J Korean Soc Food Sci Nutr
42(11), 1886~1891(2013)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.11.1886

수확 후 블루베리의 미생물학적 품질향상을 위한 세척시스템 개발

– 연구노트 –

천호현[1] · 박석호[1] · 최승렬[1] · 송경빈[2] · 박승종[2] · 이선호[1†]

[1]농촌진흥청 국립농업과학원
[2]충남대학교 식품공학과

Development of Washing System for Improving Microbiological Quality of Blueberry after Postharvest

Ho Hyun Chun[1], Seok Ho Park[1], Seung Ryul Choi[1], Kyung Bin Song[2], Seung Jong Park[2], and Sun Ho Lee[1†]

[1]National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Gyeonggi 447-707, Korea
[2]Dept. of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

ABSTRACT To inactivate the microorganisms on the surface of blueberries after harvest and to secure microbial safety, a bubble-aqueous chlorine dioxide washing system was developed. After treating the freshly prepared blueberries with the bubble-aqueous chlorine dioxide washing system, the changes in the microbial populations and quality of the blueberries were determined during storage 4±1°C. Microbiological data indicated that the populations of total aerobic bacteria, yeast and mold decreased by 1.4 and 1.3 log CFU/g at the treatment of 20 ppm aqueous chlorine dioxide with the system, respectively. There was no significant difference in color change and weight loss during storage among treatments. In addition, this washing system could handle approximately 60 kg of blueberry per hour, resulting in labor-saving. Therefore, these results clearly suggest that the bubble-aqueous chlorine dioxide washing system could be useful in improving the microbiological safety of fresh blueberries after harvest.

Key words: blueberry, quality, washing system, microorganism

서 론

최근 소비자들의 건강에 관한 관심 증대로 생리활성 성분인 phytochemical을 다량 함유하고 있는 기능성 소과류의 재배량 및 소비가 증가하고 있다. 특히 블루베리는 안토시아닌과 플라보노이드 등 폴리페놀이 풍부해 동맥경화, 심장병 예방, 혈액순환 개선 등 건강기능적인 다양한 효과와 함께 건강기능식품의 원료로 주목받고 있다(1,2).

그러나 우수한 영양학적 가치에도 불구하고 재배 또는 수확 중에 거름, 관개용수, 작업자의 비위생적 취급 등으로 인한 미생물학적 오염과 7~8월의 하절기 수확으로 품질열화가 쉬어 짧은 유통기한을 가지는 문제점이 있다(3). 또한 과실이 작고 과피가 얇은 물리적 특성상 수확 후 세척처리의 기계화가 어려운 작물이다. 한편, 소비자들은 구매 후 별도의 열처리나 세척 없이 바로 생과로 섭취하거나 동결 후 냉동과로 이용하기 때문에 안전성 확보가 무엇보다 중요하지만 현재는 농가단위에서 세척 등 수확 후 처리 없이 유통되고 있는 실정이다.

Received 21 October 2013; Accepted 4 November 2013
†Corresponding author.
E-mail: lee37ok@rda.go.kr, Phone: 82-31-290-1897

기존 농산물의 기계화 세척방법으로 노즐 물 분사(4), 회전 브러시(5), 고압열수 처리(6) 등이 이용되고 있다. 하지만 화학적 살균제 사용 없는 단순 물 세척으로 인한 불충분한 살균과 농산물 표면 손상으로 인해 외관적 품질이 저하되는 단점이 있다. 그리고 열에 의해 향기성분이 손실되고 외부충격에 민감한 농산물에 적용할 수 없는 한계가 있다. 따라서 국산 블루베리의 효과적인 오염물질 제거 및 품질제고를 위해, 블루베리의 물리적 특성을 고려한 수확 후 세척시스템 개발이 반드시 필요하다.

미생물을 저감화하기 위한 화학적 살균제로써 이산화염소는 기존 염소와 비교하여 약 2.5배 강한 산화력과 넓은 pH에 걸쳐 유효한 살균효과를 나타내는 장점이 있다(7). 그리고 살균과정 중 유기물과 반응하여 트리할로메탄과 클로로페놀 등 발암성 물질을 생성하는 염소계 살균제를 대체할 수 있는 세척살균제로 많은 연구가 진행되고 있다(8-10).

