

Non-thermal Treatment of Postharvest Strawberry and Establishment of Its Optimal Freezing Condition

Ji-Hoon Kang · Kyung Bin Song*

냉동 딸기의 비가열 전처리 기술 개발 및 최적 냉동조건 수립

강지훈 · 송경빈*

Received: 16 October 2014 / Accepted: 1 December 2014 / Published Online: 31 March 2015
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2015

Abstract To secure the microbial safety of frozen strawberries, they were treated with the combined solution of aqueous chlorine dioxide and acetic acid prior to freezing and the effects of different freezing methods (at -20°C in a freezer, at -70°C in a gas nitrogen convection chamber, and at -196°C in liquid nitrogen) on the quality changes of strawberries were examined. Regarding the color of frozen strawberries, there were negligible changes among freezing treatments. In contrast, vitamin C content and sensory evaluation scores of strawberries frozen at -70°C were the highest among the samples. Drip loss of strawberries frozen at -70°C was the lowest as 14.39%, compared with strawberries frozen at -20 and -196°C . In addition, the effects of combined treatment of 50 ppm chlorine dioxide and 1% acetic acid on the microbial growth in frozen strawberries were investigated, and the populations of preexisting microorganisms in the frozen strawberries were not detected by the combined pre-treatment. These results suggest that rapid freezing at -70°C using a gas nitrogen convection chamber is an appropriate freezing method for preserving quality of strawberries, and as a pre-freezing treatment, the combined treatment of aqueous chlorine dioxide and acetic acid can be effective for improving microbiological safety of frozen strawberries.

Keywords freezing · gas nitrogen convection chamber · microorganism · strawberry

서론

딸기는 최근 소비가 증가하고 있는 과채류로 비타민 C 같은 항산화성 물질을 다량 함유하고 있고(Zheng 등, 2007), 주로 생과로 소비되는 외에 잼, 젤리, 주스 등 가공품으로도 이용된다(Kim 등, 2010a). 국내에서 수확되는 딸기는 2005년 동남아 지역으로 수출을 시작하여 지속적인 증가 추세를 보이고 있는데, 2012년에 2,000톤 이상이 수출되었다(Kim과 Hwang, 2013). 그러나, 딸기는 수확 후 저장 및 유통 과정에서 위해 미생물 증식으로 부패하기 쉽고, 물리적 손상, 호흡 및 증산작용에 의한 무게 감소, 과숙에 따른 변색 등 외관적 품질 저하로 유통기한이 짧다(Vicente 등, 2005; Lara 등, 2006). 또한 수출용 딸기의 경우 수출국 내에서 추가적인 손실이 있을 수 있기 때문에 국내보다 긴 유통기한이 요구되는데, 미생물학적 안전성을 확보할 수 있는 전처리 및 저장성을 높일 수 있는 기술 개발이 필요하다.

딸기와 같은 신선 과채류는 일반적인 물 세척으로는 위해 미생물 제어가 어렵기 때문에, 전해수, 차아염소산나트륨, 유기산, UV-C 조사 등의 비가열 처리를 통해 미생물학적 안전성을 확보해야 할 필요가 있다(Kang 등, 2012). 특히, 이산화염소는 높은 살균력을 가져 기존 널리 사용되고 있는 염소계 살균소독제의 대체재로 사용되며(Keskinen 등, 2009; Song 등, 2012), 유기산 또한 과일 및 채소의 표면 미생물 제어를 위해 사용되는데, 과채류 표면의 pH를 감소시켜 미생물 성장을 저해하거나 비헤리된 분자가 미생물을 불활성화 시킨다고 알려져 있다(Akbas와 Olmez, 2007). 이러한 비가열 처리 방법은 단일처리보다 병합처리 시 더 높은 미생물 저감화 효과를 얻을 수 있다고 알려

J.-H. Kang · K. B. Song
Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea

*Corresponding author (K. B. Song: kbsong@cnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

져 있으나(Kim 등 2010b; Lee 등, 2012), 이산화염소수와 acetic acid 같은 유기산의 병합처리에 관한 연구는 아직 많지 않은 실정이다. 또한, 수출용 딸기의 저장성을 높이기 위해 다양한 저장 방법들이 연구되고 있는데, 딸기는 호흡률이 높아 수확과 동시에 빠르게 저온처리를 하는 것이 필요하다(Kim과 Hwang, 2013). 그리고 딸기의 이러한 특성 때문에 수출 농가에서는 예냉처리를 통해 딸기의 저장성을 높이고 있는데(Choi 등, 2013), 단순한 저온저장 보다는 냉동 같은 장기저장 방법에 관한 연구가 필요하다.

