

고전압 펄스 전기장 처리에 의한 감귤주스의 품질변화

김경탁* · 김성수 · 홍희도 · 하상도¹ · 이영춘¹

한국식품개발연구원, ¹중앙대학교 식품공학과

Quality Changes and Pasteurization Effects of Citrus Fruit Juice by High Voltage Pulsed Electric Fields (PEF) treatment

Kyung-Tack Kim*, Sung-Soo Kim, Hee-Do Hong, Sang-Do Ha¹ and Young-Chun Lee¹

Korea Food Research Institute

¹Department of Food Science and Technology, Chung Ang University

A non-thermal pasteurization technology, high Pulsed Electric Field (PEF) has been thought to be a new alternative processing technology instead of heating. The objective of this study was to examine and compare the effect of PEF and High Temperature Short Time (HTST) treatments on the physicochemical, microbiological and sensory characteristics of citrus juices. Total sugar and titratable acidity values of fresh citrus juice and two treatments were not significantly different each other at $P < 0.05$. The concentration of vitamin C in fresh citrus juice (31.2 ± 0.59 mg%) was not significantly different with the value of PEF treatment (29.4 ± 0.75 mg%) but was significantly higher than the value of HTST treatment (27.4 ± 0.75 mg%). The color values (L, a, and b) in PEF treatment were significantly lower than the fresh citrus juice, but were higher than the values of HTST treatment. Both total bacterial cell counts ($6.65 \pm 0.08 \log_{10}(\text{cfu/mL})$) and yeast counts ($7.79 \pm 0.07 \log_{10}(\text{cfu/mL})$) in fresh citrus juice were significantly reduced by PEF ($1.39 \pm 0.14, 2.42 \pm 0.1 \log_{10}(\text{cfu/mL})$) as well as HTST treatment (0, 0). PE activity of fresh citrus juice (1.3 ± 0.12 units/mL) was significantly reduced by PEF treatment (0.11 ± 0.01 units/mL) and was totally inactivated by HTST treatment. Sensory evaluation scores in flavor, taste and overall acceptability between the fresh and PEF treated citrus juices (7.2~7.5) were not significantly different but the values of HTST treatment (5.1~5.8) were lower than others. Consequently, PEF treatment is thought to be a good alternative pasteurization method for fresh citrus juice to HTST treatment due to its strong pasteurization effect, reduced destruction of nutrients and good sensory characteristics.

Key words: PEF, HTST, non-thermal pasteurization, citrus fruit juice, microorganism

서 론

현재 국내에서 유통되고 있는 대부분의 과일주스는 전통적인 가열살균방법인 고온 단시간 처리방식으로 가공됨으로써 원료 과실의 신선한 맛의 일부 소실과 함께 영양성분과 향기성분의 손실 등 품질저하⁽¹⁾를 동반하고 있다. 최근 이와 같은 가열살균의 문제점을 해결하기 위하여 호소처리⁽²⁾, 현탁제⁽²⁾, 한외여과⁽³⁾ 및 pH 조절법⁽⁴⁾ 등이 이용되어 왔으나 제품의 형태와 기호성을 변화시키는 문제점을 수반하고 있다. 또한, 감귤을 착즙하여 즉시 냉장 유통하는 방식의 chilled fruit juice가 실용화되고 있으나, 이 방식 역시 유통기한이 때

우 짧아 장거리 유통이 어렵고 냉장 유통 유지에 따른 비용 상승의 문제점을 여전히 갖고 있다. 최근 이러한 문제 해결의 필요성이 제기되고 있고 식생활 환경 변화에 따른 최소가공 식품^(5,6)에 대한 소비자들의 구매욕구가 증가됨에 따라 다양한 비가열 처리 기술이 개발되고 있는 추세인데 현재 식품산업에서 개발·활용되고 있는 기술은 고전압 펄스 전기장, 진동 자기장, 이온화 조사, 광 펄스, 초고압⁽⁷⁾, 초음파, 마이크로 웨이브^(8,9) 등을 이용한 물리적 방법, 이산화탄소, 양이온 다중 고분자 등의 화학물질, 세포벽 분해효소법 등이 있다. 이와 같은 방법들 중 고전압 펄스를 이용한 전기장 처리 기술(pulsed electric field, PEF)은 유전 파괴(dielectric breakdown)현상을 이용하여 세포막을 파괴하여 미생물의 세포 기능을 상실시킴으로써 미생물 치사효과를 발휘하는 비가열 살균 기술이며, 기존의 살균 공정과 비교하여 품질과 저장효과를 획기적으로 향상시키면서 살균 효과도 결합할 수 있는 차세대 살균 신기술⁽¹⁰⁻¹⁶⁾로 평가되고 있다.

