



광펄스와 열병합처리에 의한 청징 및 혼탁 사과주스의 *Saccharomyces cerevisiae* 살균 및 품질 변화

박세현¹ · 이경미¹ · 신정규^{2,3,*}¹전주대학교 조리 · 식품산업학과, ²전주대학교 스마트식품융합기술ICC, ³전주대학교 한식조리학과

Pasteurization of *Saccharomyces cerevisiae* and quality changes in clear and cloudy apple juice using intense pulsed light combined with mild heat treatment

Se Hyun Park¹, Gyeong Mi Lee¹ and Jung-Kue Shin^{2,3,*}¹Department of Culinary & Food Industry, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea²Food & Bio Convergence Technology ICC, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea³Department of Korean Cuisine, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea

Abstract

Intense pulsed light (IPL), also known as high-intensity pulse light (HIPL), is an emerging non-thermal technology that uses light pulses of short duration, ranging from ultraviolet to infrared wavelengths, for microbial inactivation. This study aimed to investigate the sterilization of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice using IPL and mild heat. As the light intensity and treatment temperature increased, *S. cerevisiae* showed higher inactivation levels. When treated at 600 V and 50 °C for 10 min, clear and cloudy juices showed reductions of 3.95 log and 3.58 log, respectively. In terms of quality changes in apple juice due to pulsed light treatment, Brix and pH showed no change or a slight increase as light intensity, treatment temperature, and treatment time increased. Titratable acidity showed almost no change or a slight decrease. Color values showed a tendency for L and b values to decrease and a value to increase as light intensity, treatment temperature, and treatment time increased. Pulsed-light technology appears to be effective in sterilizing both clear and cloudy juices when combined with appropriate temperatures.

Keywords: Apple juice, Intense pulsed light, Nonthermal technology, Pasteurization, Combined heat treatment

서론

사과는 장미과 사과나무 속(*Rosaceae Maults*)에 해당하는 다년생 식물인 사과나무의 열매이다. 사과에는 비타민 C와 식이섬유뿐만 아니라 catechin, procyanidins, dihydrochalcones, flavonols, hydroxycinnamic acid 등의 폴리페놀 화합물과 butyl alcohol, ethyl alcohol, butyl butyrate, ethyl butyrate 등의 향기 성분이 함유되어 있다(Kim et al.,

1996; Alvarez et al., 2005; Park et al., 2012). 사과는 생과뿐만 아니라 주스 및 음료, 젤리, 잼, 마멀레이드, 통조림, 유제품, 사과주 등으로 다양하게 가공되어 소비되고 있으며, 그 중에서 주스 및 음료 형태의 사과 가공품 소비가 90% 이상을 차지하고 있다(Huh, 2010). 시중에서 판매되고 있는 사과 주스는 사과를 착즙한 후 저온살균을 거친 혼탁 주스와 사과를 고농도로 농축한 다음 정제수를 넣어 원래의 농도로 환원한 청징 주스로 나누어진다(Sohn et al., 2006). 사과 주스의 보존성을 향상

Received: Oct 03, 2024 / Revised: Nov 07, 2024 / Accepted: Nov 12, 2024

Corresponding author: Jung-Kue Shin, Department of Korean Cuisine, College of Culture and Tourism, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea
E-mail: sorilove@jj.ac.kr

Copyright © 2024 Korean Society for Food Engineering.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시키기 위해 주로 고온 단시간 살균법이 사용되고 있으나, 가열 처리 공정 중 각종 성분의 변화가 발생하게 되어 영양소의 파괴뿐만 아니라 색, 향미 등과 같은 관능적인 품질도 크게 떨어지게 되고, 경우에 따라서는 인체에 유해한 물질을 생성하기도 한다(Moyer & Aitken, 1980; Hong et al., 1999; Aguilar et al., 2007). 따라서 이러한 문제점을 최소화 하기 위해 고품질의 천연상태 제품을 생산할 수 있는 비가열 가공 기술이 연구되고 있으며, 현재 식품 산업에서 연구되고 있는 비가열 가공 기술에는 고전압 펄스 전기장(high voltage pulsed electric fields), 초음파(ultrasonification), 초고압(high hydrostatic pressure), 비가열 플라즈마(nonthermal plasma), 이온화 조사(ionizing radiation), 고전압 아크 방전(high voltage arc discharge), 진동자기장(oscillating magnetic fields) 등이 있다. 광펄스는 짧은 시간 동안 자외선부터 근적외선까지의 넓은 파장의 빛을 식품 표면에 조사하여 미생물을 사멸시킴으로써 식품의 보존기간을 연장시키는 기술이다(Dunn et al., 1989; Shin et al., 2010). 광펄스 처리 시 발생하는 빛의 세기는 햇빛보다 약 20,000배 강하며, 가열 처리와 달리 식품에 부정적인 영향을 미치는 색, 향과 같은 물리적·화학적 특성과 영양학적 특성의 변화가 적다는 장점이 있다(Ross et al., 2003). 그러나 광펄스 기술은 채소, 과일, 분말 식품 등 반고체 식품이나 고체식품의 표면 살균에 관한 연구가 대부분이며 현재 액체식품에 대한 연구는 활발히 진행되지 않고 있다(Shin et al., 2010; Park, 2021). 본 연구에서는 사과 주스 제조 시 가열 살균의 문제점을 보완하기 위해 혼탁 주스와 청징 주스에 미생물을 접종한 후 광펄스 처리 조건을 설정하여 비가열 살균 방법인 광펄스 처리를 통한 사과 주스의 미생물 살균 효과를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용된 사과 혼탁주스는 알렉산드리아협동조합(Boeun, Korea)에서 생산된 사과주스를 사용하였으며, 청징주스는 골드메달 마르티넬리 100% 애플 주스(Martinelli, Watsonville, CA, USA)를 사용하였다. 혼탁주스는 사과 수확 후 수일 내에 착즙하여 제조한 것을 구입하여 -40℃에 보관하면서 실험 전날에 상온에서 해동하여 사용하였고, 가열살균 제품인 청징주스는 혼탁주스와 달리 상온에 보관하여도 품질에 큰 변화가 없어 구매 후 상온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