신선 과채류의 냉동은 수확 후 과채류의 저장성을 높이기 위해 널리 이용되는 장기저장 방법 중 하나로, 식품 속에 존재하는 수분을 얼음으로 전환시켜 잔존 미생물의 생육 억제 및 화학적 변화를 지연시킴으로써 품질 손실을 최소화할 수 있다(Park 등, 2014). 그러나 일반적으로 행해지고 있는 -20°C 냉동은 냉동 속도가 느리기 때문에 얼음 재결정화 및 조직 파괴 등 과채류의 관능적 품질을 떨어뜨리는 문제점이 있어서(Goncalves 등, 2011), 이와 같은 문제를 해결하기 위해 급속냉동에 관한 연구가 필요하다.

급속냉동은 -20°C 냉동에 비해 신선 과채류의 조직 파괴나 세포 손상을 낮출 수 있다고 보고된 바 있는데(Van Buggenhout 등, 2006), 대표적인 방법으로 -196°C 에서 boiling point를 갖는 액화질소(liquid nitrogen)를 이용한 방법이 연구되고 있으나, 액화질소를 이용한 냉동은 극히 낮은 온도에서의 냉동으로 오히려 딸기와 같이 연약한 세포 및 조직의 파괴를 야기할 수 있어서 부적절한 방법으로 알려져 있다(Kalichevsky 등, 1995). 최근 gas nitrogen convection chamber를 이용하여 -70°C 부근에서 냉동하는 방법이 연구되고 있는데, 액화질소를 이용한 -196°C 에서 급속 냉동보다 과채류에서 보다 더 좋은 품질을 확보할 수 있다고 알려져 있다(Chassagne-Berces 등, 2010; Park 등, 2014).

따라서 본 연구에서는 수출용 냉동 딸기의 미생물학적 안전성 확보를 위해 냉동 전 '선향' 딸기에 이산화염소수와 acetic acid 단일 처리 및 병합 처리 후 미생물 저감화 효과를 비교 분석함으로써 최적 비가열 전처리 기술을 개발하고, 또한 -20 , -70 , -196°C 의 세 가지 냉동 조건에서 제조된 냉동딸기의 미생물 수 및 품질 변화 측정 결과를 바탕으로 저장성이 높은 수출용 고품질 냉동딸기 생산을 위한 최적 냉동 조건을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료 및 저장 조건. 본 연구에 사용된 딸기는 충남 논산에서 생산된 '선향' 품종으로써, 외관상태 및 숙성도가 일정한 것으로 선별하여 수확 후 즉시 실험에 사용하였다. 냉동 전 딸기는 물 침지 또는 이산화염소수와 acetic acid 병합처리를 한 후, -20 , -70 , -196°C 에서 각각 냉동하였다. 냉동된 딸기 시료는 low density polyethylene (LDPE) bag (21 cm×29 cm, 두께: 0.13 mm)에 개별적으로 밀봉 포장하여 -20°C 에서 한 달간 저장하였다. 대조구로는 4°C 에서 24시간 저장한 딸기를 사용하였다.

이산화염소수 및 acetic acid 침지 처리. 냉동 전 딸기의 비가열 전처리 효과를 비교하기 위하여 예비 실험(data not shown) 및 선행 연구 결과(Jin 등, 2007; Kang 등, 2012)를 바탕으로,

수확 후 딸기를 물, 50 ppm 이산화염소수, 1% acetic acid 용액에 각각 5분간 침지하였고, 침지 처리 후 clean bench에서 30분 동안 air-dried 상태로 표면에 남아있는 수분을 제거하였다. 이산화염소수는 chlorine dioxide generator system (CH₂O Inc., USA)을 이용하여 제조하였고, 농도는 iodometry 방법으로 측정하였으며(APHA, 1995), 선행연구 결과 등을 통해 acetic acid 처리가 딸기의 관능 및 향미 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다(Vandekinderen 등, 2009).

이산화염소수와 acetic acid 병합 처리. 이산화염소수와 acetic acid의 병합처리는 이산화염소수와 acetic acid를 하나의 용액으로 하여 농도가 각각 50 ppm, 1%가 되도록 제조한 뒤 시료를 5분간 침지한 후 clean bench에서 30분 동안 표면에 남아있는 수분을 제거하였다.

냉동 및 해동 조건. 딸기를 -20°C 냉동고(SR644CC, Samsung, Korea), -70°C gas nitrogen convection chamber (Dream and Field, Korea), -196°C 액화질소로 각각 냉동한 뒤, LDPE bag (21 cm×29 cm, 두께: 0.13 mm)으로 밀봉 포장하여 -20°C 냉동고에서 한 달간 저장하였으며, 각 냉동 방법에 따른 냉동효과를 비교 분석하기 위하여 4°C 에서 24시간 동안 해동한 후 실험하였다.