따라서 본 논문에서는 감귤주스의 품질향상과 저장성을 증

*Corresponding author : Kyung-Tack Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Kyunggi-do 463-420, Korea
Tel: 82-31-780-9015
Fax: 82-31-780-9234
E-mail: tack@kfri.re.kr

진시킴을 위한 새로운 가공기술 개발의 기초연구로서 PEF처리, 가열처리 및 신선주스의 이화학적 특성, 미생물 살균효과 및 관능특성을 비교 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

고전압 펄스전기장(PEF) 장치

본 연구에서 사용한 고전압 펄스 전기장(PEF) 발생 장치의 구성도는 Fig. 1과 같으며 전체적인 PEF의 장치는 power supply, capacitor, diode, thyatron, transformer, inductance, treatment chamber, pulse generator로 구성되어 있다. 최대출력 용량은 15 kW, 고압직류 전압은 20 kV, 펄스 전압은 20 kV, 펄스 전류는 500 A, 펄스 폭은 5 μs, 펄스 주파수는 300 Hz, 펄스 형태는 square wave, 그리고 chamber의 처리용량은 20 L이었으며 chamber 극간 간격은 5 mm이었다.

감귤주스 처리 조건

제주산 온주밀감을 시중에서 구입한 후 세척하여 가정용 주스기를 이용해 착즙한 후 바로 여과하여 PEF 처리 및 95°C 가열처리(High Temperature Short Time, HTST)하였다. 신선 감귤주스에 적용된 PEF의 처리조건은 40 kV/cm, 펄스 폭은 5 μs, 펄스 수는 75회/mL, 펄스 형태는 square wave pulse, PEF 처리 주스량은 10 L이었고 PEF 처리 주스의 온도는 35°C이하로 유지하였다. HTST 처리는 95°C에서 30초 동안 가열하였다.

적정산도 측정

감귤주스 시료 25 mL을 취하여 0.1 N NaOH로 pH 8.4가 될 때까지 적정하여 이때 소모된 0.1 N NaOH용액의 mL수에 해당 사과산량 6.7 mg을 곱하여 시료 100 mL에 대한 양으로 환산하여 적정 산도⁽¹⁷⁾를 나타내었다.

총당 측정

총당은 Phenol-sulfuric acid법⁽¹⁸⁾에 따라 다음과 같이 측정하였다. 주스 시료 5 mL를 취하여 2,000배 희석한 후 여과한 시료를 1 mL를 시험관에 옮기고 5%(W/W) phenol 용액을 첨가하여 잘 혼합한 후 conc. H₂SO₄를 5 mL씩 첨가하여 약 20~30분 정도 정치시켜 발색시켰다. 이후 470 nm에서 흡광도를 측정하였으며 glucose를 표준당으로 하여 작성한 검량 곡선으로부터 당의 함량을 구하였다.

비타민 C 측정

비타민 C 는 시료 1 mL를 취하여 5% metaphosphoric acetic acid 용액을 첨가하여 waring blender에서 약 1분간 혼합, 균질화시킨 후 여과하여 5% metaphosphoric acetic acid 용액으로 100 mL가 되게 정용하였다. 여과액 2 mL를 시험관에 취하고 2,6-dichlorophenol indophenol용액을 한방울 떨어뜨려 보라색을 확인한 후 HPO₃-thiourea용액 2 mL를 가하고 2,4-dinitro phenyl hydrazine용액 1 mL를 첨가하여 37°C에서 3시간 방치한 후 다시 얼음 수조에서 냉각시켰다. 반응액에 85% H₂SO₄용액 5 mL를 서서히 가하여 잘 혼합하고 실온에

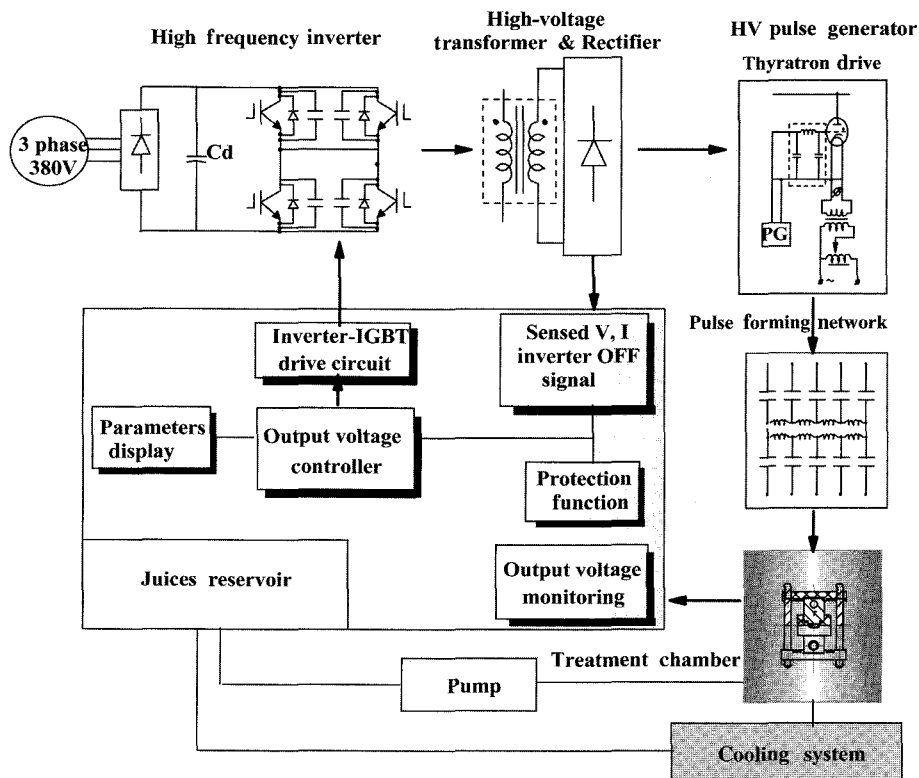


Fig 1. Block diagram of pulsed electric field (PEF) treatment system.

