

Pulsed electric field 공정을 이용한 감귤 주스와 당근 주스 살균

이승조 · 최혁준¹ · 민세철*
서울여자대학교 식품공학과, ¹비케이바이오

Pulsed electric field pasteurization of mandarin and carrot juices

Seung Jo Lee, Hyuk Joon Choi¹, and Sea Cheol Min*

Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University
¹BK bio

Abstract Effects of pulsed electric field (PEF) processing on growth inhibition of indigenous aerobic microorganisms and the quality of mandarin and carrot juices were investigated. Mandarin juice was PEF-treated at 15-23 kV/cm for 23-241 μ s, whereas carrot juice was treated at 13-14 kV/cm for 127-198 s. At 25°C (inlet temperature), PEF treatments at 23 kV/cm for 104 μ s and 14 kV/cm for 198 μ s reduced the numbers of total mesophilic aerobes by 6.3 \pm 0.8 and 5.5 \pm 0.9 log CFU/mL in mandarin juice and carrot juice, respectively. Elevation of inlet temperature to 40°C increased the reduction rates in both juices. In general, the treatments resulting in the highest microbial inhibition at 25 and 40°C did not alter the physicochemical and nutritional properties of both juices (p >0.05). PEF is a feasible technology to pasteurize mandarin and carrot juices commercially, with minimal quality deterioration.

Keywords: non-thermal treatment, pulsed electric field, mandarin juice, carrot juice, pasteurization

서 론

감귤은 비타민 C와 A, 엽산, 식이 섬유, 그리고 무기질과 같은 주요 영양소뿐만 아니라 플라보노이드, 페놀산, 카로테노이드 등의 다양한 생리 활성 성분들을 포함하고 있다(1). 이처럼 감귤에는 건강에 도움이 되는 다양한 성분들이 풍부하므로 감귤을 가공한 감귤 주스는 오래전부터 꾸준히 소비되었다(1). 당근 주스 또한 비타민 및 페놀류와 같은 건강에 유효한 성분을 다량 포함하고 있어 최근 건강 식품 소비자들에게 많은 관심을 받고 있다(2).

주스 제품의 저장성 및 미생물 안전성을 높이기 위해 열교환기를 이용한 가열 살균이 주로 사용되고 있다(3,4). 그러나 가열 살균 중 다량의 열이 주스로 유입되면서 영양성분 파괴, 색 변화, 향기 감소, 그리고 새로운 화합물 형성 등 주스 품질에 부정적인 영향을 줄 수 있다(5). 최근 과채류 고유의 향미와 영양소가 유지된 고품질 신선 과채류 주스에 대한 소비자들의 요구가 증가함에 따라 기존 가열 살균 방법을 대체할 새로운 살균 기술 개발이 활발히 연구되고 있다(6,7).

고전압 펄스전기장(pulsed electric field, PEF) 처리는 비가열 살균 기술로서 살균 중 식품 내 열 유입을 최소화할 목적으로 개발되었다. PEF 처리는 식품에 수만 볼트 이상의 전압을 순간적

으로 식품에 가함으로써 식품에 존재하는 미생물의 세포막에 비가역적인 손상을 일으켜 미생물을 저해시킨다(8). Altuntas 등(9)은 30 kV/cm (전기장 세기)-131 μ s (처리 시간)의 PEF 처리를 이용하여 체리 주스에 접종된 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella aureus*, *Listeria monocytogenes*를 포함한 7종의 식중독균을 3.2-6.6 log CFU/mL 저해시켰다고 보고하였다. Saldaa 등(10)은 사과 주스를 25 kV/cm-78.5 μ s의 PEF 조건으로 처리하여 6.0 log CFU/mL의 *E. coli* O157:H7을 저해시켰고, Milani 등(11)은 9종의 맥주에 접종된 *Saccharomyces cerevisiae*를 45 kV/cm-70 μ s로 PEF 처리하여 0.2-2.2 log CFU/mL를 저해시켰다고 보고한 바 있다. Min 등(3,12)은 양산용 규모(commercial scale)의 PEF 장비를 사용하여 40 kV/cm-92와 57 μ s의 PEF 조건에서 오렌지 주스와 토마토 주스 내의 토착 미생물을 6 log CFU/mL 이상 저해시켰고, Jin 등(13)은 양산용 PEF 장비를 이용하여 석류 주스를 36 kV/cm-72 μ s 조건으로 처리하여 5 log CFU/mL 이상의 *E. coli* 35218을 저해하였다.

최근 국내에서도 실험실 규모 이상의 PEF 장비를 이용한 식품 가공 연구가 진행되고 있으나 아직 이를 이용한 주스 살균에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 국산 대표 주스인 감귤 주스와 당근 주스를 파일럿 규모의 PEF 처리를 이용하여 살균하면서 최적 처리 조건을 결정하고, 신선 주스의 품질과 최적 조건에서 살균된 주스의 품질을 비교하여 PEF로 살균된 주스의 품질을 평가하는 것이었다.

재료 및 방법

재료

제주산 감귤과 당근을 착즙 후 농축하여 제조한 60°Bx의 감귤 주스 농축액(Ilhae Co., Ltd., Jeju, Korea)과 35°Bx의 당근 주스 농

*Corresponding author: Sea Cheol Min, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, Seoul 01797, Korea
Tel: +82-2-970-5635
Fax: +82-2-970-5977
E-mail: smin@swu.ac.kr
Received March 30, 2017; revised May 13, 2017;
accepted May 15, 2017

축액(Ilhae Co., Ltd.)을 -20°C 이하에서 냉동 저장하였고, PEF 처리 전 감귤 주스 농축액과 당근 주스 농축액을 각각 11과 7°Bx에 맞춰 증류수로 희석하여 주스 시료를 준비하였다.