화학적 처리 시 적절한 물리적 작용이 병행되면 농산물의 표면손상 없이 표면에 존재하는 biofilm을 효과적으로 제거할 수 있다(11). 그리고 고농도의 화학적 살균제를 사용하는 작업자들에게 눈 따가움, 두통, 기관지 손상 등 건강에 유해한 문제점이 발생하기 때문에 저농도의 사용으로 효과적인 미생물 감균효과를 얻을 수 있는 기술개발이 필요하다.

2011년 유럽에서 병원성 미생물에 오염된 농산물 섭취에 따른 용혈성요독증후군 및 장출혈성대장균 감염환자 발생 등 세계적으로 농산물의 안전성이 중요하게 인식됨에 따라 국내에서도 잎채소, 새싹채소, 사과, 딸기 등 농산물 수확 후 세척살균처리에 대한 연구가 진행되고 있지만 세척이 어려운 소과류의 경우, 수확현장에서 활용 가능한 세척시스템 개발에 관한 연구는 미흡한 실정이다(12-15).

그러므로 본 연구에서는 블루베리 수확 후 미생물 저감화, 선도유지 및 조직 연화방지를 위하여 농가단위에서 활용 가능한 버블-이산화염소수 세척시스템을 개발하고 이를 적용한 블루베리의 저장 중 품질변화를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에서 사용한 블루베리(*Vaccinium corymbosum* L.)는 충청남도 예산군에 위치한 농가에서 수확 후 즉시 외관 손상이 없는 것을 시료로 선별하였다. 5~6°C에서 약 4시간 예냉 후 블루베리는 버블-이산화염소수 세척시스템을 활용하여 처리하였다.

버블-이산화염소수 세척시스템

본 연구에서 개발한 버블-이산화염소수 세척시스템의 구조 및 제원은 Fig. 1과 같다. 블루베리 재배농가의 생산량을 고려하여 세척시스템의 크기는 6,500(L)×1,100(W)×1,600(H) mm와 세척수조의 용량은 1,000 L로 설계하였다. 내부 하단 패널에는 고르게 버블을 발생시키기 위해 지름 20 mm의 hole을 150 mm 간격으로 10열 7개씩 총 70개가 위치한 다공판을 구성하고 공기가 분출될 수 있도록 공기분사 파이프와 ring blower(모터 정격출력 2.6 kW, 최대흡입 압력 2,600 mmAq, 최대토출 압력 2,800 mmAq)를 설치하였다. 세척 후 컨베이어 벨트를 통해 연속으로 시료가 이송되도록 제작하였으며 압축공기에 의한 탈수를 위해 3단 에어나이프와 세척수조에서 사용한 같은 사양의 ring blower를 설치하였다. 인버터를 통해 버블발생량, 컨베이어벨트 이송속도, ring blower 회전수를 시료 처리량에 따라 조절할 수 있도록 설계했다.

1,000 ppm 고농도 이산화염소수(Chemopia Co., Seongnam, Korea)를 구입하고 수돗물이 담긴 수조안에 농도가 20 ppm이 되게 혼합하여 희석하였다. 이산화염소 농도는 iodometry standard method(16)를 이용하여 측정하였다.

블루베리 세척처리

블루베리의 세척처리는 3단계로 하였는데 1단계에서는 버블이 블루베리 표면에 손상을 주지 않도록 예비실험을 통하여 구명한 ring blower 회전수 1,200 rpm으로 설정하고,