사용균주

실험에 사용한 *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 12224)는 한국 중균협회 부설 한국 미생물보존센터(KCCM, Korean Culture Center of Microorganism, Seoul, Korea)로부터 분양받아 potato dextrose

agar (PDA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 2주에 한 번씩 계대 배양하였으며, 4℃에 보관하면서 사용하였다. 사멸실험에 사용한 *S. cerevisiae*는 항상 일정한 생리적 상태를 유지하기 위해 배양액으로 YM broth (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 30℃의 shaking incubator (C-SKI-3, Changshin Science Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 24시간 전배양한 후, 배양한 균액을 새로운 배양액에 2% 접종하여 대수 증식기 후반의 *S. cerevisiae*를 실험에 사용하였다. *S. cerevisiae* 배양액은 15 mL snap tube (SPL Lifescience, Pocheon, Korea)에 10 mL씩 분주한 후 상온에서 4,000 rpm으로 10 분간 원심분리(Gyro 406G, Gyrozen, Daejeon, Korea)하여 균체를 침전시킨 다음 상등액을 버리고 멸균 생리식염수로 2회 재현탁하여 실험에 사용하였다. 이 때 최종 균체 농도는 *S. cerevisiae*는 10^6 CFU/mL 수준이었으며, 본 실험에 사용된 균 시료액은 동일한 조건으로 매번 새롭게 배양하여 사용하였다.

광펄스 처리장치

본 실험에 사용된 광펄스 처리 장치는 크게 전원 공급부(Model JP-PS2550, Jaepae Hi-Tec, Incheon, Korea), 광원, 펄스 발생기(Model JP-PGT50, Jaepae Hi-Tec, Incheon, Korea), 처리 용기 등으로 구성되어 있다(Fig. 1). 전원 공급부는 AC 220 V, 50/60 Hz의 단상의 전원을 사용하였다. 출력부는 DC 전원으로 0~600 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 사용 가능한 주파수는 1~20 Hz이다. 실험에 사용된 광원은 xenon XAP series의 flash lamp (NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 quartz 재질의 램프를 사용하였으며 무수 xenon 가스로 충전되어 있다. 처리 용기는 석영 재질로 제작되었고, 시료의 흐름과 온도 조절을 위해 삼중관의 water jacket 형태로 되어 있다. 처리 용기 가운데에는 xenon lamp를 삽입할 수 있도록 제작하였고 처리 용량은 13 mL이다.

광펄스 및 열병합 처리

균 현탁액을 접종한 사과주스 200 mL를 500 mL 삼각플라스크에 넣은 후 항온 수조에서 30, 40, 50℃가 되도록 한 후, 연동 펌프(Peristaltic pump, Masterflex 77200-60, Cole-Palmet Instrument Co., Vernon Hills, IL, USA)를 사용하여 150 mL/min의 유속으로 순환하였다. 광펄스 처리 시 항상 일정한 온도를 유지하기 위해 시료가 담긴 삼각플라스크를 동일한 온도로 설정된 항온 수조에서 시료 온도를 항상 일정하게 유지하였으며, 처리 용기(treatment chamber)의 바깥쪽에도 동일한 온도의 증류수를 같은 유속으로 순환시켰다. *S. cerevisiae*를 접종한 시료의 광펄스 처리는 전압 400 V, 500 V, 600 V, 펄스 수 10 pps, 온도 30~50℃에서 처리하였고, 처리시간은 0, 2, 4, 6, 8, 10분간 처리하였으며, 처리 후 생균수 측정에 사용하였다.