PEF 장비

PEF 장비(HVP 5 clea, DIL, Quakenbrueck, Germany)는 5 kW급 펄스 발생기와 연속식 처리 챔버, 그리고 장치와 디스플레이 간 인터페이스로 구성되어 있다. 처리 챔버는 colinear 구조로서 스테인리스 스틸로 되어있고, 10 mm의 전극 간격(gap distance)을 가지고 있다. 펄스의 형태는 bipolar square wave(14)이었다. 시료는 연동 펌프(H-07553-70, Cole-Parmer Instrument Co., Vernon Hills, IL, USA)를 이용하여 시간당 30 L의 유속으로 흘려보냈고, 시료가 이동하는 관(내경 10 mm)을 27 ± 2 와 $45\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 설정한 항온수조에 통과시켜 시료의 주입 온도를 25 ± 2 와 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 조절하였다. 시료 온도는 배출구에서 배출되는 시료의 품온을 열전기쌍(Center 305, Shanghai Total Meter Co. Ltd., Shanghai, China)으로 측정하였다. 그리고 처리된 주스는 즉시 멸균 튜브(50 mL Conical tube, SPL Co., Pocheon, Korea)에 받은 후(30 mL) 바로 얼음냉수($1-3^{\circ}\text{C}$)가 담긴 아이스박스로 이동시켜 냉각시켰다.

토착 미생물 저해 실험

PEF 처리에 의한 감귤 주스와 당근 주스 내의 증온 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 저해도를 측정하였다. PEF 처리 전 감귤 주스와 당근 주스를 25°C 의 배양기(VS1203P1, Vision Scientific Co., Bucheon, Korea)에서 3-5일간 방치하여 토착 미생물을 증식시켰다($6.6-7.0 \log \text{CFU/mL}$). 감귤 주스는 25°C 로 주입하여 15-23 kV/cm의 전기장 세기로 23-211 μs 의 시간 동안 PEF 처리하였고, 당근 주스는 25°C 로 주입하여 14 kV/cm로 170-198 μs 동안 처리하였다. 주스의 주입 온도의 살균 효과에 대한 영향을 확인하기 위하여 감귤 주스와 당근 주스의 온도를 상기 서술한 방법을 통해 40°C 로 조절하였고 이 후 감귤 주스는 20 kV/cm로 129 μs 동안 처리하였고, 당근 주스는 13 kV/cm로 124 μs 동안 처리하였다. 감귤 주스와 당근 주스의 전기전도도(electric conductivity)는 각각 0.39와 0.70 S/m이었고, 두 주스의 처리는 처리 중 절연파괴(dielectric breakdown)가 일어나지 않으며 처리 후 주스의 품온이 각각 62와 65°C 를 넘지 않는 조건에서 이루어졌다.

PEF 처리의 세기를 나타내는 변수인 에너지 밀도(specific energy)는 다음과 같이 계산되었다.

$$\text{에너지 밀도(kJ/L)} = \frac{1}{m} \times V \times I \times t$$

여기에서 m은 주스의 부피(L), V는 전압(V), I는 전류 강도(A), 그리고 t는 처리 시간(μs)이다. 본 연구에서 사용한 처리 조건들을 주스 별로 Table 1에 나타내었다.

비처리 주스와 PEF 처리 주스는 멸균된 0.1% (w/w) 펩톤수로 희석 후 평판우무(plate count agar, PCA)배지와 감자포도당우무(potato dextrose agar, PDA)배지에 평판도말 하였다. 평판우무배지와 감자포도당우무배지는 각각 37°C 에서 1-2일간 그리고 25°C 에서 3-5일간 배양되었고 배양 후 각각의 배지에서 증온 호기성 세균과 효모 및 곰팡이를 계수하였다. 평판우무, 감자포도당우무, 그리고 펩톤수는 Difco Laboratories (Detroit, MI, USA)에서 구입하였다.

색 측정

주스 3 mL를 페트리접시(내경 35 mm)에 담고 표준 백색판에 올려놓은 후 색차계(Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 주스의 Hunter L (lightness, 명도), a (redness, 적색도), b (yellowness, 황색도)를 측정하였다. 색차계는 표준 백색판(L=94.11, a=-0.62, b=3.21)으로 보정하였다.

주스의 갈변도는 Zhou 등(15)의 방법에 따라 측정하였다. 시료는 원심분리기(Supra 22k, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)를 이용하여 4°C 에서 10,000 \times g로 20분 동안 원심분리하였고, 분리된 상등액을 0.45 μm 주사기 필터(6750-2504, Whatman Co., Piscataway, NJ, USA)로 여과하여 분석 시료를 준비하였다. 갈변도는 분광광도계(X-ma 1000, Human Co., Seoul, Korea)를 이용하여 420 nm의 파장에서 측정된 흡광도의 값으로 나타내었다.

당도 및 pH 측정

당도는 휴대용 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, pH는 피에이치미터(FiveEasy™ Plus, Met-

Table 1. Parameters of pulsed electric field (PEF) treatment applied to mandarin and carrot juices

Sample ¹⁾	Inlet temperature (°C)	Electric field strength (kV/cm)	Pulse width (μs)	Frequency (Hz)	Total treatment time (μs)	Specific energy (kJ/L)	Temperature rise (°C)	Flow rate (L/h)
Mandarin juice	25	15	32	10	45	23	3	30
				80	241	160	21	
		21	24	15	23	26	4	
				50	113	164	21	
		23	20	45	85	163	23	
				50	94	189	26	
55	104	211	29					
Carrot juice	40	20	20	40	75	129	21	30
				60	170	220	32	
	25	14	30	65	184	239	35	
				70	198	258	38	
	40	13	30	45	127	141	24	

¹⁾Electric conductivity values for mandarin and carrot juice are 0.40 and 0.74 S/m, respectively.