미생물 생육 측정. 딸기 시료 50 g과 0.1% 멸균 펩톤수 450 mL을 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher (MIX 2, AES Laboratoire, France)에서 균질화 시켰다. 균질화 된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 멸균 펩톤수로 10배수 연속 희석한 후 각각의 배지에 분주하여 수행하였다. 총 호기성 세균은 plate count agar (PCA, Difco, USA)를 사용하여 37°C 에서 2일간 배양하였고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (PDA)를 사용하여 25°C 에서 3일간 배양 후 형성된 colony를 계수하였다. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타냈고 3회 반복하여 측정하였다.

비타민 C 함량 측정. 딸기의 비타민 C 함량은 dinitrophenylhydrazine 법으로 측정하였다(Terada 등, 1978). 마쇄한 딸기 시료 5 g을 5% metaphosphoric acid 용액으로 5분간 추출한 후, 원심 분리하여 얻은 상층액 2 mL에 2, 6-dichlorophenol-indophenol 50 μL , 2% thiourea 2 mL, 2, 4-dinitrophenylhydrazine 1 mL을 차례로 넣어 혼합한 뒤 37°C incubator에서 3시간 동안 반응시켰다. 반응 3시간 후 반응액에 85% 황산 5 mL를 첨가하면서 1분간 냉각하고, 실온에서 30분간 방치 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 5% metaphosphoric acid에 녹인 ascorbic acid를 표준품으로 사용하여 총 비타민 C 함량을 계산하였고 3회 반복 측정하였다.

Drip loss 측정. 냉동 딸기의 drip loss를 측정하기 위해 Whatman™ (No. 42) dry filter paper (GE Healthcare Life Sciences, USA) 위에 냉동 딸기를 놓고 4°C 에서 24시간 동안 해동한 뒤 wet filter paper의 무게를 측정하여 다음의 식을 사용하여 drip loss를 계산하였다.

$$\text{Drip loss (\%)} = (W_1 - W_0 / W_s) \times 100$$

이때 W_1 는 해동 24시간 후 wet filter paper 무게, W_0 는 dry filter paper 무게, W_s 는 냉동 딸기의 무게를 나타낸다.

색도 측정. 색도는 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)를 사용하여 Hunter L*, a*, b* 값을 각 시료 5회 반복 측정된 후 평균값으로 나타내었

다. 사용된 표준 백판의 L^* , a^* , b^* 값은 각각 $L=96.79$, $a=-0.13$, $b=2.03$ 이었다.

관능평가. 냉동 딸기의 해동 후 품질 변화를 분석하기 위하여 훈련된 panel 8명이 시료의 외관적 상태(appearance), 냄새(odor), 경도(texture), 신선도(freshness) 및 종합적 기호도(overall acceptability)에 대한 관능평가를 수행하였다. 각 해동 딸기에 대한 평점은 9점 기호 척도법(9점, 매우 좋음; 8-7점, 좋음; 6-5점, 보통; 4-3점, 나쁨; 2-1점, 매우 나쁨)을 사용하여 평가하였다.

통계 처리. 모든 실험은 3회 반복하여 측정하였고, 그 결과는 평균값±표준편차로 나타냈으며, 통계적 분석은 SAS (Statistical Analysis System program version 8.2, SAS Institute Inc., USA) 프로그램을 이용하였으며, $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test 방법을 사용하여 각 처리구간의 유의성을 분석하였다.

결과 및 고찰

비가열 전처리에 따른 미생물 수 변화. 수확 후 딸기에 50 ppm 이산화염소수와 1% acetic acid 단일 처리 및 병합 처리 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수를 측정된 결과(Table 1), 대조구의 총 호기성 세균은 3.62 log CFU/g이었고, 물 침지 처리구는 3.05 log CFU/g이었다. 이러한 결과는 물 침지만으로는 충분히 미생물 수 감소를 얻지 못함을 보여주는 반면에, 이산화염소수와 acetic acid 단일 처리 후 총 호기성 세균 수는 각각 1.94, 2.03 log CFU/g으로 대조구와 비교했을 때 1.68, 1.59 log CFU/g의 미생물 수 감소를 보였다. 이산화염소수 처리에 의한 미생물 수 감소 결과는, Kim 등(2010b)이 '매향' 딸기에 50 ppm 이산화염소수 처리하였을 때 총 호기성 세균이 1.42 log CFU/g 감소하였다는 결과와 Kim 등(2010a)이 '플라멩그' 딸기에 50 ppm 이산화염소수 침지 후 대조구와 비교하였을 때 총 호기성 세균이 1.20 log CFU/g 감소하였다는 연구결과와 유사하였고, 상추에 5분 동안 1% acetic acid 세척 처리로 *E. coli*와 *L. monocytogenes* 수를 각각 2.30, 1.40 log CFU/g 감소시켰다는 결과(Akbas and Olmez, 2007)는 본 연구에서의 실험재료와는 다르지만 감균효과에서 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 연구 결과들은 이산화염소수 처리 및 acetic acid 처리가 단순 물 침지 처리보다 미생물 수 감소에 있어서 보다 효과적인 방법임을 보여준다. 또한, 단일처리와는 달리 이산화염소수와 acetic acid 병합처리구에서는 총 호기성 세균이 검출되