서 30분 방치한 후 분광광도계를 이용하여 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 그리고 L-ascorbic acid를 5% metaphosphoric acetic acid 용액에 녹인 것을 표준용액으로 하여 위와 같은 방법으로 표준곡선을 작성하여 비타민 C 함량⁽¹⁹⁾을 계산하였다.

색깔 측정

색차계(Color and Color Difference Meter, Yasuda Seiki Co. Japan)를 이용하여 L(백색도), a(적색도), b(황색도)값으로 나타내었다. 이때 사용한 표준 백색판의 L, a, b값은 각각 100, -0.01, 0.00이었다.

미생물 균수 측정

신선 감귤주스의 낮은 초기 미생물 수를 높이기 위하여 세 차례 계대 배양하여 활성을 높인 효모 1종(*Saccharomyces cerevisiae* KFRI 7039)과 세균 2종(*Escherichia coli* KFRI 00272, *Bacillus subtilis* KCTC 3135) 배양액을 감귤주스에 혼합하여 감귤주스중 초기 세균수를 4.5×10^6 cfu/mL, 효모수를 6.4×10^7 cfu/mL가 되도록 조정하였다. 총 세균수는 Petrifilm™ aerobic count(PCA, 3M) 배지로 37°C, 24시간 배양하였고, 효모는 Petrifilm™ yeast and mold count(PYMC) 배지를 이용하여 21~25°C 암소에서 3~5일 후 효모수를 측정하였다⁽²⁰⁾. 미생물 균수는 \log_{10} (CFU/g)으로 나타내었으며, SAS 통계처리 프로그램, version 8.01⁽¹⁹⁾에 있는 GLM procedure의 PDiff option에 의해 수행된 least square mean separation 방법에 의해 분석되었으며, 모든 통계처리의 유의성은 $P < 0.05$ 범위에서 실행하였다.

Pectinesterase(PE) 활성 측정

처리조건별 감귤주스의 pectinesterase(PE) 불활성화 정도를 조사하기 위하여 Kimball⁽²¹⁾ 방법에 효소활성을 측정하였다. 즉, 2 mL의 시료를 100 mL의 비이커에 가하고 여기에 25 mL의 0.15 M sodium chloride와 1 mM sodium azide에 용해한 1% 펙틴기질 용액을 가하였다. 이 용액을 교반하면서 0.2 N NaOH로 pH 7.5까지 맞춘 후 여기에 0.005 N NaOH를 0.5 mL 가해 pH가 7.5까지 되돌아오는데 걸리는 시간을 측정하여 PE 활성을 계산하였다. 효소활성 1단위는 측정최적 조건에서 분당 1 μ mole의 carboxyl groups을 유리시키는 효소량으로 나타내었다.

$$PE \text{ (units/mL)} = \frac{(\text{mL NaOH}) \times (\text{Normality of NaOH})}{(\text{Time}) \times (\text{mL Sample})} \times (1000)$$

향기성분 분석

향기성분의 포집은 dynamic headspace법⁽²²⁾에 따라 Purge and Trap system인 Tekmar LSC 2000(Tekmar, USA)을 사용하였다. 시료병(55 mm O.D. × 120 mm)에 감귤주스 10 g을 취하고 질소로 purging하면서 향기성분을 추출하였다. 이때 mount, bottom, valve와 line등 각 부분의 온도는 모두 100°C로 고정하였다. Purging gas로서는 30 psi의 질소를 분당 50 mL로 급송하여 40°C water bath상에서 30분간 purging하여 Tenex-GC(poly of 2,6-diphenyl-p-phenyl oxide)가 들어있는

Table 1. Operating conditions of gas chromatography (GC) for flavor analysis

Instrument	Hewlett-Packard 5890
Column	FFAP (60 m × 0.32 mm)
Oven temp.	35°C (5 min) ~1.5°C/min, ~220°C (20 min)
Injector temp.	230°C
Split ratio	1 : 30
Make-up gas	He, 25 mL/min.
Detector temp.	250°C
Detector	FID

Table 2. Operating conditions of mass spectrometer (MS) used for the identification of flavor compounds

Instrument: HP 5972 mass selective detector	
Setup source	
1) Electron voltage:	70 eV
2) Resolution:	0.05 amu
Setup scan	
1) Mass range:	50~300 m/e
2) Scan speed:	1 second per decade
Data handling system	
1) Computer system:	Sun operating system Ver. 3.60
2) Library:	Wileylnbs (National Bureau of Standard, USA)