ler Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

비타민 C 농도 측정

비타민 C 농도는 Kim 등(16)의 방법에 따라 고성능액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography, HPLC, Agilent 110 Series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 정량 분석하였다. 분석 시료는 갈변도 측정과 동일한 방법으로 준비하였다. 이동상 용매는 5 mM 테트라뷰틸암모늄 포스페이트-아세트나이트릴(75:25, v/v)을 사용하였고, 분당 0.6 mL의 유속으로 흐르게 하였다. 분석 시료의 주입량은 20 μ L이었고, UV-Vis 검출기(G1315B, Agilent Technologies)를 이용하여 254 nm의 파장에서 비타민 C를 검출하였다. 컬럼은 Symmetry C18 (5 μ m, 내경 4.6 mm×250 mm, Waters Co., MA, USA)을 사용하였고, 분석 온도는 컬럼 오븐(G1316A, Agilent Technologies)을 이용하여 23±2°C로 유지하였다. 아스코르브산 표준물질(ascorbic acid)은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다.

총 카로테노이드 농도 측정

당근 주스의 총 카로테노이드 농도는 Zhou 등(15)의 방법에 따라 측정하였다. 카로테노이드를 추출하기 위해 분별 깔때기에 주스 2 mL과 추출 용매인 클로로폼-메탄올(2:1, v/v) 10 mL을 혼합하여 섞은 후 무수황산나트륨(Na_2SO_4)을 첨가하여 수상으로부터 유기상을 얻었다. 남은 수상에 추출 용매 5 mL을 첨가하여 무색이 될 때까지 반복적으로 추출하였고, 추출한 유기상에 추출 용매를 첨가하여 총량이 50 mL이 되도록 하였다. 추출한 시료의 흡광도는 분광 광도계(SpectraMax M3, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 450 nm의 파장에서 측정하였다. 총 카로테노이드 농도는 베타카로텐 표준물질(β -carotene, Type I)을 사용하여 베타카로텐의 당량(β -carotene equivalent, β CE)값으로 나타내었다. 베타카로텐 표준물질은 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하였다.

베타카로텐 농도 측정

당근 주스의 베타카로텐은 Lin과 Chen(17)의 방법에 따라 추출하였고, Mestry 등(18)의 방법에 따라 HPLC (Agilent 110 series, Agilent Technologies)를 이용하여 정량 분석하였다. 주스 8 mL과 에탄올-헥세인(4:3, v/v) 42 mL을 100 mL의 유리병에서 혼합한 후 진탕기(JSOS-500, JS Research Inc., Gongju, Korea)를 사용하여 150 rpm으로 30분 동안 진탕하였고, 진탕한 혼합액에서 얻은 첫 번째 유기상을 500 mL 플라스크에 옮겼다. 남은 수상에 에탄올-헥세인(4:3, v/v) 32 mL을 혼합하여 30분 동안 다시 진탕하였고, 진탕한 혼합액으로부터 두 번째 유기상을 얻었다. 두 번째 유기상을 얻고 남은 수상에 헥세인 15 mL을 첨가하여 20분 동안 진탕하였고, 진탕한 혼합액에 헥세인 5 mL을 다시 첨가한 후, 균질기(Ultra-Turrax, Model T25, IKA-Works Inc., Wilmington, NC, USA)를 사용하여 12,000 rpm으로 5분 동안 균질화 하였다. 균질된 혼합액을 여과한 후(No. 1, Whatman Co., Maidstone, England), 여과액에 150 mL의 증류수와 100 mL의 10% 염화나트륨 용액을 첨가하여 세 번째 유기상을 얻었고, 이때 남은 수상에 다시 헥세인 20 mL을 첨가하여 네 번째 유기상을 얻었다. 얻은 모든 유기상을 혼합하여 감압농축한 후 아세톤 5 mL로 용해하였다. HPLC 분석을 위해 용해된 시료는 0.2 μ m 주사기 필터(6750-2502, Whatman Co., Piscataway, NJ, USA)로 여과하여 준비하였다. 이동상 용매는 메탄올-아세톤(70:30, v/v)을 사용하였고, 분당 0.75 mL의 유속으로 흐르게 하였다. 분석 시료의 주입

량은 20 μ L이었고, UV-Vis 검출기(G1315B, Agilent Technologies)를 이용하여 450 nm의 파장에서 베타카로텐을 검출하였다. 컬럼은 Symmetry C18 (5 μ m, 내경 4.6 mm×250 mm, Waters Co., MA, USA)을 사용하였고, 분석 온도는 컬럼 오븐(G1316A, Agilent Technologies)을 이용하여 30±2°C로 유지하였다.

산화방지능 측정

산화방지능은 Blois(19)의 방법에 따라 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거능으로 측정하였다. 시료 100 μ L와 0.4 mM DPPH 100 μ L를 96-웰 플레이트에서 혼합한 후 암소에서 30분 동안 반응시킨 후 분광광도계(SpectraMax M3, Molecular Devices)를 이용하여 517 nm의 파장에서 반응물의 흡광도를 측정하였다. 라디칼 소거능은 아래의 공식으로 계산하였다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거능(\%)} = \frac{A_{\text{Blank}} - A_{\text{Sample}}}{A_{\text{Blank}}} \times 100$$

A_{Blank} 와 A_{Sample} 은 각각 메탄올 100 μ L와 0.4 mM DPPH 100 μ L이 섞인 것의 흡광도와 감귤주스 또는 당근주스 100 μ L와 0.4 mM DPPH 100 μ L이 반응된 것의 흡광도이다.

산화방지능은 아스코르브산 표준물질을 사용하여 비타민 C의 당량(vitamin C equivalent, VCE)값으로 나타내었다. DPPH는 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하였다.