지 않았는데(Table 1), 그 이유로는 병합 처리 시 단일처리에 비하여 synergy effect가 작용하여 높은 미생물 감균효과를 얻을 수 있었다고 판단된다. Jung 등(2014)은 '설향' 딸기에 50 ppm 이산화염소수와 0.3% 푸마르산을 병합처리 하였을 때 1.97 log CFU/g 감소하였다고 보고하였고, Kim 등(2009)은 브로콜리 싹에 50 ppm 이산화염소수 및 0.5% 푸마르산 병합처리 하였을 때 2.70 log CFU/g의 감소효과를 보였다고 보고하였는데, 이러한 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리 연구 결과 및 본 연구 결과를 통하여 이산화염소수와 유기산의 병합 처리가 단일처리보다 부가적 효과에 의해 미생물 수 감소에 더욱 효율적임을 나타낸다.

비가열 처리 후 딸기의 효모 및 곰팡이 수 변화도 총 호기성 세균의 결과와 유사한 경향을 나타냈다(Table 1). 대조구의 경우 4.07 log CFU/g이었고, 물 침지 처리구는 3.70 log CFU/g 인 반면에, 이산화염소수와 acetic acid 단일처리구는 각각 2.50, 2.35 log CFU/g으로 1.57, 1.72 log CFU/g의 감균 효과를 나타냈다. 또한 병합처리구에서의 효모 및 곰팡이는 총 호기성 세균의 결과와 마찬가지로 검출되지 않았다. 따라서 본 연구 결과로부터 이산화염소수와 acetic acid의 단일 처리보다 병합 처리가 냉동딸기의 미생물학적 안전성을 확보할 수 있는 효과적인 전처리 방법이라고 생각되고, 수출용 냉동딸기 제조 시 효율적인 전처리 기술로써 사용될 수 있다고 판단되어 최적 냉동 전처리 조건으로 상기 병행처리를 한 후에 냉동딸기를 제조하였다.

냉동조건에 따른 냉동딸기의 미생물 수 및 품질 변화에 미치는 영향. 수확 후 딸기에 이산화염소수와 acetic acid 병합 처리 후 -20, -70, -196°C로 각각 냉동하여 냉장온도(4°C)에서 해동한 뒤 미생물 수, 품질 변화 및 관능평가를 조사하였다(Table 2, 3, 4). -20, -70, -196°C에서 냉동된 대조구 및 세척 처리구를 해동 후 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수 변화를 조사한 결과(Table 2), 각 냉동온도에서 냉동된 대조구의 총 호기성 세균은 각각 3.72, 3.57, 3.61 log CFU/g으로, 냉동 전 대조구의 총 호기성 세균인 3.62 log CFU/g과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 Flessa 등(2005)이 딸기에 *Listeria monocytogenes*

Table 1 Effect of non-thermal treatment on the microbial populations in fresh strawberries (log CFU/g)

Treatment ¹⁾	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Control	3.62±0.07 ^{A2)}	4.07±0.08 ^A
Water	3.05±0.07 ^B	3.70±0.04 ^B
ClO ₂	1.94±0.34 ^C	2.50±0.18 ^C
Acetic acid	2.03±0.58 ^C	2.35±0.49 ^C
Combined treatment	ND ³⁾	ND

¹⁾Control, no treatment; Water, water washing; ClO₂, 50 ppm aqueous chlorine dioxide; Acetic acid, 1% acetic acid solution; Combined treatment, 50 ppm ClO₂+1% acetic acid.

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

³⁾Not detected (<1 log CFU/g).

Table 2 Effect of non-thermal treatment on the microbial populations in frozen strawberries after thawing at 4°C (log CFU/g)

Freezing condition ¹⁾	Treatment ²⁾	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
-20°C	Control	3.72±0.05 ^{A3)}	4.04±0.05 ^A
	Water	3.00±0.02 ^B	3.78±0.12 ^B
	Combined	ND ⁴⁾	ND
-70°C	Control	3.57±0.07 ^A	4.09±0.08 ^A
	Water	3.01±0.02 ^B	3.68±0.04 ^B
	Combined	ND	ND
-196°C	Control	3.61±0.04 ^A	4.06±0.06 ^A
	Water	3.04±0.06 ^B	3.81±0.11 ^B
	Combined	ND	ND

¹⁾-20°C in a freezer, -70°C in a gas nitrogen convection chamber, and -196°C in liquid nitrogen.

²⁾Control, no treatment; Water, water washing; Combined, 50 ppm ClO₂+1% acetic acid.

³⁾Any means in the same column (A-B) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

⁴⁾Not detected (<1 log CFU/g).