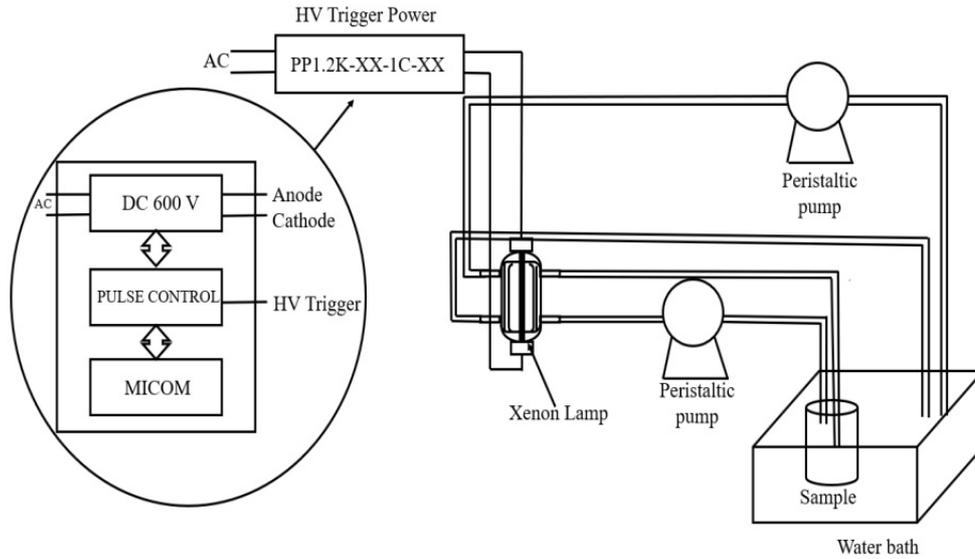


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus for intense pulsed light.

생균수 측정

광펄스 처리 전후의 사과 주스 1 mL에 멸균된 생리 식염수(NaCl 0.85%) 9 mL를 혼합하여 10진법으로 단계적 희석하였다. 희석액 1 mL를 평판 배양접시에 접종한 후 PDA를 부어 혼합하고 30±1°C에서 48시간 배양하여 형성된 집락수를 계수하였다. 집락수는 30~300개 사이의 것을 계수하였으며, 광펄스 처리에 따른 균체의 사멸률은 초기 균체 수(N_0)와 광펄스 처리 후의 균체 수(N)의 비로 나타내었다. 모든 시료는 3회 반복 실험하여 측정하였다.

사멸 속도(k) 및 D값

광펄스와 열병합처리에 따른 *S. cerevisiae*의 사멸 속도는 식 (1)과 같이 1차 반응에 의거하여 해석하였다. 빛의 세기 및 처리온도별 생존 미생물 수 변화로부터 살균패턴을 분석하였다. 구간별 살균 곡선의 기울기로부터 사멸 속도(k)를 구하였으며, D값은 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k \cdot t \tag{1}$$

$$D = \frac{2.303}{k} \tag{2}$$

여기서 N_0 : 초기 미생물 수, N : 광펄스 처리 후 미생물 수, k : 사멸속도 상수(min^{-1}), t : 처리 시간(min), D : decimal reduction time (min)을 의미한다.

색도

색도는 광펄스 처리 전후의 사과 주스를 색차계(Chroma meter, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 표준 백색 판의 값은 $L=97.31$, $a=1.01$, $b=2.32$ 이었다. 사과 주스는 지름 50×15 mm의 원형 Petri dish에 10 mL씩 담아 측정하였으며 명도 (Lightness, L), 적색도(Redness, a), 황색도(Yellowness, b) 값을 3회 반복 측정하여 평균값으로 하였다. 색차값(total color difference, ΔE)은 광펄스 처리 전 시료와 처리 후 시료의 색차를 아래의 식에 대입하여 산출하였다. L_1 , a_1 , b_1 은 광펄스 처리 전 시료의 색도이며, L_2 , a_2 , b_2 는 광펄스 처리 후 시료의 색도이다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

Brix

Brix는 사과 주스 시료 1 mL를 취하여 당도계(Master Refractometer, ATAGO Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

pH

pH는 사과 주스를 충분히 교반시킨 후 50 mL Conical Tube (SPL Lifescience, Pocheon, Korea)에 시료 25 mL를 담아 pH meter (Docu-pH meter, Sartorius, Göttingen, Germany)를 이용하여 상온에서 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