통계 분석

모든 실험은 2회 반복하였고, 1회마다 색은 5회 그리고 나머지 분석에서는 3회씩 반복 측정하였다. 실험을 통해 얻은 데이터들은 SPSS (Ver. 23, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 일원 배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, Tukey 다중범위 검증(Tukey's multiple range test)으로 사후분석을 실시하였다($\alpha=0.05$).

결과 및 고찰

토착 미생물 저해

PEF 처리가 감귤 주스와 당근 주스 내 증은 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 저해에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 주입 온도 25°C에서 처리 전기장장 상관없이 PEF 처리 시간이 길어질 때 증은 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 모두의 저해 정도가 대체로 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

전기장 세기에 따른 PEF 처리에 의한 미생물 저해 효과를 비교하기 위해 유사한 처리 시간을 갖는 21 kV/cm-113 μ s와 23 kV/cm-104 μ s로 감귤 주스를 PEF 처리하였을 때 증은 호기성 세균을 각각 1.5±0.4와 6.3±0.9 log CFU/mL 저해시켜(Table 2) 이를 통해 전기장 세기가 미생물 저해 효과에 크게 영향을 미치는 주요 변수임을 알 수 있었다. 또한 15, 21, 그리고 23 kV/cm에서 처리 시간을 조절하여 약 160 kJ/L의 에너지 밀도로 처리한 결과, 전기장 세기가 높을수록 살균 효과가 증가하는 경향을 보였다(Table 2). 전기장 세기 증가가 가져다주는 살균 효과의 증가는 효모 및 곰팡이 저해에서도 보였다(Table 2). 전기장 세기가 미생물 저해에 미치는 영향은 앞서 발표된 연구 결과와 일치하였는데, Zhao 등(20)은 18.1, 27.4, 그리고 38.4 kV/cm로 160 μ s 동안 PEF 처리하였을 때, 녹차에 접종된 *E. coli*를 각각 2.2, 3.3, 그리고 5.6 log CFU/mL 저해시켰다고 보고하였고, Monfort 등(21)은 *S. Typhimurium*과 *Staphylococcus aureus*가 접종된 전란액(liquid whole egg)을 20, 25, 30, 35, 40, 그리고 45 kV/cm로 PEF 처리

Table 2. Effects of pulsed electric field (PEF) treatments on the inhibition of total mesophilic aerobes and yeast and molds of mandarin and carrot juices

Sample	PEF treatment condition ¹⁾				Microbial reduction (Log CFU/mL)	
	T _{inlet} (°C)	E (kV/cm)	t (μs)	W _{spec} (kJ/L)	Total mesophilic aerobes	Yeast and molds
Mandarin juice	25	15	45	23	0.2±0.2 ^{f2)}	0.1±0.04 ^h
			241	160	1.1±0.3 ^e	0.9±0.1 ^g
		21	23	26	0.4±0.4 ^f	0.4±0.2 ^{gh}
			113	164	1.5±0.4 ^e	1.1±0.3 ^g
	40	23	85	163	4.6±0.1 ^{cd}	2.8±0.1 ^f
			94	189	5.4±0.5 ^{abcd}	3.5±0.3 ^{ef}
		20	104	211	6.3±0.8 ^{ab}	4.4±0.1 ^{cd}
			75	129	>6.7±0.1 ^{a est. 3)}	>6.6±0.1 ^{a est.}
25	14	170	220	3.9±0.4 ^d	3.8±0.1 ^{de}	
		184	239	5.0±1.1 ^{bcd}	4.8±0.9 ^{bc}	
		198	258	5.5±0.9 ^{abc}	5.4±0.6 ^b	
	40	13	127	141	>6.6±0.4 ^{a est.}	>6.5±0.2 ^{a est.}

¹⁾T_{inlet}, E, t, and W_{spec} are inlet temperature, electric field strength, total treatment time, and specific energy, respectively.

²⁾Values with different letter superscripts in each column are significantly different each other at *p*<0.05.

³⁾Inhibition resulting in no colony formation on the plates (detection limit: 1 CFU/mL)

Table 3. Effects of optimum pulsed electric field (PEF) treatments at inlet temperatures of 25 and 40°C on the color, browning index (BI), total soluble solids content (TSS), and pH of fresh mandarin and carrot juices

Sample ¹⁾		Color			BI (Absorbance at 420 nm)	TSS (%)	pH
		L	a	b			
Mandarin juice	Untreated	39.35±0.43 ^{a2)}	0.57±0.16 ^a	16.60±0.30 ^{ab}	0.62±0.03 ^a	11.15±0.09 ^a	3.78±0.04 ^a
	PEF treated at 25°C	39.56±0.32 ^a	0.43±0.24 ^{ab}	16.75±0.20 ^a	0.62±0.03 ^a	11.13±0.10 ^a	3.79±0.03 ^a
	PEF treated at 40°C	39.43±0.49 ^a	0.40±0.22 ^b	16.51±0.17 ^b	0.64±0.03 ^a	11.10±0.06 ^a	3.76±0.04 ^a
Carrot juice	Untreated	34.90±0.36 ^b	12.52±0.32 ^a	12.88±0.25 ^a	0.46±0.04 ^a	7.07±0.15 ^a	4.78±0.15 ^a
	PEF treated at 25°C	34.88±0.31 ^a	12.55±0.20 ^a	12.93±0.13 ^a	0.47±0.04 ^a	7.05±0.15 ^a	4.79±0.09 ^a
	PEF treated at 40°C	35.06±0.35 ^a	12.38±0.23 ^a	12.82±0.18 ^a	0.50±0.03 ^a	7.06±0.04 ^a	4.73±0.17 ^a

¹⁾The values for electric field strength and total treatment time at the optimum treatments were 23 kV/cm-104 μs and 20 kV/cm-75 μs for the treatments of mandarin juice at 25 and 40°C and 14 kV/cm-198 μs and 13 kV/cm-127 μs for the treatments of carrot juice at 25 and 40°C respectively.