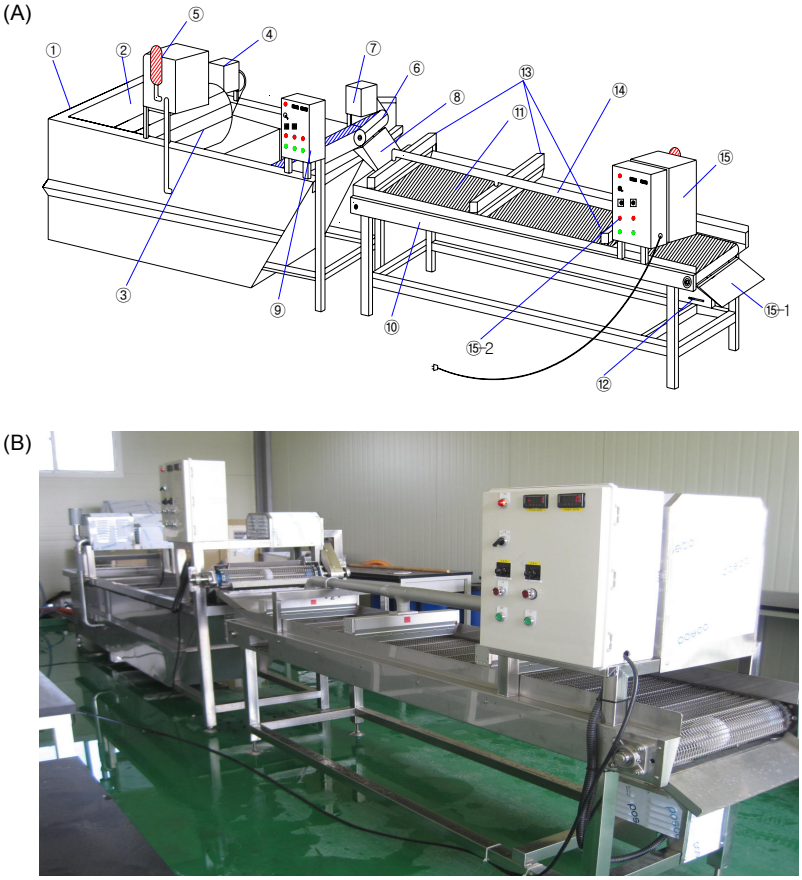

Fig. 1. A schematic view (A) and a photo (B) of bubble-aqueous chlorine dioxide washing system. ① bubble washer main frame, ② washing supply plate, ③ waterwheel, ④ waterwheel motor, ⑤ washing blower, ⑥ washing conveyer belt, ⑦ washing conveyer motor, ⑧ washing discharge plate, ⑨ control box, ⑩ dehydrator main frame, ⑪ dehydrating conveyer belt, ⑫ dehydrating conveyer motor, ⑬ dehydrating air knife, ⑭ air jet pipe, ⑮ blower, ⑮-1 dehydrating discharge plate, ⑮-2 control box.

20 ppm의 이산화염소수 약 800 L가 담긴 수조안에 블루베리 5 kg을 투입하여 2분간 버블 세척하였다. 2단계에서 수차와 이송컨베이어 벨트를 이용하여 시료를 0.05 m/s 속도로 이송하고, 3단계에서는 이송된 블루베리를 ring blower 회전수 2,700 rpm으로 설정된 에어나이프-탈수시스템에 0.05 m/s 속도로 이송시켜 탈수 처리하였다. 탈수 후 표면에 남아있는 수분을 건조시키기 위해 laminar flow hood에서 60분 동안 방치시켰다. 표면의 물기가 완전히 제거된 시료 500 g을 polyethylene terephthalate(PET) container에 포장한 후 4±1°C에서 12일 동안 저장하였다.

미생물 수 측정

블루베리 시료 25 g과 0.1% sterile peptone water 225 mL를 멸균 bag에 넣고 10분 동안 shaking하였다. 이것을 0.1% sterile peptone water를 이용하여 10배수 연속 희석한 후 희석액 0.1 mL를 각각의 배지에 분주하였다. 총 호기성 세균은 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 48시간 배양하였으며, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co.)를 사용하여 25°C에서 72시간 배양하였다. 배양 후 형성된 colony 수를 계수하였으며 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈다.

색도 측정

저장 중 블루베리 시료의 색도 측정은 표준백판(L=97.47, a=-0.02, b=1.67)으로 보정된 colorimeter(CR-300 Minolta Chromameter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하였다. Hunter L, a 및 b 값은 각 시료 별 5회 반복하여 측정하였다.

중량감소 측정

블루베리 시료의 저장 중 중량감소는 시료의 초기중량을 측정한 후 저장기간 중 중량의 차이를 초기중량에 대한 백분율로 나타내었다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였으며 중량 감소율을 제외한 실험결과는 평균값±표준편차로 나타냈다. 결과의 유의성 검정은 SAS(Statistical Analysis System, Version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) program을 이용하여 $P<0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test 방법을 사용하여 통계처리를 실시하였다.