흡착관(12" × 18" stainless steel)에 향기성분을 흡착하였다. 흡착 후 수분을 제거하기 위하여 dry purge를 5분간 실시하였다. 흡착된 향기성분을 탈착시키기 위하여 흡착관을 50°C에서 예비가열하고 180°C에서 3분간 가열 탈착을 실시하였다. Purge가 완료된 후에 trap 내부에 남아 있는 비흡착물질을 제거하기 위하여 250°C에서 30분간 conditioning 시켰다. 휘발성 성분들의 잔류가능성을 방지하기 위하여 한번 분석이 완료된 시료병은 완전 세척 후 130°C 건조기에서 건조시켜 잔여성분이 없음을 관능적으로 확인한 후 사용하였다. 감귤주스의 향기성분을 분석하기 위한 gas chromatography(GC)의 분석조건은 Table 1과 같다. Dynamic headspace법으로 포집한 향기성분을 동정하기 위하여 gas chromatograph/mass spectrometer(GC/MS)를 사용하여 분석하였다. GC에서 MS로 시료를 도입하기 위한 interface 온도는 250°C로 하였고 이때 사용한 MS의 조작조건은 Table 2와 같다. 그리고 머무름 시간에 따라 GC와 MS chromatogram상의 향기성분 피크를 각각 구별하였으며 향기성분의 동정은 Wileylnbs Library의 spectrum과 비교하여 확인하였다.

관능평가

PEF와 가열처리에 의한 감귤주스의 관능검사를 위하여 색깔, 향미, 맛 그리고 종합적 기호도에 대하여 특성차이검사와 기호도 검사를 실시하였다. 훈련된 관능요원 25명을 선발하여 색깔, 향미 그리고 맛에 대한 관능검사⁽²³⁾는 9점 평점법으로, 종합적 기호도는 9점 기호도 척도법으로 실시하였다. 관능검사 결과는 분산분석법에 의하여 유의성을 검정하였으며 시료간 차이가 있을 경우는 least significant difference (LSD)방법⁽²⁴⁾에 의하여 다중 비교를 실시하였다.

Table 3. Changes in titrable acidity, total sugar and vitamin C of citrus juice treated by PEF¹⁾ and HTST²⁾ treatments

Sterilization method	Titrable acidity (%)	Total sugar (%)	Vitamin C (mg%)
Raw citrus juice	0.22 ± 0.01	8.8 ± 0.33	31.2 ± 0.59 ^a
Citrus juice treated by PEF	0.22 ± 0.01	9.2 ± 0.5	29.4 ± 0.75 ^b
Citrus juice treated by HTST	0.22 ± 0.02	8.8 ± 0.16	27.4 ± 0.96 ^c

^{a-c}Means with the same letter are not significantly different (p<0.05).

¹⁾PEF: high pulsed electric field treatment.

²⁾HTST: high temperature short time treatment (95°C, 30 sec).

결과 및 고찰

적정산도, 총당 및 비타민 C

신선 감귤주스, 고전압펄스전기장(PEF) 처리, 그리고 가열처리(High Temperature Short Time, HTST) 감귤주스의 적정산도, 총당 및 비타민 C의 변화를 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 적정 산도의 경우 신선 감귤주스와 PEF 및 HTST 처리 감귤주스 모두 0.22±0.01%로 차이를 보이지 않았다. 총당의 경우도 8.8~9.2%, P<0.05 수준에서 유의적으로 차이가 없는 것으로 조사되었다. 그러나 비타민 C의 경우 신선 감귤주스(31.2±0.59 mg%)와 PEF 처리구(29.4±0.75 mg%)는 P<0.05 수준에서 유의차가 없었으나, HTST 처리구의 비타민 C 함량은 27.4±0.75 mg%로 이들보다 P<0.05 수준에서 유의적으로 낮은 값을 보였다. 이는 가열처리에 의한 감귤주스중의 비타민 C의 파괴가 나타난 것으로 판단되나, 감귤주스가 아닌 일반 과실류의 가열처리에 의한 비타민 C의 손실량 보다는 작은 차이를 보였는데(연구결과 미제시), 이는 감귤주스의 비타민 C 안정성이 다른 과실 주스보다 상대적으로 높다고 보고한 Tressler 등⁽²⁴⁾의 결과와 일치하였다.

색깔

신선 감귤주스, PEF 처리, 그리고 HTST 처리 감귤주스의 색깔변화 측정 결과는 Table 4와 같다. PEF 처리구의 밝기(L), 적색도(a) 및 황색도(b)는 각각 29.77±0.16, 19.71±0.05, 19.52±0.1로 신선 감귤주스의 31.85±0.24, 20.58±0.1, 20.73±0.15 보다는 P<0.05 수준에서 유의적으로 낮았으나, HTST 처리구의 27.46±0.38, 18.83±0.03, 18.32±0.25 보다는 유의적으로 높게 나타났다. 전반적으로 PEF와 HTST 처리는 신선 감귤주스에 비하여 밝기와 적색도 및 황색도에서 유의적

Table 4. Changes in color of PEF and HTST treated citrus juices

Sterilization method	Color ¹⁾ (Hunt's value)		
	L	a	b
Raw citrus juice	31.85 ± 0.24 ^a	20.58 ± 0.1 ^a	20.73 ± 0.15 ^a
Citrus juice treated by PEF ²⁾	29.77 ± 0.16 ^b	19.71 ± 0.05 ^b	19.52 ± 0.1 ^b
Citrus juice treated by HTST ³⁾	27.46 ± 0.38 ^c	18.83 ± 0.03 ^c	18.32 ± 0.25 ^c

^{a-c}Means with the same letter are not significantly different (p<0.05).