적정산도

적정 산도는 사과 주스 10 mL에 증류수 90 mL를 가하여 100 mL로 정용한 다음 충분히 교반시켜 0.1N NaOH 용액을 사용하여 pH 8.3이 될 때까지 적정하였다. 0.1N NaOH 용액의 소비량(mL)을 측정하여 산도를 malic acid의 상당량(%)으로 나타내었다. 실험은 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

$$\text{산도}(\% \text{ malic acid}) = \frac{0.0067 \times 0.1 \text{NaOH 소비량}(\text{mL}) \times \text{NaOH 역가}}{\text{시료의 부피}} \times 100$$

통계분석

모든 실험결과는 3회 반복 측정하였으며, 통계처리는 SPSS Version 26.0 package program (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다. 각 측정 항목의 평균과 표준편차는 One Way ANOVA를 이용하여 분석하였으며 시료 간의 차이는 Duncan's multiple range test를 이용하였다. 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

광펄스 처리와 열병합 처리에 따른 사과 주스의 살균 효과

광펄스 살균에 있어서 빛의 세기 및 처리시간이 미생물의 사멸에 큰 영향을 미치지 않지만, 처리온도 등을 병합하여 처리할 경우 미생물의 사멸에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Vera-Mercado et al., 1996). 광펄스 처리와 열병합 처리에 따른 *S. cerevisiae*의 살균 효과는 Fig. 2에 나타내었다. *S. cerevisiae*를 접종한 사과 청징주스는 시료 온도 30°C, 400 V의 빛의 세기에서 10분 처리 시 0.23 log, 40°C, 50°C에서는 0.28 log와 0.34 log의 감소를 보였다.

빛의 세기가 증가할수록 살균 효과도 함께 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 빛의 세기가 500 V일 때 30°C, 40°C, 50°C에서 각각 0.28 log, 0.31 log, 2.28 log 정도의 살균 효과를 보였으며, 600 V에서는 0.30 log, 1.62 log, 3.95 log의 높은 살균 효과를 보였다. 동일한 처리 조건에서 사과 혼탁주스는 400 V, 30°C에서 0.07로 낮은 살균 효과를 나타내었으며 40°C, 50°C에서는 0.16 log, 0.22 log의 살균 효과를 나타내었다. 사과 혼탁주스도 빛의 세기가 증가할수록 살균 효과도 함께 증가하였다(Fig. 3). 빛의 세기가 500 V일 때 30°C, 40°C, 50°C에서 각각 0.10 log, 0.18 log, 1.21 log 정도의 살균 효과를 보였으며, 600 V에서는 0.18 log, 0.37 log, 3.58 log의 높은 살균 효과를 보였다. 이는 처리온도 증가 시 미생물 사멸속도가 증가한다는 연구결과와 일치하였다(Vera-Mercado et al., 1996). Ohshima et al. (1997)에서는 미생물 세포막의 인지질은 저온에서 rigid gel 구조로 되어있으나 온도가 상승하게 되면 세포막이 약간 느슨한 liquid crystalline 구조로 변하게 되고, 세포막 이중층의 두께가 감소하게 된다고 하였고 Ha (1999)의 연구에서도 온도가 증가할수록 미생물의 세포막 수축 및 이완이 비교적 쉽게 일어나 고온에서 세포막의 파괴가 쉬워진다고 보고하였다. 따라서 빛의 세기와 처리 온도가 증가할수록 *S. cerevisiae*의 사멸율에 미치는 영향이 높은 것으로 판단되었다.

사과 주스 살균의 동력학적 분석

빛의 세기와 처리온도를 달리하여 광펄스 처리한 *S. cerevisiae*의 살균 값으로부터 구한 사멸 속도 상수와 D값을 구간별로 나누어 비교하면 Table 1과 같다. 처리온도를 30°C로 고정하고 빛의 세기를 달리하여 광펄스 처리하였을 때 빛의 세기가 증가함에 따라서 *S. cerevisiae*를 접종한 사과 청징주스의 사멸속도가 증가함을 확인할 수 있었다. 빛의 세기가 0 V, 400 V, 500 V, 600 V일 때 0.00668 min⁻¹, 0.02415 min⁻¹, 0.002843 min⁻¹, 0.03082 min⁻¹