결과 및 고찰

저장 중 미생물 수 변화

저장 초기 대조구의 총 호기성 세균 수 3.0 log CFU/g과 비교하여 버블-물 세척구는 0.6 log CFU/g 감소하여 2.4 log CFU/g을 나타냈다. 반면, 버블-이산화염소수 세척구는 0.9 log CFU/g 감소로 가장 효율적인 총 호기성 세균 감소 효과를 나타냈다(Table 1). 이러한 연구결과는 단순한 물 세척보다는 이산화염소수 처리가 미생물 수 감소에 있어서 보다 효과적인 방법인 것을 시사한다. 블루베리의 저장기간 중 모든 처리구에서 총 호기성 세균은 증가하였는데, 저장 12일 후 대조구와 버블-물 세척구의 총 호기성 세균은 3.9와 3.4 log CFU/g에 각각 도달하였다. 한편 버블-이산화염소수 세척구의 총 호기성 세균 수가 2.8 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 1.1 log CFU/g의 감균 효과를 유지했다.

효모 및 곰팡이의 경우 대조구의 초기 수는 3.6 log CFU/g을 보였고 버블-물 세척구에서는 0.4 log CFU/g 감소한 3.2 log CFU/g으로 측정되었다. 반면 버블-이산화염소수 세척구의 경우 저장 초기에 2.5 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 1.1 log CFU/g 감소 효과를 나타냈다(Table 1). 총 호기성 세균 수와 달리 효모 및 곰팡이 수는 저장기간이 증가함에 따라 일정하게 증가하는 경향은 보이지 않았다. 저장 12일 후, 대조구는 3.6 log CFU/g을 보였으며 버블-물 세척구는 3.3 log CFU/g으로 대조구와 0.3 log CFU/g의 작은 차이를 나타냈다. 반면 버블-이산화염소수 처리구는 대조구와 비교하여 저장 3~9일까지 1 log CFU/g 이상의 효모 및 곰팡이 감소효과를 유지하였고, 저장 12일에 효모 및 곰팡이 수는 2.8 log CFU/g으로 0.8 log CFU/g의 유의

Table 1. Effect of bubble-aqueous chlorine dioxide washing system on the microbial populations in the surface of blueberry during storage (log CFU/g)

Microorganism	Treatment	Storage time (day)				
		0	3	6	9	12
Total aerobic bacteria	Control	3.02±0.02[1)Ab2)]	3.80±0.04^{Aa}	3.77±0.11^{Aa}	3.84±0.09^{Aa}	3.89±0.16^{Aa}
	Bubble-water	2.39±0.09^{Bd}	2.98±0.03^{Bc}	3.11±0.10^{Bbc}	3.27±0.05^{Bab}	3.42±0.08^{Ba}
	Bubble-aqueous ClO_2	2.10±0.10^{Cc}	2.39±0.12^{Cb}	2.37±0.10^{Cb}	2.39±0.12^{Cb}	2.77±0.10^{Ca}
Yeast and mold	Control	3.60±0.04^{Ab}	3.92±0.15^{Aa}	3.76±0.05^{Aab}	3.63±0.13^{Ab}	3.58±0.17^{Ab}
	Bubble-water	3.20±0.05^{Bb}	3.54±0.06^{Ba}	3.57±0.04^{Ba}	3.36±0.02^{Bab}	3.29±0.12^{Bb}
	Bubble-aqueous ClO_2	2.45±0.15^{Cb}	2.65±0.05^{Cab}	3.18±0.20^{Ca}	2.67±0.08^{Cab}	2.82±0.03^{Ca}

[1)]Each value is mean±SD.
[2)]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.