Table 3 The changes in color value, vitamin C content, and drip loss in frozen strawberries after thawing at 4°C

Treatment	Color			Vitamin C (mg/ 100 g FW)	Drip loss (%)	
	L*	a*	b*			
Fresh strawberry ¹⁾	36.70±0.76 ^{A2)}	33.72±0.59 ^A	17.21±0.78 ^A	35.55±0.19 ^A	-	
-20°C	Control	36.78±1.00 ^A	33.29±0.42 ^A	16.92±0.80 ^A	34.35±0.15 ^D	26.14±2.08 ^B
	Water	34.95±0.55 ^A	33.22±0.86 ^A	16.20±0.34 ^A	34.16±0.15 ^D	29.59±1.60 ^A
	Combined	35.81±0.54 ^A	32.96±0.73 ^A	15.85±0.66 ^A	34.58±0.03 ^C	29.57±4.08 ^A
-70°C	Control	36.26±1.09 ^A	33.89±0.91 ^A	16.22±0.95 ^A	35.33±0.12 ^{AB}	14.38±1.05 ^C
	Water	35.82±0.52 ^A	32.93±0.36 ^A	15.85±0.25 ^A	35.49±0.03 ^A	15.36±0.02 ^C
	Combined	36.11±0.32 ^A	32.84±0.72 ^A	15.66±0.46 ^A	35.20±0.18 ^B	13.44±0.61 ^C
-196°C	Control	36.44±0.94 ^A	33.63±0.93 ^A	16.58±0.69 ^A	34.33±0.09 ^D	15.41±1.44 ^C
	Water	36.09±0.61 ^A	32.91±0.28 ^A	15.73±0.48 ^A	34.20±0.06 ^D	15.82±0.45 ^C
	Combined	36.45±0.49 ^A	32.57±0.45 ^A	15.94±0.31 ^A	34.23±0.04 ^D	16.58±1.15 ^C

¹⁾No freezing.²⁾Any means in the same column (A-C) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.**Table 4** Sensory evaluation of frozen strawberries after thawing at 4°C

Treatment	Sensory evaluation					
	Appearance	Odor	Texture	Freshness	Overall acceptability	
Fresh strawberry ¹⁾	9.00±0.00 ^{A2)}	9.00±0.00 ^A	9.00±0.00 ^A	9.00±0.00 ^A	9.00±0.00 ^A	
-20°C	Control	5.17±0.41 ^{CD}	4.63±0.92 ^{DE}	4.00±0.63 ^E	3.88±1.25 ^{EF}	4.17±0.41 ^{FG}
	Water	4.16±0.41 ^{EF}	4.25±0.46 ^{EF}	3.50±0.55 ^E	3.63±1.06 ^F	3.75±0.71 ^{GH}
	Combined	3.67±1.21 ^F	3.83±0.75 ^F	3.17±0.41 ^E	3.60±0.89 ^F	3.40±0.89 ^H
-70°C	Control	5.67±0.52 ^C	5.50±0.84 ^{BC}	6.33±0.52 ^{BC}	5.67±0.52 ^{BC}	5.88±0.35 ^C
	Water	5.75±0.46 ^C	5.38±0.74 ^{BC}	6.25±0.89 ^{BC}	5.50±0.93 ^{BCD}	6.13±0.64 ^C
	Combined	7.13±0.35 ^B	6.00±0.53 ^B	7.00±1.07 ^B	6.38±1.06 ^B	7.13±0.35 ^B
-196°C	Control	5.33±0.52 ^{CD}	5.17±0.41 ^{CD}	5.50±0.55 ^{CD}	5.33±0.52 ^{CD}	5.67±0.52 ^{CD}
	Water	4.75±0.89 ^{DE}	4.63±0.52 ^{DE}	5.13±0.64 ^D	4.63±0.74 ^{DE}	4.50±0.76 ^{EF}
	Combined	4.63±0.74 ^{DE}	4.88±0.35 ^{CDE}	5.25±1.16 ^D	4.88±0.83 ^{CD}	5.00±1.07 ^{DE}

¹⁾No freezing.²⁾Any means in the same column (A-H) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

접종 후 -20°C에서 냉동하여 28일 간 저장한 뒤 미생물 수를 측정하였을 때, 냉동에 따른 미생물 수 감소효과는 미비하였으며 30일 정도의 짧은 저장 기간 동안에는 냉동 딸기에서 *L. monocytogenes* 같은 병원성 균의 생존 가능성이 높다고 보고한 것과 유사한 결과로 냉동처리만으로는 미생물 제어가 어렵다는 것을 보여준다. 반면에, 대조구와는 달리 이산화염소수와 acetic acid 병합 처리된 딸기의 경우, 냉동 전과 마찬가지로 해동 후 미생물이 검출되지 않아 비가열 전처리에 의한 미생물 억제 효과가 유지됨을 확인하였다. 효모 및 곰팡이 수도 총 호기성 세균의 결과와 유사한 경향을 보였는데, -20, -70, -196°C로 냉동된 대조구의 효모 및 곰팡이 수는 해동 후 각각 4.04, 4.09, 4.06 log CFU/g으로 신선 딸기의 4.07 log CFU/g과 유의적인 차이가 없었고, 병합 처리구 역시 총 호기성 세균과 동일하게 검출되지 않았다. 이러한 결과로부터 냉동 전 비가열 처리를 통해서 수출용 냉동딸기의 미생물학적 안전성을 확보해야 한다고 판단된다.

