X XV. Immunostimulating effect of edible plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 39: 708-714.
6. Lee IS, Moon HY. 2012. Antimicrobial activity on respiration diseases inducing bacteria and antioxidant activity of water extracts from wild edible vegetables. *Korean Soc Biotechnol Bioeng J* 27: 114-120.
7. Kim HK, Lee HT, Kim JH, Lee SS. 2008. Analysis of microbiological contamination in ready-to-eat foods. *J Fd Hyg Safety* 23: 285-290.
8. 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.
9. Kang JH, Chun HH, Song NB, Kim MS, Park J, Oh DH, Song KB. 2013. Effects of electron beam and ultraviolet-C irradiation on quality and microbial populations of leafy vegetables during storage. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 56: 301-307.
10. Kim MH, Jnag HL, Yoon KY. 2012. Changes in physico-chemical properties of *Haetsun* vegetables by blanching. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 647-654.
11. Lee HO, Kim JY, Kim GH, Kim BS. 2012. Quality characteristics of frozen *Aster scaber* according to various blanch-

- ing treatment conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 246-253.
12. Selma MV, Beltrán D, Allende A, Chacón-Vera E, Gil MI. 2007. Elimination by ozone of *Shigella sonnei* in shredded lettuce and water. *Food Microbiol* 24: 492-499.
 13. 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.
 14. Kang JH, Park J, Oh DH, Song KB. 2012. Effects of combined treatment of aqueous chlorine dioxide and UV-C or electron beam irradiation on microbial growth and quality in chicon during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1632-1638.
 15. Mansur AR, Oh DH. 2015. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage. *Food Microbiol* 51: 154-162.
 16. Beuchat LR, Adler BB, Lang MM. 2004. Efficacy of chlorine and a peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on iceberg and romaine lettuce using simulated commercial processing conditions. *J Food Prot* 67: 1238-1242.
 17. Vandekinderen I, Devlieghere F, Van Camp J, Kerkaert B, Cucu T, Ragaert P, De Bruyne J, De Meulenaer B. 2009. Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide. *Int J Food Microbiol* 131: 138-144.
 18. Akbas MY, Olmez H. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce by dip wash treatments with organic acids. *Lett Appl Microbiol* 44: 619-624.
 19. Kang JH, Song KB. 2015. Non-thermal treatment of post-harvest strawberry and establishment of its optimal freezing condition. *J Appl Biol Chem* 58: 55-60.
 20. Godburn C, Wallace CA. 2013. The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control* 32: 418-427.
 21. Lee K, Kim KH, Kim HK. 2002. Thermal inactivation parameters of peroxidase in *Flammulina velutipes* and *Lycophyllum ulmarium*. *Korean J Food Sci Technol* 34: 1067-1072.
 22. Vina SZ, Olivera DF, Marani CM, Ferreyra RM, Mugridge A, Chaves AR, Mascheronia RH. 2007. Quality of brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. gemmifera DC) as affected by blanching method. *J Food Eng* 80: 218-225.
 23. Kwak SJ, Kim SJ, Lkhagvasarnai E, Yoon KS. 2012. Analysis of microbiological hazards of preprocessed Namuls in school food service and processing plant. *J Fd Hyg Safety* 27: 117-126.
 24. American Public Health Association. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. Method 4-54.
 25. Chun HH, Kang JH, Song KB. 2013. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment and cold storage on microbial growth and quality of blueberries. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 56: 309-315.
 26. Kim YJ, Kim MH, Song KB. 2009. Combined treatment of fumaric acid with aqueous chlorine dioxide or UV-C irradiation to inactivate *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* inoculated on alfalfa and clover sprouts. *LWT—Food Sci Technol* 42: 1654-1658.
 27. Park SH, Choi MR, Park JW, Park KH, Chung MS, Ryu S, Kang DH. 2011. Use of organic acids to inactivate *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh apples and lettuce. *J Food Sci* 76: 293-298.
 28. 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. *Postharvest Biol Technol* 56: 254-256.
 29. Rahman SM, Jin YG, Oh DH. 2010. Combined effects of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to control microorganisms on cabbage. *J Food Sci* 75: 111-115.
 30. Seong KH, Kang JH, Song KB. 2014. Effects of combined acetic acid and UV-C irradiation treatment on the microbial growth and the quality of sedum during its storage. *Korean J Food Preserv* 21: 581-586.
 31. Sagong HG, Lee SY, Chang PS, Heu S, Ryu S, Choi YJ, Kang DH. 2011. Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Int J Food Microbiol* 145: 287-292.
 32. Smigic N, Rajkovic A, Nielsen DS, Arneborg N, Siegmundfeldt H, Devlieghere F. 2010. Survival of lactic acid and chlorine dioxide treated *Campylobacter jejuni* under suboptimal conditions of pH, temperature and modified atmosphere. *Int J Food Microbiol* 141: S140-146.
 33. 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.
 34. Huang Y, Chen H. 2011. Effect of organic acids, hydrogen peroxide and mild heat on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on baby spinach. *Food Control* 22: 1178-1183.
 35. Rahman SM, Jin YG, Oh DH. 2011. Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots. *Food Microbiol* 28: 484-491.
 36. Kroupitski Y, Pinto R, Belausov E, Sela S. 2011. Distribution of *Salmonella typhimurium* in romaine lettuce leaves. *Food Microbiol* 28: 990-997.
 37. Keskinen LA, Annous BA. 2011. Efficacy of adding detergents to sanitizer solutions for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on Romaine lettuce. *Int J Food Microbiol* 147: 157-161.