Table 2. Change in Hunter color values in the surface of blueberry treated with bubble-aqueous chlorine dioxide washing system during storage

Color parameter	Treatment	Storage time (day)				
		0	3	6	9	12
L (lightness)	Control	29.32±0.69[1)Aa2)]	29.23±0.44[Aa]	29.58±0.84[Aa]	29.45±0.59[Aa]	29.73±0.84[Aa]
	Bubble-water	29.40±0.32[Aa]	29.39±0.65[Aa]	29.27±0.72[Aa]	29.70±0.35[Aa]	29.49±0.64[Aa]
	Bubble-aqueous ClO_2	29.60±0.77[Aa]	29.12±0.55[Aa]	29.50±0.52[Aa]	29.59±0.76[Aa]	29.45±0.71[Aa]
a (redness)	Control	-0.04±0.07[Aa]	0.06±0.19[Aa]	-0.01±0.12[Aa]	-0.05±0.12[Aa]	0.06±0.15[Aa]
	Bubble-water	0.08±0.21[Aa]	-0.05±0.08[Aa]	0.06±0.21[Aa]	-0.02±0.16[Aa]	0.10±0.27[Aa]
	Bubble-aqueous ClO_2	0.03±0.10[Aa]	0.08±0.11[Aa]	-0.04±0.06[Aa]	0.14±0.27[Aa]	0.05±0.12[Aa]
b (yellowness)	Control	-4.52±0.25[Aa]	-4.72±0.34[Aa]	-4.43±0.28[Aa]	-4.22±0.50[Aa]	-4.40±0.24[Aa]
	Bubble-water	-4.59±0.39[Aa]	-4.22±0.29[Aa]	-4.43±0.35[Aa]	-4.35±0.36[Aa]	-4.33±0.20[Aa]
	Bubble-aqueous ClO_2	-4.40±0.41[Aa]	-4.72±0.13[Aa]	-4.75±0.28[Aa]	-4.27±0.49[Aa]	-4.41±0.34[Aa]

[1)]Each value is mean±SD.
[2)]Any means in the same column (A) or row (a) followed by the same letter is not significantly (P<0.05) different by Duncan's multiple range test.

적 차이를 나타냈다.

Keskinen 등(9)은 200 ppm 이산화염소수 2분 세척처리로 iceberg lettuce의 *E. coli* O157:H7을 1.5 log CFU/g 감소하였으며 차아염소산나트륨 또는 산성 전해수보다 우수한 살균력을 나타냈다고 보고하였다. Wu와 Kim(17)은 15 ppm 이산화염소수 2시간 세척으로 블루베리에 효모 및 곰팡이 수가 2.9 log CFU/g 감소하였고, 이산화염소수는 기존 세척공정에 쉽게 적용할 수 있어 경제적으로 미생물학적 안전성을 확보할 수 있는 장점을 보고하였다. Chun 등(18)은 수확 후 국산 블루베리의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 오염도가 5.4~5.6 log CFU/g을 보였으며, 100 ppm 이산화염소수에 10분간 침지로 총 호기성 세균 수는 1.4~1.5 log CFU/g, 효모 및 곰팡이 수는 0.8~0.9 log CFU/g 각각 감소시켰다고 보고하였다. 이전 연구결과와 비교하여 본 연구에서 사용한 버블-이산화염소수 세척시스템은 20 ppm 이산화염소의 저 농도로 미생물을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 입증하였다.

따라서 이전 연구결과와 본 연구를 통하여 이산화염소수를 단순히 침지 또는 분무하는 방법보다 버블의 물리적 세척이 병합되면 기존보다 낮은 이산화염소 농도와 짧은 처리시간으로 표면에 부착된 이물질 및 미생물을 효과적으로 감소하는 결과를 얻을 수 있다고 판단된다. 또한 Hong 등(12)은 잎채소 세척 후 원심탈수장치를 이용했을 때 표면에 굴곡이 있는 곳에는 효과적으로 수분이 제거되지 못했으며 탈수드럼의 벽면에 시료가 붙고 겹쳐지면서 외관적 품질이 저하되어 상품의 가치를 떨어뜨린다고 보고하였다. 따라서 외부충격에 품질이 쉽게 손상되는 농산물의 세척 및 탈수 기계시스템 개발 시 압축공기를 이용한 탈수기술을 통해 농산물의 품질손상 없이 수분을 제거할 것으로 판단된다.