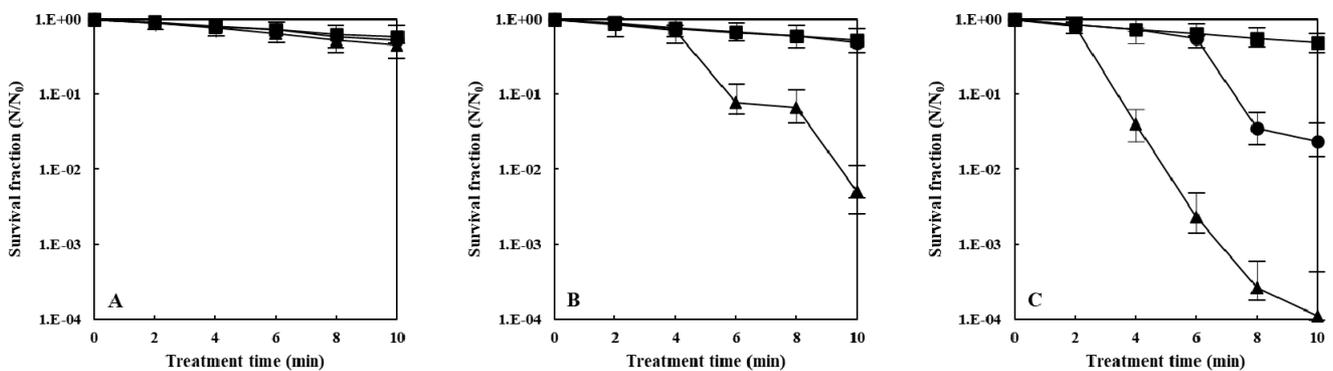


Fig. 2. Inactivation of *S. cerevisiae* inoculated in cleared apple juice by high intense pulsed light at various voltage and temperature. ■ 400 V, ● 500 V, ▲ 600 V; A: 30°C, B: 40°C, C: 50°C.

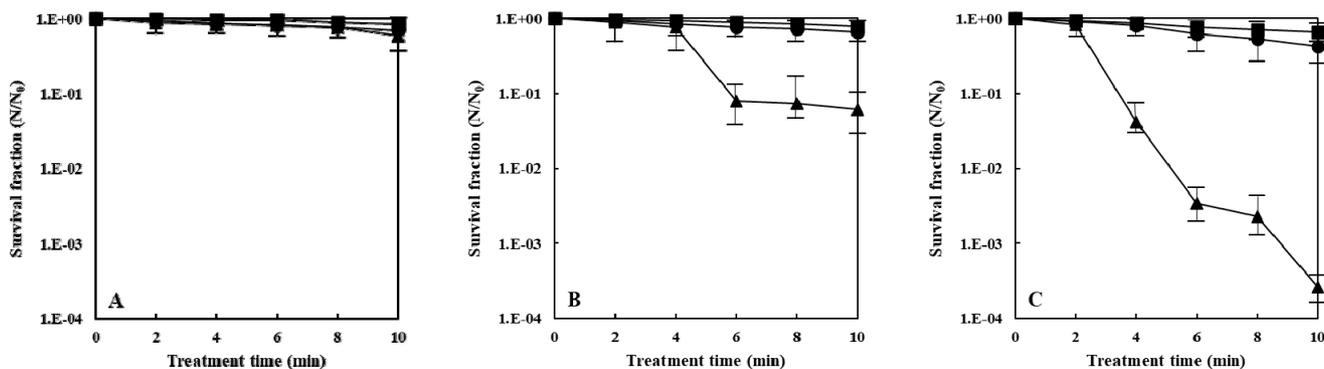


Fig. 3. Inactivation of *S. cerevisiae* inoculated in cloudy apple juice by high intense pulsed light at various voltage and temperature. ■ 400 V, ● 500 V, ▲ 600 V; A: 30°C, B: 40°C, C: 50°C.

Table 1. Inactivation rate constants and decimal reduction times of *S. cerevisiae* by high intense pulsed light treatment at various voltage and temperature

Sample	Voltage	Temperature (°C)	Inactivation rate constants (<i>k</i> , min ⁻¹)	Decimal reduction times (<i>D</i> , min)
Cleared apple juice	0 V	30	0.00668	344.7
		40	0.01824	126.2
		50	0.02649	86.9
	400 V	30	0.02415	95.3
		40	0.02888	79.7
		50	0.03562	64.6
	500 V	30	0.02843	81.0
		40	0.03065	75.1
		50	0.22492	10.2
	600 V	30	0.03082	74.7
		40	0.17689	13.0
		50	0.44935	5.12
Cloudy apple juice	0 V	30	0.00419	549.6
		40	0.00657	350.5
		50	0.00860	267.7
	400 V	30	0.00731	315.0
		40	0.01569	146.7
		50	0.01958	117.6
	500 V	30	0.01104	208.6
		40	0.01889	121.9
		50	0.14709	15.6
	600 V	30	0.01927	119.5
		40	0.03811	60.4
		50	0.38145	6.03