대조구 및 세척 처리구를 -20, -70, -196°C로 냉동한 뒤 4°C에서 해동하여 색도, 비타민 C 함량 및 drip loss를 측정하였다(Table 3). 딸기의 경우, 숙성 정도를 파악할 수 있는 Hunter

a* 값은 숙성이 진행될수록 증가하는 경향을 보이는데(Kim 등, 1998), 높은 a* 값을 가지는 딸기는 과숙된 것으로 저장성이 낮다고 일반적으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 냉동 딸기를 각 냉동 온도(-20, -70, -196°C)로 냉동 후 -20°C 냉동고에서 한 달간 저장한 뒤 색도를 측정한 결과, 냉동 온도와는 상관없이 a* 값에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과로부터 냉동 조건과 관계없이 냉동 처리가 딸기의 숙성을 지연시켜 저장성을 오래 유지할 수 있는 적절한 저장방법이라고 생각된다. 또한, 대조구 및 세척 처리구 역시 Hunter L*, a*, b* value에 있어서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 '플라멩고' 딸기에 이산화염소수를 처리하여 저장 12일 후에 색도를 측정했을 때 L*, a*, b* 값 모두 유의적인 차이가 없었다는 결과와 유사하였다(Kim 등, 2010a). 또한, Song 등(2011)의 연구에서도 저장 12일 후 이산화염소수 처리된 방울토마토의 색도를 측정한 결과, 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고한 바 있다. 이러한 결과 및 본 연구결과로부터 세척 처리는 냉동딸기의 해동 후 색도에 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

냉동딸기를 해동한 후 비타민 C 함량을 측정할 결과, 세척 처리에 따른 함량 차이는 보이지 않았으나 냉동 온도에 따라

다소 차이가 있음을 확인하였다(Table 3). Jung 등(2014)은 ‘설향’ 딸기에 이산화염소수와 푸마르산 병합 처리 후 저장 기간 동안 비타민 C 함량 변화를 측정하였는데, 저장 기간이 길어질수록 모든 처리구의 비타민 C 함량은 감소하지만 세척 처리에 따른 유의적인 차이는 보이지 않는다고 보고하여 본 연구결과와 유사하였다. 본 연구에서의 수확 후 신선 딸기의 비타민 C 함량은 35.55 mg/100 g FW로, Lee와 Kader(2000)가 ‘여봉’ 딸기의 비타민 C 함량이 65 mg/100 g이라고 보고한 결과와는 다소 차이를 보였다. 이러한 차이는 본 실험에 사용된 ‘설향’ 딸기의 품종, 수확 시기 및 숙성도의 차이 때문이라고 판단되며, Bardonaba와 Terry(2010)도 딸기의 비타민 C 함량은 품종에 따라 큰 차이를 나타낸다고 보고한 바 있다. 각 냉동 온도에서 냉동된 딸기를 해동하여 비타민 C 함량을 비교한 결과, 신선 딸기의 비타민 C 함량인 35.55 mg/100 g FW와 해동 후 비타민 C 함량이 35.34 mg/100 g FW인 -70°C 냉동딸기가 가장 유사한 값을 나타내었다. 그러나 -20°C , -196°C 에서 냉동된 딸기의 경우 비타민 C 함량이 각각 34.36, 34.25 mg/100 g FW로, 수확 후 신선 딸기와 1.2 mg/100 g의 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 -20°C 에서 냉동될 때 생성되는 얼음 결정이 세포 밖에서 많이 형성되기 때문에 해동 시 커진 공간으로부터 내부 용액의 용출이 용이해져 수용성 비타민 C 손실이 많아졌기 때문이고(Pukszta와 Palich, 2007; Holzwarth 등, 2012), -196°C 의 액화질소를 이용한 냉동의 경우에는 급격하게 낮은 온도에서 냉동되었기 때문에 -70°C 냉동과 달리 해동 시 손상된 세포 및 조직으로부터 보다 쉽게 비타민 C가 유리되었기 때문이라고 판단된다(Kalichevsky 등, 1995).