한편 Kwon 등(19)은 농가 현장에서 기계적 세척방법이 작업자의 손세척 방법보다 미생물을 효과적으로 감소시킨다고 보고하였다. 또한 Lee 등(20)은 구기자 세척 시 관행방법인 손세척과 비교하여 버블세척 또는 노즐 물 분사 세척이 이물질 제거 및 총 호기성 세균 수 감소에 우수한 효과를 나타냈다고 보고하였다. 따라서 재배 농가에서 수확된 농산물의 세척 및 살균처리 기계화를 통해서 미생물학적 위해요소를 저감화하면 농산물의 품질향상과 인력부족을 완화할 것으로 판단된다.

저장 중 색도와 중량감소 변화

블루베리의 색은 외관적 품질을 결정하는데 있어서 중요한 지표로 사용될 수 있으므로 버블-물 세척 및 버블-이산화염소수 세척 처리에 따른 저장 중 시료의 Hunter L, a, b 값 측정한 결과를 Table 2에 나타내었다. 저장 초기 블루베리의 Hunter L, a, b 값은 모든 처리구가 29.23~29.60, -0.04~0.08, -4.40~4.59로 처리구 간에 유의적인 차이는 보이지 않았다. 또한 12일 저장기간 동안에도 Hunter L, a, b 값은 각 처리구 사이에 유의적인 차이가 나타나지 않았기에 버블-이산화염소수 세척시스템이 블루베리의 색상 품질에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. Shin 등(21)은 50 ppm 이산화염소수 처리된 딸기의 Hunter L, a, b 값이 4°C에서 11일 동안 저장 중 세척처리하지 않은 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. Kim 등(22)도 레드 치커리와 청경채에 50 ppm 이산화염소수를 처리한 결과, 레드 치커리와 청경채가 지니는 고유색과 관련된 색도 품질 측면에서 부정적인 영향이 없었다고 보고하였다. 이전 연구와 본 연구 결과를 종합하여 화학적 살균제로서 이산화염소수는 농산물의 색상 변화를 야기하지 않는 것으로 사료된다.

블루베리 시료를 4°C에서 저장하여 중량 감소율을 측정한 결과(Fig. 2), 저장 12일 후 대조구, 버블-물 세척구, 버블-이산화염소수 세척구 모두 7.47~8.13%의 중량감소를 보였지만 각 처리구 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

따라서 본 연구에서 개발한 버블-이산화염소수 세척시스템은 블루베리의 저장 중 품질 변화에 큰 영향을 주지 않으면서 미생물학적 안전성 확보에 효과적인 것으로 사료되며,

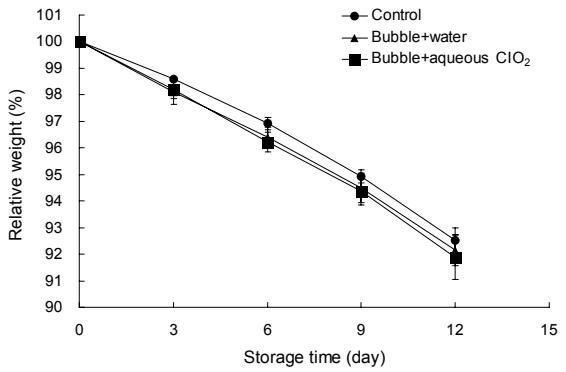

Fig. 2. Change in weight loss of blueberry treated with bubble-aqueous chlorine dioxide washing system during storage.

시스템의 성능은 시간당 블루베리 약 60 kg을 처리할 수 있기 때문에 재배농가의 노동력 절감효과와 함께 국산 블루베리의 품질을 향상시켜 농가의 소득증대에 도움이 될 것으로 기대한다.