값을 보였으며, 처리온도가 높아질수록 사멸속도 값이 증가하여 600 V, 50°C에서 0.03082 min⁻¹에서 0.44935 min⁻¹로 급격히 사멸됨을 확인할 수 있었다. 동일한 조건에서 사과 혼탁주스는 빛의 세기가 0 V, 400 V, 500 V, 600 V일 때 0.00419 min⁻¹, 0.00731 min⁻¹, 0.01104 min⁻¹, 0.01927 min⁻¹ 값을 보였으며, 사과 혼탁주스도 사과 청징주스와 마찬가지로 600 V, 50°C에서는 0.01927 min⁻¹에서 0.38145 min⁻¹로 처리온도가 상승할수록 사멸속도 값이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 일정한 온도에서 미생물의 90% 사멸에 필요한 시간을 나타내는 D값을 보면 *S. cerevisiae*를 접종한 사과 청징주스의 경우 600 V에서 처리온도가 상승할수록 74.7 min, 13.0 min, 5.12 min으로 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 회귀분석한 결과 빛의 세기와 처리온도에 따른 생존율의 직선식에서 r²값이 0.7899-0.9990이었다(data not shown). 사과 혼탁주스는 청징주스와 마찬가지로 처리온도가 상승할수록 119.5 min, 60.4 min, 6.03 min으로 감소하였으며 r²은 0.8379-0.9972이었다. 이를 통해 빛의 세기와 처리온도가 상승할수록 *S. cerevisiae*의 사멸속도가 증가한다는 것을 확인할 수 있었으며, 사과 청징주스가 사과 혼탁주스보다 큰 값을 보여 사과 청징주스가 광펄스 처리에 효과적인 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 제품의 흡광도에 따라 UV 처리 시 미생물의 사멸에 미치는 영향이 다르고 과일 주스 안에 존재하는 펄프 입자가 UV 처리 시 발생하는 빛의 산란, 흡수 또는 차단에 영향을 미쳐 미생물의 사멸에 영향을 미친다는 Qualls & Johnson (1983), Christensen & Linden (2003), Koutchma et al. (2004)의 결과와 일치하였다. 또한, 관련 연구에 따르면 *S. cerevisiae*를 접종한 포도 청징주스와 혼탁주스에 각각 UV를 처리한 결과 청징주스의 경우 3.39 log의 살균 효과를 보였으나 혼탁주스는 1.54 log의 살균 효과를 보였다(Kaya & Unluturk, 2016).

Brix, pH, 적정산도

광펄스 처리와 열병합 처리에 따른 사과 주스의 품질 변화를 알아보기 위해 광펄스 처리를 하지 않은 주스를 대조구로 하고 빛의 세기와 처리시간을 달리하여 0~10분간 처리한 주스의 °Brix, pH, 적정 산도를 측정한 결과는 Table 2~3과 같았다. *S. cerevisiae*를 접종한 사과 청징 주스의 당도는 처리온도 및 처리시간이 증가할수록 최대 13.66° Brix까지 증가하는 경향을 보였으며, pH도 최대 3.77까지 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 오렌지 주스와 사과 주스에 UV 처리 시 °Brix와 pH에 영향을 미치지 않았으나(Tran &

Table 2. Changes of °Brix, pH, titratable acidity value of cleared apple juice inoculated *S. cerevisiae* by high intense pulsed light treatment at 50°C

Voltage	Treatment time (min)	°Brix	pH	Titratable acidity
0 V	0	13.50±0.00 ^{1)NS}	3.51±0.01 ^c	0.04±0.00 ^{NS}
	2	13.50±0.00	3.52±0.01 ^{bc}	0.04±0.00
	4	13.50±0.00	3.54±0.01 ^{ab}	0.04±0.00
	6	13.50±0.00	3.52±0.02 ^{abc}	0.04±0.00
	8	13.50±0.00	3.54±0.01 ^{ab}	0.04±0.00
	10	13.50±0.00	3.55±0.01 ^a	0.04±0.00
400 V	0	13.50±0.00 ^b	3.67±0.03 ^{ab}	0.04±0.00 ^{NS}
	2	13.50±0.00 ^b	3.65±0.01 ^b	0.04±0.00
	4	13.50±0.00 ^b	3.69±0.00 ^a	0.04±0.00
	6	13.50±0.00 ^b	3.69±0.02 ^a	0.04±0.00
	8	13.53±0.05 ^{ab}	3.70±0.00 ^a	0.04±0.00
	10	13.56±0.05 ^a	3.69±0.01 ^a	0.04±0.00
500 V	0	13.50±0.00 ^{NS}	3.58±0.07 ^b	0.04±0.00 ^a
	2	13.50±0.00	3.64±0.01 ^{ab}	0.04±0.00 ^a
	4	13.50±0.00	3.64±0.01 ^{ab}	0.04±0.00 ^a
	6	13.53±0.05	3.64±0.02 ^{ab}	0.04±0.00 ^a
	8	13.53±0.05	3.64±0.01 ^{ab}	0.04±0.00 ^b
	10	13.56±0.05	3.67±0.03 ^a	0.04±0.00 ^b
600 V	0	13.50±0.00 ^c	3.69±0.02 ^{NS}	0.04±0.00 ^{NS}
	2	13.53±0.05 ^{bc}	3.67±0.02	0.04±0.00
	4	13.60±0.00 ^{ab}	3.69±0.03	0.04±0.00
	6	13.60±0.00 ^{ab}	3.69±0.01	0.04±0.00
	8	13.63±0.05 ^a	3.68±0.01	0.03±0.00
	10	13.66±0.05 ^a	3.69±0.01	0.03±0.00