¹⁾L: Brightness, a: Redness, b: yellowness.

²⁾PEF: high pulsed electric field treatment.

³⁾HTST: high temperature short time treatment (95°C, 30 sec).

Table 5. Changes in viable microorganisms counts of PEF¹⁾ and HTST²⁾ treated citrus juices

Sterilization method	Microorganisms (log ₁₀ cfu)	
	Aerobic bacteria	Yeasts
Raw citrus juice	6.65 ± 0.08 ^a	7.79 ± 0.07 ^a
Citrus juice treated by PEF	1.39 ± 0.14 ^b	2.42 ± 0.1 ^b
Citrus juice treated by HTST	0 ^c	0 ^c

^{a-c}Means with the same letter are not significantly different (p<0.05).

¹⁾PEF: high pulsed electric field treatment.

²⁾HTST: high temperature short time treatment (95°C, 30 sec).

Table 6. Changes in Pectinesterase (PE) activity of PEF¹⁾ and HTST²⁾ treated citrus juices

Sterilization method	PE activity (units/mL)
Raw citrus juice	1.3 ± 0.12 ^a
Citrus juice treated by PEF	0.11 ± 0.01 ^b
Citrus juice treated by HTST	0 ^c

^{a-c}Means with the same letter are not significantly different (p<0.05).

¹⁾PEF: high pulsed electric field treatment.

²⁾HTST: high temperature short time treatment (95°C, 30 sec).

으로 낮은 차이를 보였는데, 이는 HTST 및 PEF 처리시 가열온도와 PEF 처리시 주스의 산소와의 접촉등에 의한 감귤주스의 갈변현상 때문으로 판단되었다.

미생물 사멸율

신선 감귤주스, PEF 처리, 그리고 HTST 처리 감귤주스의 총 세균수 및 효모수 변화는 Table 5와 같다. 신선 감귤주스에 접종되어 생존하고 있던 초기 총 세균수는 6.65±0.08 log₁₀(cfu/mL)에서 PEF 처리에 의하여 1.39±0.14 log₁₀(cfu/mL)로 P<0.05 수준에서 유의적으로 차이를 보였고, HTST 처리에 의해서는 모두 사멸하였다. 효모의 경우에도 역시 세균수와 유사한 결과를 보였는데, 초기 균수 7.79±0.07 log₁₀(cfu/mL)에서 PEF 처리에 의하여 2.42±0.1 log₁₀(cfu/mL)로 P<0.05 수준에서 유의적으로 차이를 보였고, HTST 처리에 의해서는 모두 사멸하였다. 이 결과는 Grahl 등⁽²⁵⁾이 우유를 23 kV/cm에서 PEF 처리하였을 경우 4 log₁₀(cfu/mL) 감소를 보인 결과와 Hofmann⁽²⁶⁾이 오렌지 주스를 25 kV/cm에서 PEF 처리하였을 때 *S. cerevisiae*의 3.5 log₁₀(cfu/mL) 감소를 보고한 결과와 유사하였다.

Pectinesterase(PE) 활성 측정

신선 감귤주스, PEF 처리, 그리고 HTST 처리 감귤주스의 PE(pectinesterase) 효소 활성 변화는 Table 6과 같다. 신선 감귤주스의 착즙액중의 PE의 활성은 1.3 ± 0.12 units/mL이었으나, PEF 처리에 의해 0.11 ± 0.01 units/mL로 $P < 0.05$ 에서 유의적인 차이를 보이며 90%의 효소활성을 저해했고, HTST 처리구의 경우 PE활성이 100% 사라졌다. PEF 처리에 의한 효

소의 불활성화 효과와 관련하여 Vega와 Mercado⁽²⁷⁾은 전기장도와 펄스 수에 큰 영향을 받는다고 주장하였는데 *Pseudomonas fluorescense*로부터 추출한 protease를 20 kV/cm, 20 펄스수로 처리했을 경우 50%, 35 kV/cm, 10 펄스수 처리 시 60%, 35 kV/cm, 20 펄스수 처리 시는 70%의 효소 불활성효과를 보고하였다. 또한 Ho 등⁽²⁸⁾은 일정한 조건에서 PEF 처리시 효소 종류에 따른 효소의 불활성화 효과 차이를 증

Table 7. Changes in flavor compounds of citrus juices treated by PEF¹⁾ and HTST²⁾ treatments