²⁾Values with different letter superscripts in each column are significantly different each other at *p*<0.05.

한 결과, 전기장 세기가 높을수록 동일한 미생물 저해 수준을 얻기 위한 처리 시간이 감소하였다고 보고하였다. 이는 전기장 세기가 높을수록 미생물 세포막 내외에 높은 전위차를 유도해 세포막 파괴 임계점에 빨리 도달하기 때문으로 설명되었다(8,22,23).

주입 온도에 따른 PEF 처리의 미생물 저해 효과를 확인하기 위해 감귤 주스 주입 온도를 25°C와 40°C 둘로 하여 PEF 처리 (21 kV/cm-113 μs)하였을 때, 처리시간이 38 μs 더 길고 에너지 밀도도 35 kJ/L 더 높은 25°C PEF 처리보다 40°C PEF 처리가 호기성 미생물의 경우 >5.2 log CFU/mL 그리고 효모 및 곰팡이의 경우 >5.2 log CFU/mL 더 많은 저해를 보여줬다(Table 2). 또한 40°C의 처리는 25°C에서 23 kV/cm-104 μs로 처리한 결과와 비교하였을 때, 에너지 밀도가 약 1/2 수준임에도 불구하고 효모 및 곰팡이가 약 2 log CFU/mL 이상 더 많이 저해된 것을 알 수 있었다(Table 2). 주스의 주입 온도 상승에 의한 미생물 저해 상승 효과는 온도가 높아지면서 세포막 지질 이중층이 겔 상에서 액체 결정 상으로 전이되고 그에 따른 세포막 파괴에 필요한 막 전위차가 감소하여 PEF 처리 효과가 높아지기 때문으로 설명될 수 있다(24).

당근 주스의 경우에도 PEF 처리(25°C, 14 kV/cm) 시간이 증가함에 따라 미생물 저해도가 증가함을 알 수 있었다(Table 2). 198 μs 동안의 처리는 당근 주스의 토착 미생물을 5 log CFU/mL 이상의 저해시켰다(Table 2).

주입 온도를 40°C로 상승시켜 13 kV/cm-127 μs로 처리했을 때, 중온 호기성 세균과 효모 및 곰팡이가 모두 완전히 사멸되었다(Table 2). 주입 온도를 40°C로 한 처리는 주입 온도를 25°C로 하여 14 kV/cm-198 μs로 한 처리보다 에너지 밀도가 약 1/2 수준임에도 불구하고 중온 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 모두 약 1 log CFU/mL 이상 더 많이 저해시켰다(Table 2). Saldaa 등(10)도 처리 전기장 세기와 처리 시간이 유사하였을 때, 10°C의 주입 온도 차이가 2 log CFU/mL 이상의 처리 효과 차이를 가져다주었다고 보고하면서 주입 온도의 중요성을 강조하였다.

살균 효과를 기준으로 전기장 세기와 처리 시간은 주입 온도 25°C(상온 PEF 처리)에서 감귤 주스와 당근 주스 각각 23 kV/cm-104 μs와 14 kV/cm-198 μs로 결정되었고, 주입 온도 40°C(중온 PEF 처리)에서 각각 20 kV/cm-75 μs와 13 kV/cm-127 μs로 결정되었다. 결정된 상온 PEF 처리와 중온 PEF 처리는 감귤 주스

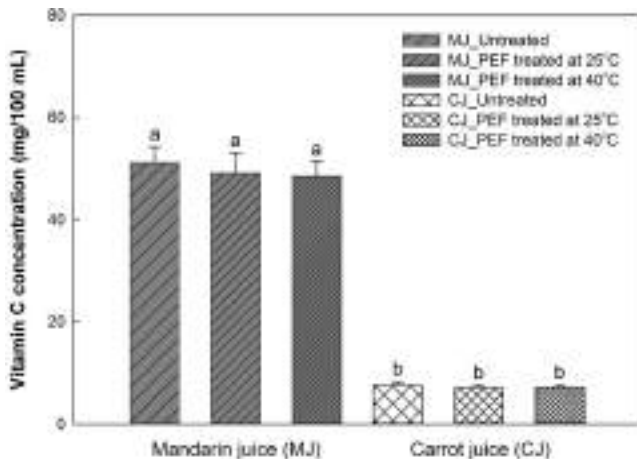


Fig. 1. Effects of the optimum PEF treatment on the concentration of vitamin C in fresh mandarin and carrot juices. The values for electric field strength and total treatment time at the optimum treatments were 23 kV/cm-104 μ s and 20 kV/cm-75 μ s for the treatments of mandarin juice at 25 and 40°C and 14 kV/cm-198 μ s and 13 kV/cm-127 μ s for the treatments of carrot juice at 25 and 40°C respectively. Values with different letters are significantly different each other at $p < 0.05$.

와 당근 주스 내 세균수를 50 CFU/mL 이하로 저해하였다. 식품 공전에 명시된 가공 과·채 주스의 세균 수 규격 기준(100 CFU/mL 이하) 이하이므로(25), 이 결과는 본 연구에서 사용된 파일릿 PEF 처리 장비를 가지고 제시된 조건으로 감귤 주스와 당근 주스를 처리하면 이들 주스를 상업적으로 살균하는데 적합하다는 것을 보여준다.