¹⁾Mean±SD.
^{a-c}Superscriptive letters in a column indicate significance at μ (0.05 by Duncan's multiple range test.
^{NS}Not significant.

Table 3. Changes of °Brix, pH, titratable acidity value of cloudy apple juice inoculated *S. cerevisiae* by high intense pulsed light treatment at 50°C

Voltage	Treatment time (min)	°Brix	pH	Titratable acidity
0 V	0	12.40±0.00 ^{1)NS}	3.74±0.01 ^a	0.04±0.00 ^{NS}
	2	12.40±0.00	3.72±0.01 ^{bc}	0.04±0.00
	4	12.40±0.00	3.71±0.01 ^c	0.04±0.00
	6	12.40±0.00	3.73±0.00 ^{abc}	0.04±0.00
	8	12.40±0.00	3.73±0.00 ^{ab}	0.04±0.00
	10	12.40±0.00	3.72±0.01 ^{bc}	0.04±0.00
400 V	0	12.40±0.00 ^{NS}	3.84±0.01 ^a	0.04±0.00 ^{NS}
	2	12.40±0.00	3.81±0.01 ^b	0.04±0.00
	4	12.40±0.00	3.81±0.01 ^b	0.04±0.00
	6	12.40±0.00	3.80±0.02 ^b	0.04±0.00
	8	12.40±0.00	3.79±0.00 ^b	0.04±0.00
	10	12.43±0.05	3.79±0.00 ^b	0.04±0.00
500 V	0	12.40±0.00 ^b	3.76±0.00 ^{NS}	0.04±0.00 ^{NS}
	2	12.40±0.00 ^b	3.75±0.01	0.04±0.00
	4	12.40±0.00 ^b	3.75±0.00	0.04±0.00
	6	12.40±0.00 ^b	3.76±0.00	0.04±0.00
	8	12.43±0.05 ^{ab}	3.75±0.01	0.04±0.00
	10	12.46±0.05 ^a	3.76±0.03	0.04±0.00
600 V	0	12.40±0.00 ^b	3.68±0.01 ^{ab}	0.04±0.00 ^{NS}
	2	12.43±0.05 ^{ab}	3.66±0.00 ^b	0.04±0.00
	4	12.43±0.05 ^{ab}	3.67±0.02 ^{ab}	0.04±0.00
	6	12.46±0.05 ^{ab}	3.70±0.01 ^a	0.04±0.00
	8	12.53±0.05 ^a	3.70±0.01 ^a	0.04±0.00
	10	12.53±0.05 ^a	3.69±0.01 ^a	0.04±0.00

¹⁾Mean±SD.
^{a-c}Superscriptive letters in a column indicate significance at μ (0.05 by Duncan's multiple range test.
^{NS}Not significant.

Farid, 2004; Noci et al., 2008; Walking-Ribeiro et al., 2008) 사과, 복숭아, 레몬주스 온도가 증가할 경우 시료의 °Brix가 조금씩 증가하였다는 Ibarz et al. (2005)의 연구결과와 일치하였다. 적정 산도의 경우, 처리온도 및 처리시간이 증가할수록 모든 시료는 0.04로 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 50°C, 600 V에서 8~10분간 처리할 경우 0.03으로 감소하는 경향을 나타내었다.

Color

빛의 세기 및 처리시간을 달리하여 사과 주스의 명도(Lightness,

L), 적색도(Redness, a), 황색도(Yellowness, b), 색차(Color difference, ΔE)를 측정한 결과는 Table 4~5와 같다. *S. cerevisiae*를 접종한 사과 청징 주스와 혼탁 주스 둘 다 빛의 세기와 처리시간이 증가할수록 L값, b값은 감소하고 a값은 증가하는 경향을 보였다. 특히 빛의 세기가 높고 처리온도가 높을수록 색이 어두운 것을 확인할 수 있었다. 이는 xenon lamp와 시료 사이의 거리가 가까워 사과 내에 존재하는 riboflavin이 xenon lamp에서 발생하는 강한 빛과 열에 의해 파괴되어 b값이 낮아진 것으로 판단된다(Rivas et al., 2006). Liang et al.