Peak No.	Retention time	Compounds	Raw citrus juice	PEF treated citrus juice	HTST treated citrus juice
1	2.904	Ethenone	19	18	11
2	3.158	Acealdehyde	56	51	33
3	3.310	Ethanol	15226	12205	6722
4	3.63	Thiobisethnethiol	-	-	993
5	3.677	Acetic acid	1696	1289	1154
6	3.926	1-Propanol	763	562	411
7	4.105	Acethydro peroxide	155	123	106
8	4.231	2-Butanone	421	416	290
9	4.455	Ethyl ester aetic acid	4240	3820	357
10	4.566	Chloroform	5187	4875	568
11	4.692	2-Methyl-2-butanol	1033	861	335
12	5.150	Butanal	174	170	76
13	5.361	1,3-Propanediol	217	164	94
14	5.606	Ethylammonium chloride	149	132	-
15	5.952	Butanoic acid	100	98	-
16	27.52	1,2-Dioxine	32	23	-
17	6.306	3-Pentanone	186	149	60
18	6.913	Propanoic acid	77	68	-
19	7.029	Formamide	25	32	-
20	7.134	2-nitrobutanal	45	40	20
21	7.930	1-Butanol	509	443	159
22	8.095	2-Methyl-1-propanamine	361	350	50
23	9.331	Benzene	51	45	-
24	10.165	Propene	17	17	t ³⁾
25	11.756	2-Oxetanone	17	15	t
26	13.772	Cyclo hexane	53	61	10
27	16.422	Acetamide	19	t	-
28	16.590	Ethyl-1,2-diethyl-1-1-pentanol	25	22	13
29	17.387	1-Pentanol	44	42	-
30	17.595	1,1-Dioctyloxyoctane	32	t	-
31	19.872	Disulfide	161	163	15
32	21.20	2,3-Diazatricyclohexane	25	22	14
33	25.27	β-Myrcene ethanone	108	98	52
34	25.95	1,3,5-Cycloheptatriene	28	19	-
35	26.74	2,2,3-Trimethyl-1-vinyl-3-cyclopen	26	17	-
36	27.52	Limonene	5158	4502	2799
37	28.22	Methylester	108	101	52
38	28.84	1,3,6-Octatriene	26	t	-
39	29.38	γ-Terpinene	316	302	t
40	30.57	Cyclopropanecarboxylic acid	93	65	25
41	31.12	δ-3-Carene	39	33	t
Total area (Area count/10 ⁴)			37,107	31,195	14,419

¹⁾PEF: high pulsed electric field treatment.²⁾HTST: high temperature short time treatment (95°C, 30 sec).³⁾t: Trace.

Table 8. Sensory evaluation of citrus juices PEF¹⁾ and HTST²⁾ treated citrus juices

Sterilization method	Properties			
	Color	Flavor	Taste	Overall acceptability
Raw citrus juice	6.9 ± 1.54 ^a	7.4 ± 1.51 ^a	7.4 ± 1.62 ^a	7.5 ± 1.69 ^a
Citrus juice treated by PEF	7.0 ± 1.31 ^a	7.2 ± 1.25 ^a	7.0 ± 1.30 ^a	7.3 ± 1.51 ^a
Citrus juice treated by HTST	6.9 ± 1.32 ^a	5.8 ± 1.03 ^b	5.1 ± 1.15 ^b	5.6 ± 0.94 ^b

^{a,b}Means with the same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

¹⁾PEF: high pulsed electric field treatment.

²⁾HTST: high temperature short time treatment (95°C, 30 sec).

명한 바 있는데 lipase, glucose oxidase, heat-stable α -amylase는 70~85% 불활성화 됨을 보고하였다.

향기성분

신선 감귤주스, PEF 처리, 그리고 HTST 처리 감귤주스의 향기성분 변화를 GC/MS로 분석한 결과는 Table 7과 같다. 감귤주스의 주요 향기성분은 ethanol, acetic acid, 1-propanol, chloroform, 2-methyl-2-butanol, limonene 등으로 구성되어 있었다. 각 그림의 GC chromatogram상에 나타난 신선 감귤주스와 PEF 처리구, HTST 처리구의 향기성분을 비교해 볼 때 HTST 처리구는 신선 감귤주스와 PEF 처리구에 비하여 심한 향기성분의 손실을 나타내었다. 특히 감귤주스의 주요 향기성분인 ethanol, acetic acid, 1-propanol, chloroform, 2-methyl-2-butanol, limonene 등에서 많은 손실을 나타내었다. 전체 향기성분의 함량을 살펴보면 신선 감귤주스는 37,107/10⁴, PEF 처리구는 31,195/10⁴ 그리고 HTST 처리구는 14,419/10⁴으로 신선 감귤주스에 비하여 HTST 처리구 향기성분이 약 61% 정도 소실된 것으로 조사되었다. PEF 처리 감귤주스는 약 16%의 향기성분만이 소실된 것으로 보아 HTST 처리보다 향기 손실이 적은 것으로 나타났다. 그리고 HTST 처리구에서는 이취성분으로 알려진 sulfide 계통의 향기성분인 thiobisethanethiol이 검출되었는데, 이는 전체 HTST 처리구 향기성분 중 약 6.9%를 차지하였다. 이러한 결과는 Jia 등⁽²⁹⁾이 PEF와 HTST 처리 오렌지주스 향기성분을 분석한 결과와 유사한데, 이들은 PEF 처리 시 오렌지주스의 주요 향기성분인 limonene이 15% 소실된 반면 가열처리 시 60% 소실되었고, 전체 향기성분의 함량변화에 있어서도 PEF 처리 시 26%, 가열처리 시 82% 감소되었다고 보고하였다.