색, 당도, 그리고 pH

상온 PEF 처리와 중온 PEF 처리가 감귤 주스와 당근 주스의 색도에 미치는 영향을 Table 3에 나타내었다. 상온 PEF 처리 및 중온 PEF 처리 후 감귤 주스와 당근 주스의 색은 대체로 변하지 않았다($p > 0.05$). 단 중온 PEF 처리는 감귤 주스의 적색도(a)를 유의적으로 감소시켰다($p < 0.05$) (Table 3). 전기장 세기와 처리

시간에 따라 과채류 주스 내 개별 카로테노이드 농도의 증감이 나타났다는 보고(26)를 보았을 때 본 연구의 중온 PEF 처리가 감귤 주스의 적색을 띠는 카로테노이드 농도를 감소시켰을 것으로 사료된다.

상온 PEF 처리 및 중온 PEF 처리 감귤 주스와 당근 주스의 갈변도는 비처리 주스와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$) (Table 3). Cortes 등(27)과 Akin과 Evrendilek(28)도 PEF 처리된 주스 시료의 갈변도가 비처리 시료의 갈변도와 비교하여 전기장 세기와 처리 시간에 관계없이 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 상온 PEF 처리 및 중온 PEF 처리는 주스의 갈변도에 영향을 미치지 않았다.

상온 PEF 처리와 중온 PEF 처리가 감귤 주스와 당근 주스의 당도 및 pH에 미치는 영향을 Table 3에 나타내었다. 상온 PEF 처리와 중온 PEF 처리는 감귤 주스와 당근 주스의 당도 및 pH를 변화시키지 않았다($p > 0.05$). PEF 처리가 주스의 당도와 pH에 영향을 미치지 않음은 과거 오렌지 주스와 토마토 주스에 대한 PEF 처리 연구에서도 보고가 되었다(3,14).

비타민 C 농도

상온 PEF 처리와 중온 PEF 처리가 감귤 주스와 당근 주스의 비타민 C 농도에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 비처리 감귤 주스와 당근 주스의 비타민 C 농도가 각각 51.2 ± 3.1 과 7.6 ± 0.6 mg/100 mL이었을 때 상온 또는 중온 PEF 처리 후 비타민 C 농도는 유의적으로 변하지 않았다($p > 0.05$) (Fig. 1). Xiang 등(4)은 당근 주스를 25 kV/cm-144.6 μ s로 PEF 처리하였을 때, 비타민 C 농도가 변하지 않았다고 보고하였다. 비타민 C는 열에 민감하여 가열에 따른 손실이 나타날 수 있으나(3), PEF 처리 중 주스의 최고 품온은 65°C 이하이고, 그 온도에서 불과 수 초 동안 유지되다가 바로 얼음냉수로 냉각이 되므로, 주스에 열 유입이 최소화되어 주스 내 비타민 C 농도가 유의적으로 손실되지 않은 것으로 보인다. 또한, 비타민 C는 산성에서 안정한 것으로 알려져 있는데(29), 감귤 주스와 당근 주스의 pH가 약 4-5로 안정적인 환경을 제공하여 처리 중 비타민 C의 손실이 적을 수도 있었을 것이다. 비타민 C의 권장 일일 섭취 요건을 채우기 위한 상업적 오렌지 주스의 비타민 C 농도는 최소 25 mg/100 mL이 되어야 한다(3,30). 본 연구의 상온 PEF와 중온 PEF 처리 후 감귤 주스

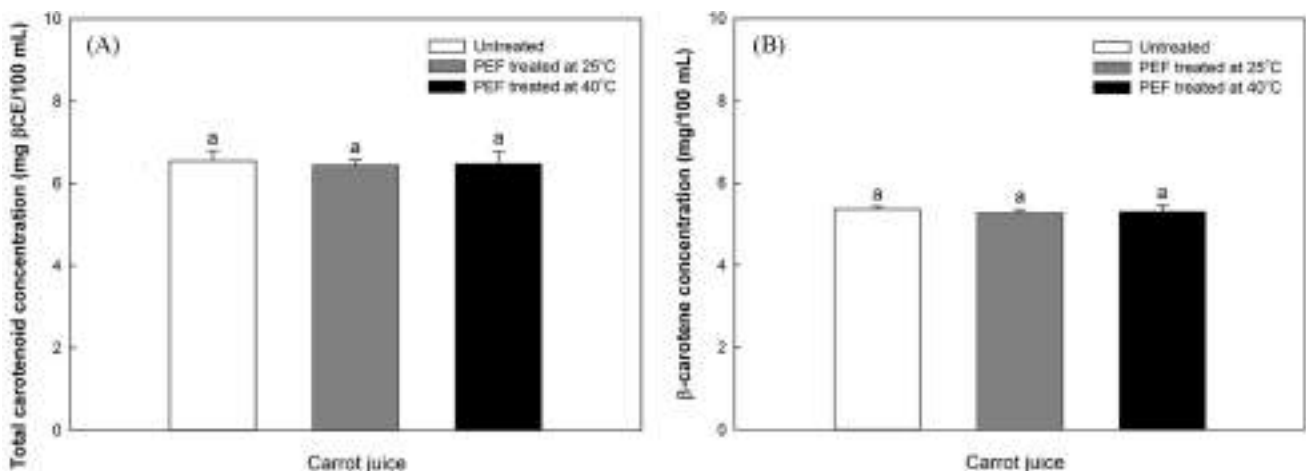


Fig. 2. Effects of optimum PEF treatment on the concentrations of total carotenoid (A) and β -carotene (B) in fresh carrot juice. The values for electric field strength and total treatment time at the optimum treatments were 14 kV/cm-198 μ s and 13 kV/cm-127 μ s for the treatments of carrot juice at 25 and 40°C respectively. Values with different letters are significantly different each other at $p < 0.05$.