색도 및 비타민 C 함량과 더불어 냉동 딸기의 품질 지표 중 하나로 해동 시 drip loss를 측정하였다(Table 3). Drip loss 역시 세척 처리에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았으나 냉동 방법에 따라서는 차이를 보였다. -20°C 냉동 딸기의 drip loss는 28.43%, -70°C 와 -196°C 냉동 딸기는 각각 14.39, 15.94%로 나타났다. 이러한 결과는 비타민 C 함량 변화와 유사한 결과로 -20°C 냉동의 경우, 얼음 재결정화 및 거대 얼음 형성으로 해동 과정 중 많은 drip loss가 일어났다고 생각되며(Goncalves 등, 2011), -196°C 냉동은 극도로 낮은 온도에서의 냉동으로 조직 손상 등의 이유로 -70°C 냉동보다 높은 drip loss를 보인 것이라고 판단된다.

관능적 특성은 소비자 선호도에 있어서 매우 중요한 요소이기에 냉동딸기의 전체적인 품질 평가를 위해 관능평가를 실시하였다(Table 4). 냉동딸기의 관능적 품질은 세척 및 냉동 방법에 따라 유의적인 차이가 있었으나 세척 처리보다 냉동 방법에 의해서 보다 큰 차이를 보였다. 신선 딸기를 기준(9점)으로 각 냉동방법에 따라 냉동된 딸기를 해동한 뒤 외관적 상태(appearance), 냄새(odor), 경도(texture), 신선도(freshness) 및 종합적 기호도(overall acceptability)를 조사한 결과, -70°C 냉동 딸기의 모든 관능적 품질 지표 점수가 -20°C , -196°C 냉동 딸기보다 높게 나타났다. Park 등(2014)은 도라지, 고사리를 각각 -20°C , -70°C , -196°C 에서 냉동한 뒤 4°C 에서 해동하여 관능평가를 실시하였는데, -70°C 냉동 도라지, 고사리가 -20°C , -196°C 냉동보다 좋은 평가를 받아 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 결과를 통해, -70°C 급속냉동 방법에 의해 냉동된 딸기가 해동 후 신선 딸기와 가장 유사한 관능적 품질을 유지할 수 있다고 판단된다. 그리고 식품공전의 냉동식품 기준규격 및 첨가물공전에 의하면 이산화염소수는 최종제품에 잔존해서는 안

되는데, 본 연구에서 최종제품인 냉동딸기에서는 이산화염소수가 검출되지 않았다. 따라서 본 연구결과로부터 비가열 세척처리는 미생물학적 안전성을 확보하면서 비타민 C 함량, drip loss 및 관능적 품질에 영향을 끼치지 않고, 또한 수출용 냉동딸기 제조를 위한 냉동조건으로는 -70°C 급속 냉동이 조직감 보존, 내부 영양성분 및 관능적 품질 유지 측면에서 보다 적절한 방법이라고 판단된다.

초 록

수출용 냉동딸기 제조 시 미생물학적 안전성 확보를 위한 수단으로 이산화염소수와 acetic acid 병합처리를 최적 비가열 전처리 기술로써 적용하여 -20°C , -70°C , -196°C 로 냉동한 후 미생물 수, 품질변화 및 관능평가를 조사하였다. 냉동방법 및 세척 처리에 따른 색도 차이는 나타나지 않았고, 비타민 C 함량은 -70°C 냉동에서 35.33 mg/100 g FW로 가장 대조구와 유사하였으며, drip loss도 -70°C 냉동이 14.39%로 가장 낮게 나타났다. 관능평가 역시 -70°C 냉동이 -20°C , -196°C 냉동보다 높은 점수를 받았으며, 세척처리는 비타민 C 함량, drip loss 및 관능평가에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 냉동딸기에 50 ppm 이산화염소수와 1% acetic acid를 병합 처리하여 냉동 후 미생물 수 변화를 측정된 결과, 냉동 전과 같이 병합처리된 딸기 시료에서 미생물이 검출되지 않았다. 따라서 저장성이 높은 수출용 냉동딸기 생산을 위해서는 gas nitrogen convection chamber를 이용한 -70°C 에서의 급속냉동 처리가 보다 효과적인 냉동방법이며, 냉동 처리만으로는 미생물 제거가 어렵기 때문에 냉동 전 비가열 전처리를 통해서 냉동딸기의 미생물학적 안전성을 확보해야 한다고 판단된다.

Keywords 냉동 · 딸기 · 미생물 · 비가열 전처리

References

- Akbas MY and Olmez H (2007) Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce by dip wash treatments with organic acids. *Lett Appl Microbiol* **44**, 619–24.
- APHA (1995) In *Standard methods for the examination of water and wastewater*, (19th ed.), American Public Health Association, USA.
- Bardonaba JG and Terry LA (2010) Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chem* **122**, 1020–6.
- Chassagne-Berces S, Fonseca F, Citeau M, and Marin M (2010) Freezing protocol effect on quality properties of fruit tissue according to the fruit, the variety and the stage of maturity. *LWT-Food Sci Technol* **43**, 1441–9.
- Choi HG, Kang NJ, Moon BY, Kwon JK, Rho IR, Park KS et al. (2013) Changes in fruit quality and antioxidant activity depending on ripening levels, storage temperature, and storage periods in strawberry cultivars. *Korean J Hort Sci Technol* **31**, 194–202.
- Flessa S, Lusk DM, and Harris LJ (2005) Survival of *Listeria monocytogenes* on fresh and frozen strawberries. *Int J Food Microbiol* **101**, 255–62.
- Goncalves EM, Abreu M, Brandao TRS, and Silva CLM (2011) Degradation kinetics, of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica loeracea* L. spp. Italica) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. *Int J Refrig* **34**, 2136–44.
- Holzwarth M, Korhummel S, Carle R, and Kammerer DR (2012) Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria x*