관능평가

신선 감귤주스, PEF 처리, 그리고 HTST 처리 감귤주스의 색깔, 향기 및 맛에 대한 강도 테스트를 평점법으로 실시한 관능검사와 종합적 기호도 조사 결과는 Table 8과 같다. 색깔특성의 강도는 신선 감귤주스, PEF 처리구, HTST 처리구의 관능 평가가 각각 6.9 ± 1.54, 7.0 ± 1.31, 6.9 ± 1.32로 $P < 0.05$ 수준에서 유의차를 보이지 않았다. 그러나 향기와 맛의 강도, 종합적 기호도에서는 신선 감귤주스와 PEF 처리구의 관능평가는 모두 7.2~7.5로 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었으나, HTST 처리구의 관능평가는 5.1~5.8로 신선 감귤주스와 PEF 처리구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 신선 감귤주스와 PEF 처리구에 비하여 HTST 처리가 향기성분의 손실과 가열취를 유발시켜 관능적

인 역효과를 낸 것으로 판단되며, 신선 또는 비가열 PEF처리 감귤주스를 선호하는 경향이 나타났다.

Steven⁽³⁰⁾도 PEF 처리, 고압처리 및 가열처리 사과주스를 4°C에서 30일 동안 저장 후 기호도조사를 실시한 결과, PEF 및 고압처리 사과주스는 무처리 신선 사과주스와 비슷한 관능평가를 나타내었고, 이들은 가열처리 사과주스에 비하여 유의적으로 높은 기호도를 나타내었다고 보고한 바 있다.

요 약

감귤주스의 품질향상과 저장성을 증진시키기 위하여 비가열 살균기술로 개발되고 있는 고전압펄스전기장(PEF) 기술을 적용함으로써, 95°C 가열처리(High Temperature Short Time, HTST) 감귤주스와의 이화학적 특성, 미생물 살균효과 및 관능특성을 비교·조사하였다. 적정 산도와 총당의 경우 신선 감귤주스와 PEF 및 HTST 처리 감귤주스 모두 0.22 ± 0.01%, 8.8~9.2%로 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이를 보이지 않았다. 비타민 C의 경우 신선 감귤주스(31.2 ± 0.59 mg%)와 PEF 처리구(29.4 ± 0.75 mg%)는 유의차가 없었으나, HTST 처리구는 27.4 ± 0.75 mg%로 이들보다 유의적으로 낮은 값을 보였다. PEF 처리 감귤주스의 밝기(L), 적색도(a) 및 황색도(b)는 각각 29.77 ± 0.16, 19.71 ± 0.05, 19.52 ± 0.1로 신선 감귤주스 보다는 유의적으로 낮았으나, HTST 처리구 보다는 유의적으로 높았다. 신선 감귤주스의 초기 총 세균수는 6.65 ± 0.08 log₁₀(cfu/mL)서 PEF 처리에 의하여 1.39 ± 0.14 log₁₀(cfu/mL)로 감소하였고, HTST 처리구에서는 모두 사멸하였다. 효모의 경우에도 세균과 유사한 결과를 보였는데, 7.79 ± 0.07 log₁₀(cfu/mL)에서 PEF 처리에 의하여 2.42 ± 0.1 log₁₀(cfu/mL)로, HTST 처리에 의해서는 모두 사멸하였다. 신선 감귤주스의 착즙액 중의 PE의 활성은 1.3 ± 0.12 units/mL이었으나, PEF 처리에 의해 0.11 ± 0.01 units/mL로 유의적인 차이를 보이며 낮아졌고, HTST 처리구의 경우 PE활성이 100% 사라졌다. 향기성분의 경우 HTST 처리구에서 61% 정도 소실된 것으로 조사되었으나, PEF 처리구는 약 16%만이 소실되었다. 관능검사중 색깔특성의 강도는 신선 감귤주스, PEF 처리구, HTST 처리구가 유의차를 보이지 않았으나, 향기와 맛의 강도, 종합적 기호도에 있어 신선 감귤주스와 PEF 처리구는 유의차가 없었으나, HTST 처리구는 이들에 비하여 낮게 나타났다. 결론적으로, PEF는 신선 감귤주스의 미생물 살균효과가 강하고, 영양소 파괴가 적으며, 관능적으로 신선 비가열처리와 차이가 없어 HTST의 단점을 크게 개선할 우수한 차세대 살균법으로 판단된다.