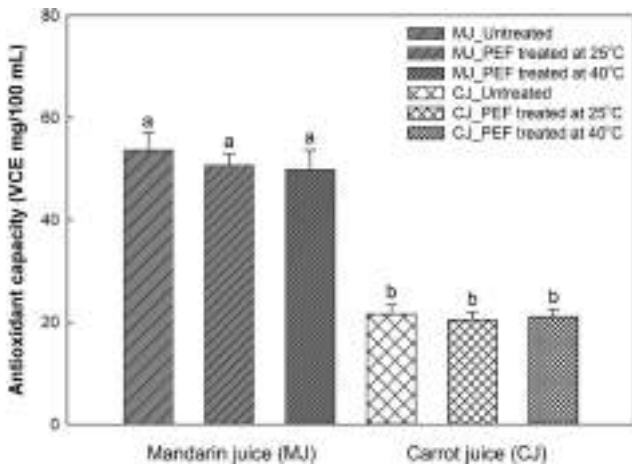


Fig. 3. Effects of optimum PEF treatment on the vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of fresh mandarin and carrot juices. The values for electric field strength and total treatment time at the optimum treatments were 23 kV/cm-104 μ s and 20 kV/cm-75 μ s for the treatments of mandarin juice at 25 and 40°C and 14 kV/cm-198 μ s and 13 kV/cm-127 μ s for the treatments of carrot juice at 25 and 40°C respectively. Values with different letters are significantly different each other at $p < 0.05$.

내 비타민 C 농도가 각각 49.1 ± 3.9 와 48.5 ± 2.9 mg/100 mL이었으므로 PEF 처리가 오렌지 주스와 같은 시트러스(citrus) 계열인 감귤 주스를 상업적으로 살균하는데 영양학적인 관점에서 적합함을 알 수 있었다.

총 카로테노이드와 베타카로텐 농도

상온 또는 중온 PEF 처리는 당근 주스의 총 카로테노이드 농도(6.6 ± 0.3 mg β CE/100 mL)와 베타카로텐 농도(5.4 ± 0.1 mg/100 mL)에 영향을 주지 않았다($p > 0.05$) (Fig. 2). Torregrosa 등(26)과 Zulueta 등(31)은 오렌지-당근 혼합 주스와 오렌지 주스-우유 혼합 음료를 PEF 처리했을 때, 각각 개별 카로테노이드의 농도와 총 카로테노이드의 농도가 전기장 세기와 처리 시간에 따라 증감 또는 유지하였다고 설명하였다. 이는 PEF 처리가 조건에 따라 카로테노이드를 파괴하거나 새로운 카로테노이드를 생성된다는 것을 의미한다(26). 본 연구에 사용된 PEF 처리 조건은 감귤 주스와 당근 주스의 카로테노이드 농도에 영향을 주지 않는 범위의 조건임을 확인할 수 있었다.

산화방지능

상온 PEF 처리와 중온 PEF 처리가 감귤 주스와 당근 주스의 산화방지능에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 비처리 감귤 주스와 당근 주스의 산화방지능은 각각 53.7 ± 3.3 과 21.6 ± 1.9 mg VCE/100 mL로서, 상온 또는 중온 PEF 처리 후 산화방지능의 유의적인 변화는 나타나지 않았다($p > 0.05$) (Fig. 3). 감귤 주스와 당근 주스의 대표적인 항산화 성분으로는 비타민 C, 페놀성 화합물, 그리고 카로테노이드가 있다(32,33). 본 연구에 사용된 PEF 처리가 감귤 주스와 당근 주스의 비타민 C와 총 카로테노이드 농도에 영향을 주지 않았으므로 주스의 산화방지능에 유의적인 변화를 가져다주지 않은 것으로 생각된다. Elez-Martinez와 Martinbelloso(34)도 오렌지 주스를 25 kV/cm-100 μ s의 PEF로 처리하였을 때, 98.2%의 높은 비타민 C 보존율을 보였고, 산화방지능도 유의적인 변화를 보이지 않았다고 보고한 바 있다.

요 약

본 연구에서는 PEF 처리 시간과 전기장 세기가 증가할수록 주스 내 토착 미생물 저해 효과가 상승함을 알 수 있었고, 또한 처리 주스의 주입 온도를 높여 40°C에서 PEF 처리했을 때 살균 효과가 높아짐을 확인하였다. 상온 PEF와 중온 PEF 처리 모두 감귤 주스와 당근 주스의 이화학적·영양학적 특성에 크게 영향을 주지 않으면서도 상업적 살균에 적합한 미생물 저해 효과를 보여주었다. 본 연구는 파일럿 규모의 PEF 처리 장비를 이용하여 감귤 주스와 당근 주스를 살균하지 않은 주스의 품질을 유지하면서 살균할 수 있음을 보여주었다. 처리 시간, 전기장 세기, 그리고 주입 온도의 조절을 통해 최소의 에너지 사용으로 품질 보존과 동시에 최대의 미생물 저해 효과를 얻는 PEF 살균 공정 최적화가 다양한 주스 제품에 대하여 이루어 질 수 있을 것으로 전망한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화 산업육성사업”으로 수행된 연구결과입니다(R0003894).