- ananassa* Duch.). *Food Res Int* **48**, 241–8.
- Jin YY, Kim YJ, Chung KS, Won MS, and Song KB (2007) Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on the microbial growth and qualities of strawberries during storage. *Food Sci Biotechnol* **16**, 1018–22.
- Jung SH, Kang JH, Park SJ, Seong KH, and Song KB (2014) Quality changes in ‘Elliot’ blueberries and ‘Sulhyang’ strawberries packed with two different packaging materials during refrigerated storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* **43**, 901–8.
- Kalichevsky MT, Knorr D, and Lillford PJ (1995) Potential food applications of high-pressure effects on ice-water transitions. *Trends Food Sci Technol* **6**, 253–9.
- Kang JH, Park JY, Oh DH, and 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**, 1632–8.
- Keskinen LA, Burke A, and 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**, 134–40.
- Kim HM and Hwang SJ (2013) Qualitative changes in maturity, precooling temperatures and light illumination on the post-harvest management of the fruits in ‘Maehyang’ strawberry for export. *Prot Horti Plang Fac* **22**, 432–8.
- Kim JG, Hong SS, Jeong ST, Kim YB, and Jang HS (1998) Quality change of “Yeobong” strawberry with CA storage conditions. *Korean J Food Sci Technol* **30**, 871–6.
- Kim JY, Kim HJ, Lim GO, Jang SA, and Song KB (2010a) Effects 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**, 138–45.
- Kim JY, Kim HJ, Lim GO, Jang SA, and Song KB (2010b) The effects of aqueous chlorine dioxide or fumaric acid treatment combined with UV-C on postharvest quality of ‘Maehyang’ strawberries. *Postharvest Biol Tec* **56**, 254–6.
- Kim YJ, Kim MH, and Song KB (2009) Efficacy of aqueous chlorine dioxide and fumaric acid for inactivation pre-existing microorganisms and *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on broccoli sprouts. *Food Control* **20**, 1002–5.
- Lara I, Garcia P, and Vendrell M (2006) Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria ananassa*) fruit. *Sci Horti* **109**, 48–53.
- Lee JH, Chun HH, Oh DH, Park J, Won M, and Song KB (2012) Sensory and microbiological qualities of Romain lettuce and kale affected by a combined treatment of aqueous chlorine dioxide and ultraviolet-C. *Hort Environ Biotechnol* **53**, 387–96.
- Lee SK and Kader AA (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol Tec* **20**, 207–20.
- Park SJ, Mijan MA, and Song KB (2014) Quality changes in *Pteridium aquilinum* and the root of *Platycodon grandiflorum* frozen under different conditions. *Int J Refrig* **43**, 90–6.
- Pukszta T and Palich P (2007) The effect of freezing conditions of strawberry storage on the level of thawing drip loss. *Acta Agrophys* **9**, 203–8.
- Song HJ, Choi DW, and Song KB (2011) Effect of aqueous chlorine dioxide and UV-C treatment on the microbial reduction and color of cherry tomatoes. *Hort Environ Biotechnol* **52**, 488–93.
- Song HJ, Chun HH, and 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**, 402–7.
- Terada M, Watanabe Y, Kunitomo M, and Hayashi E (1978) Differential rapid analysis of ascorbic-acid and ascorbic-acid 2-sulfate by dinitrophenylhydrazine method. *Anal Biochem* **84**, 604–8.
- Van Buggenhout S, Lille M, Messagie I, Van Loey A, Autio K, and Hendrickx M (2006) Impact of pretreatment and freezing conditions on the microstructure of frozen carrots: quantification and relation to texture loss. *Eur Food Res Technol* **222**, 543–53.
- Vandekinderen I, Devlieghere F, De Meulenaer B, Ragaert P, and Van Camp J (2009) Optimization and evaluation of a decontamination step with peroxyacetic acid for fresh-cut produce. *Food Microbiol* **26**, 882–8.
- Vicente AR, Costa ML, Martinez GA, Chaves AR, and Civello PM (2005) Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biol Tec* **38**, 213–22.
- Zheng Y, Wang SY, Wang CY, and Zheng W (2007) Changes in strawberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity in response to high oxygen treatments. *LWT-Food Sci Technol* **40**, 49–57.