요 약

본 연구는 블루베리의 미생물학적 안전성 확보 및 상품성 향상을 위해서 버블-이산화염소수 세척시스템을 개발 및 적용하여 저장 중 블루베리의 품질변화를 분석하였다. 버블-이산화염소수 세척시스템으로 처리된 블루베리는 대조구와 비교하여 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수가 1.0 log CFU/g 이상 감소하였다. 그리고 저장기간 동안 버블-이산화염소수 세척에 의한 미생물 감균효과는 일정하게 유지함을 보였다. 한편 Hunter L, a, b 값 및 중량 감소율의 결과에 있어서 대조구, 버블-물 세척구, 버블-이산화염소수 세척구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 따라서 농가에서 쉽게 활용할 수 있도록 개발한 버블-이산화염소수 세척시스템은 블루베리의 미생물학적 안전성 향상 및 고품질 유지에 효과적인 것으로 판단되며 오미자 등 다른 기능성 소과류에도 활용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2013년 농촌진흥청(과제번호: PJ0084902013/PJ0095952013)의 지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lohachoompol V, Mulholland M, Srzednicki G, Craske J. 2008. Determination of anthocyanins in various cultivars of highbush and rabbiteye blueberries. *Food Chem* 111: 249-254.
2. You Q, Wang B, Chen F, Huang Z, Wang X, Luo PG. 2011. Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chem* 125: 201-208.
3. Pangloli P, Hung YC. 2013. Reducing microbiological safety risk on blueberries through innovative washing technologies. *Food Control* 32: 621-625.
4. Lee HS, Jeong JW, Kim BS, Kwon KH. 2009. Development of a ginseng surface washing system. *Korean J Food Preserv* 16: 541-548.
5. Kim YK, Yoon HS, Choe JS, Lee YH. 2011. Development of a washing machine for paprika. *J Biosystems Eng* 36: 361-368.
6. Spotts RA, Serdani M, Mielke EA, Bai J, Chen PM, Hansen JD, Neven LG, Sanderson PG. 2006. Effect of high-pressure hot water washing treatment on fruit quality, insects, and disease in apples and pears Part Ⅱ. Effect on postharvest decay of d'Anjou pear fruit. *Postharvest Biol Technol* 40: 216-220.
7. 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.
8. Tomás-Callejas A, López-Gálvez F, Sbodio A, Artés F, Artés-Hernández F, Suslow TV. 2012. Chlorine dioxide and chlorine effectiveness to prevent *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* cross-contamination on fresh-cut Red Chard. *Food Control* 23: 325-332.
9. 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.
10. Vaid R, Linton RH, Morgan MT. 2010. Comparison of inactivation of *Listeria monocytogenes* within a biofilm matrix using chlorine dioxide gas, aqueous chlorine dioxide and sodium hypochlorite treatments. *Food Microbiol* 27: 979-984.
11. Zhou B, Feng H, Pearlstein AJ. 2012. Continuous-flow ultrasonic washing system for fresh produce surface decontamination. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 16: 427-435.
12. Hong SG, Park HM, Cho KW, Chang DI. 2007. Development of a washing, sterilization, dehydrating system for leaf vegetables. *J Biosystems Eng* 32: 408-415.
13. Lee HH, Hong SI, Kim D. 2009. Microbiological characterization and chlorine treatment of buckwheat sprouts. *Korean J Food Sci Technol* 41: 452-457.
14. Choi SY, Cho MA, Hong YP. 2008. Effects of washing treatments with different components on removal of pesticide residues and microorganisms in 'Fuji' apples. *Kor J Hort Sci Technol* 26: 251-257.
15. Park JS, Nam ES, Park SI. 2008. Anti-microbial effects of washing and chlorine treatments on fresh fruits. *Korean J Food & Nutr* 21: 176-183.
16. APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. Method 4-54.
17. Wu VCH, Kim B. 2007. Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries. *Food Microbiol* 24: 794-800.
18. 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.
19. Kwon HY, Kim JB, Lee HD, Ihm YB, Kyun KS, Kwon OK, Choi DS, Choi JH. 2006. Reduction of pesticide residues in/on mini-tomato by washing at the different harvest

days after pesticide spray. *Korean J Pestic Sci* 10: 306-312.
20. Lee SK, Han JW, Jeon MJ, Park WJ, Baek SW, Kim W. 2010. The washing characteristics of *Lycium chinense* Miller with different washing methods. *J Biosystems Eng* 35: 244-249.
21. Shin YJ, Song HY, Song KB. 2012. Effect of a combined treatment of rice bran protein film packaging with aqueous chlorine dioxide washing and ultraviolet-C irradiation on the postharvest quality of 'Goha' strawberries. *J Food Eng* 113: 374-379.
22. 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.