문헌

1. Baker, R.A. and Bruemmer, J.H. Pectinase stabilization of orange juice cloud. *J. Agric. Food Chem.* 20: 1169-1975 (1972)
2. Crandall, P.G., Matthews, R.F. and Baker, R.A. Citrus beverage clouding agents-review and status. *Food Technol.* 37: 106-110 (1983)
3. Dziezak, I.D. New process concentrates juices-preserving "fresh notes". *Food Technol.* 43: 148-149 (1989)
4. Owusu-Yaw, J., Marshall, M.R., Koburger, J.A. and Wei, C.I. Low pH inactivation of pectinesterase in single strength juice. *J. Food Sci.* 53: 504-507 (1988)
5. Huxsoll, C.C. and Bolin, H.R. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 42: 124-128 (1989)
6. Ohlsson, T. Minimal processing-preservation methods of the future. *Trends Food Sci. Technol.* 5: 341-344 (1994)
7. Kalchayanand, N., Sikes, T., Dunne, C.P. and Ray, B. Hydrostatic pressure and electroporation have increased bactericidal efficiency in combination with bacteriocins. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 4174-4177 (1994)
8. Shin, J.K. and Pyun, Y.R. Inactivation of *Lactobacillus plantarum* by pulsed-microwave irradiation. *J. Food Sci.* 62: 163-166 (1997)
9. Qin, B.L., Pothakamury, U.R., Vega, H., Martin, O., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Food Technol.* 49: 55-60 (1995)
10. Hulsheger, H., Potel, J. and Niemann, E.G. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. *Radiat. Environ. Biophys.* 20: 53-65 (1981)
11. Pothakamury, U.R., Vega, H., Zang, Q., Barbosa-Canovas, G. and Swanson, B.G. Effect of growth stage and processing temperature on the inactivation of *E. coli* by pulsed electric fields. *J. Food Prot.* 59: 1167-1171 (1996)
12. Hulsheger, H., Potel, J. and Niemann, E.G. Electric field effects on bacteria and yeast cells. *Radiat. Environ. Biophys.* 22: 149-162 (1983)
13. Zhang, Q., Qin, B.L., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high-intensity-short-duration pulsed electric fields. *J. Food Proc. Preser.* 19: 103-118 (1994)
14. Castro, A.J., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. Inactivation of foods by pulsed electric field. *J. Food Proc. Preser.* 17: 47-73 (1993)
15. Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *J. Food Eng.* 25: 261-281 (1995)
16. Kim, K.T., Kim, S.S., Choi, H.D., Hong, H.D., Ha, S.D. and Lee, Y.C. Physiological properties of microbial cells treated by pulsed electric field (PEF). *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 368-374 (1999)
17. Jung, D.H. and Jang, H.G. *Food Analysis*, pp. 283-285. Jin Ro Youn Gu Sa, Seoul, Korea (1979)
18. Ma, S.J., Cho, G.S., Joo, H.K., Park, C.K., Chae, I.K. and Cho, H.Y. *Food Analysis Method*, pp. 302-304. Hak Moon Publishing Co., Seoul, Korea (1996)
19. Joo, H.K., Cho, K.S., Cho, S.K., P., C.K. and Ma, S.C. *Analysis Method of Food*, pp. 355-358. Yoo Lim Publishing Co., Seoul, Korea (1989)
20. Ha, S.D. Evaluation of dryfilm method for isolation of microorganisms from foods. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 24: 178-184 (1996)
21. Kimball, D. *Citrus Processing*, pp. 117-125. AVI, New York, USA (1991)
22. Hawer, W.D., Ha, J.H., Seog, H.M., Nam, Y.J. and Shin, D.W. Changes in the taste and flavour compounds of kimchi during fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 511-517 (1988)
23. Kim, K.O. and Lee, Y.C. *Sensory Evaluation of Food*, pp. 185-188. Hak Yeon Publishing Co., Seoul, Korea (1989)
24. O'nahony, M.O. *Sensory Evaluation of Food (Statistical Methods and Procedures)*, pp. 153-160. Marcel Dekker Inc., New York, USA (1985)
24. Tressler, D.K. Nutritive value of fruit and vegetable juices, pp. 447-453. In: *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*. Donald, K. and Maynard, A. (eds.). The AVI Publishing Co. Inc., Westport, USA (1961)
25. Grahl, T., Sitzman, W. and Markl, H. Killing of microorganisms in fluid media by high-voltage pulses. Abstract presented at the 10th Dechema Annual Meeting of Biotechnologists, Karlsruhe, Germany (1992)
26. Hofmann, G.A. *Microflora Reduction in Liquids with Pulsed Electric Fields*. Biotechnologies and Experimental Research, Inc., San Diego, USA (1984)
27. Vega-Mercado, H., Powers, J.R., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. and Luedecke, L. Inactivation of a protease from *Pseudomonas fluorescens* M3/6 using high voltage pulsed electric fields. Abstract presented at the IFT 1995 Annual Meeting, Los Angeles, USA (1995)
28. Ho, S.Y., Mittal, G.S. and Cross, J.D. Effects of high electric field pulses on the activity of selected enzymes. *J. Food Eng.* 31: 69-84 (1997)
29. Jia, M., Zang, O.H. and Min, D.B. Effect of pulsed electric field processing on orange juice flavor analyzed by dynamic head space gas chromatography. Abstract presented at the IFT 1996 Annual Meeting, Orlando, USA (1996)
30. Steven, L.H. High intensity pulsed electric fields and high hydrostatic pressure processing of apple juice. Ph.D. dissertation, Washington State Univ., USA (1997)

(2003년 3월 24일 접수; 2003년 6월 19일 채택)