References

- Beltrán-González F, Pérez-López AJ, López-Nicolás JM, Carbonell-Barrachina AA. Effects of agricultural practices on instrumental colour, mineral content, carotenoid composition, and sensory quality of mandarin orange juice, cv. Hernandina. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1731-1738 (2008)
- Martínez-Flores HE, Garnica-Romo MG, Bermúdez-Aguirre D, Pokhrel PR, Barbosa-Cánovas GV. Physico-chemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of thermo-sonicated carrot juice during storage. *Food Chem.* 172: 650-656 (2015)
- Min S, Jin Z, Min S, Yeom H, Zhang Q. Commercial-scale pulsed electric field processing of orange juice. *J. Food Sci.* 68: 1265-1271 (2003)
- Xiang B, Sundararajan S, Mis Solval K, Espinoza-Rodezno L, Aryana K, Sathivel S. Effects of pulsed electric fields on physico-chemical properties and microbial inactivation of carrot juice. *J. Food Process. Preserv.* 38: 1556-1564 (2014)
- Vervoort L, Van der Plancken I, Grauwet T, Timmermans RA, Mastwijk HC, Matser AM, Hendrickx ME, Van Loey A. Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice: Part II: Impact on specific chemical and biochemical quality parameters. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 12: 466-477 (2011)
- Rivas A, Rodrigo D, Martínez A, Barbosa-Cánovas G, Rodrigo M. Effect of PEF and heat pasteurization on the physical - chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT-Food Sci. Technol.* 39: 1163-1170 (2006)
- Lee PY, Lusk K, Miroso M, Oey I. Effect of information on Chinese consumers' acceptance of thermal and non-thermal treated apple juices: A study of young Chinese immigrants in New Zealand. *Food Qual. Prefer.* 48: 118-129 (2016)
- Lee SJ, Shin JK. Intra- and extra-cellular mechanisms of *Saccharomyces cerevisiae* inactivation by high voltage pulsed electric fields treatment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 47: 87-94 (2015)
- Altuntas J, Evrendilek GA, Sangun MK, Zhang HQ. Effects of pulsed electric field processing on the quality and microbial inactivation of sour cherry juice. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45: 899-905 (2010)
- Saldaña G, Puertolas E, Monfort S, Raso J, Alvarez I. Defining treatment conditions for pulsed electric field pasteurization of apple juice. *Int. J. Food Microbiol.* 151: 29-35 (2011)
- Milani EA, Alkhalaji S, Silva FV. Pulsed electric field continuous pasteurization of different types of beers. *Food Control.* 50: 223-

- 229 (2015)
12. Min S, Jin ZT, Zhang QH. Commercial scale pulsed electric field processing of tomato juice. *J. Agric. Food Chem.* 51: 3338-3344 (2003)
 13. Jin TZ, Guo M, Zhang HQ. Upscaling from benchtop processing to industrial scale production: More factors to be considered for pulsed electric field food processing. *J. Food Eng.* 146: 72-80 (2015)
 14. Min S, Evrendilek GA, Zhang, HQ. Pulsed electric fields: Processing system, microbial and enzyme inhibition, and shelf life extension of foods. *IEEE T. Plasma Sci.* 35: 59-73 (2007)
 15. Zhou L, Wang Y, Hu X, Wu J, Liao X. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 10: 321-327 (2009)
 16. Kim SL, Kim SK, Park CH. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. *Food Res. Int.* 37: 319-327 (2004)
 17. Lin C, Chen B. Stability of carotenoids in tomato juice during storage. *Food Chem.* 90: 837-846 (2005)
 18. Mestry AP, Mujumdar AS, Thorat BN. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. *Dry. Technol.* 29: 1121-1131 (2011)
 19. Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200 (1958)
 20. Zhao W, Yang R, Lu R, Wang M, Qian P, Yang W. Effect of PEF on microbial inactivation and physical-chemical properties of green tea extracts. *LWT-Food Sci. Technol.* 41: 425-431 (2008)
 21. Monfort S, Gayán E, Saldaña G, Puértolas E, Condón S, Raso J, Álvarez I. Inactivation of *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* by pulsed electric fields in liquid whole egg. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 11: 306-313 (2010)
 22. Calderón-Miranda ML, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. Transmission electron microscopy of *Listeria innocua* treated by pulsed electric fields and nisin in skimmed milk. *Int. J. Food Microbiol.* 51: 31-38 (1999)
 23. Vega-Mercado H, Pothakamury UR, Chang F, Barbosa-Cnovas GV, Swanson BG. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric fields hurdles. *Food Res. Int.* 29: 117-121 (1996)
 24. Wu Y, Mittal GS, Griffiths MW. Effect of pulsed electric field on the inactivation of microorganisms in grape juices with and without antimicrobials. *Biosyst. Eng.* 90: 1-7 (2005)
 25. Ministry of Food and Drug Safety. Korean Food Standards Codex. Available from: http://www.foodsafetykorea.go.kr/food-code/01_03.jsp?idx=40. Accessed Jan. 10, 2017
 26. Torregrosa F, Cortés C, Esteve MJ, Frigola A. Effect of high-intensity pulsed electric fields processing and conventional heat treatment on orange-carrot juice carotenoids. *J. Agr. Food Chem.* 53: 9519-9525 (2005)
 27. Cortés C, Esteve MJ, Frigola A. Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control* 19: 151-158 (2008)
 28. Akin E, Evrendilek GA. Effect of pulsed electric fields on physical, chemical, and microbiological properties of formulated carrot juice. *Food Sci. Technol. Int.* 15: 275-282 (2009)
 29. Bi X, Liu F, Rao L, Li J, Liu B, Liao X, Wu J. Effects of electric field strength and pulse rise time on physicochemical and sensory properties of apple juice by pulsed electric field. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 17: 85-92 (2013)
 30. Squires SR, Hanna JG. Concentration and stability of ascorbic acid in marketed reconstituted orange juice. *J. Agr. Food Chem.* 27: 639-41 (1979)
 31. Zulueta A, Barba FJ, Esteve MJ, Frigola A. Effects on the carotenoid pattern and vitamin A of a pulsed electric field-treated orange juice - milk beverage and behavior during storage. *Eur. Food Res. Technol.* 231: 525-534 (2010)
 32. Xu G, Liu D, Chen J, Ye X, Ma Y, Shi J. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chem.* 106: 545-551 (2008)
 33. Patras A, Brunton N, Da Pieve S, Butler F, Downey G. Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 10: 16-22 (2009)
 34. Elez-Martinez P, Martin-Belloso O. Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chem.* 102: 201-209 (2007)