Table 4. Changes of lightness, redness, yellowness and ΔE of cleared apple juice inoculated *S. cerevisiae* by high intense pulsed light treatment at 50°C

Voltage	Treatment time (min)	L	a	b	ΔE
0 V	0	24.11±0.24 ^{1)ab}	-1.68±0.07 ^{NS}	5.31±0.06 ^{ab}	-
	2	24.43±0.28 ^a	-1.67±0.00	5.35±0.18 ^{ab}	0.35±0.07 ^b
	4	24.08±0.04 ^{ab}	-1.65±0.05	5.45±0.04 ^a	0.27±0.08 ^b
	6	24.10±0.17 ^{ab}	-1.68±0.02	5.22±0.17 ^{ab}	0.13±0.11 ^b
	8	23.66±0.23 ^{bc}	-1.69±0.04	5.08±0.04 ^{bc}	0.50±0.00 ^{ab}
	10	23.36±0.43 ^c	-1.68±0.04	4.85±0.21 ^c	0.88±0.56 ^a
400 V	0	22.97±0.61 ^b	-1.63±0.07 ^c	4.95±0.29 ^b	-
	2	21.99±0.47 ^c	-1.47±0.10 ^b	4.95±0.12 ^b	1.09±0.80 ^{NS}
	4	21.85±0.52 ^c	-1.43±0.04 ^b	4.93±0.13 ^b	1.18±0.22
	6	23.72±0.06 ^a	-1.38±0.03 ^b	5.98±0.05 ^a	1.33±0.58
	8	22.86±0.21 ^b	-1.23±0.01 ^a	5.72±0.23 ^a	1.04±0.13
	10	23.51±0.19 ^{ab}	-1.20±0.07 ^a	6.01±0.05 ^a	1.40±0.40
500 V	0	23.97±0.13 ^a	-1.71±0.03 ^f	5.15±0.25 ^c	-
	2	22.39±0.40 ^{de}	-1.59±0.01 ^e	5.16±0.04 ^c	1.60±0.31 ^b
	4	22.93±0.29 ^{cd}	-1.42±0.01 ^d	5.19±0.13 ^c	1.09±0.18 ^c
	6	23.59±0.15 ^{ab}	-1.23±0.03 ^c	6.07±0.05 ^b	1.14±0.14 ^c
	8	22.25±0.38 ^e	-1.13±0.03 ^b	6.06±0.18 ^b	2.08±0.10 ^a
	10	23.28±0.37 ^{bc}	-0.99±0.04 ^a	6.77±0.14 ^a	1.95±0.29 ^{ab}
600 V	0	23.32±0.27 ^a	-1.75±0.02 ^f	4.91±0.12 ^a	-
	2	21.64±0.34 ^c	-1.58±0.04 ^e	4.75±0.05 ^b	1.69±0.12 ^{ab}
	4	22.40±0.47 ^b	-1.31±0.04 ^d	4.43±0.02 ^c	1.19±0.36 ^c
	6	22.55±0.25 ^b	-1.19±0.01 ^c	4.26±0.15 ^d	1.49±0.13 ^{bc}
	8	21.90±0.29 ^{bc}	-1.04±0.03 ^b	4.17±0.02 ^d	2.03±0.13 ^a
	10	22.64±0.24 ^b	-0.98±0.01 ^a	4.07±0.06 ^e	2.06±0.25 ^a

¹⁾Mean±SD.

^{NS}Not Significant.

^{a-e}Superscriptive letters in a column indicate significance at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(2006)의 연구에 의하면 사과 혼탁 주스를 50°C로 가열한 후 27 kV/cm에서 58.7 μs 동안 PEF 처리한 결과 사과 주스의 색이 33%나 감소하였다고 보고하였으며, 전압과 처리시간이 길어질수록 색에 미치는 영향은 더 크다고 하였다. 색차의 경우 *S. cerevisiae*를 접종한 사과 청징 주스의 경우 모든 처리 구에서 색차가 거의 없거나 근소한 차이를 보였으며, 40°C, 50°C의 경우 거의 모든 처리 구에서 감지할 수 있을 정도의 색차를 보였다. 사과 혼탁 주스의 경우 *S. cerevisiae*는 빛의 세기가 증가할수록 근소한 차이를 보이거나 감지할 수 있을 정도의 차이를 보였음을 확인할 수 있었다.

Table 5. Changes of lightness, redness, yellowness and ΔE of cloudy apple juice inoculated *S. cerevisiae* by high intense pulsed light treatment at 50°C

Voltage	Treatment time (min)	L	a	b	ΔE
0 V	0	45.30±0.17 ^{1)d}	-3.28±0.03 ^d	20.00±0.31 ^{bc}	-
	2	45.94±0.03 ^a	-3.04±0.02 ^a	20.07±0.47 ^b	0.69±0.15 ^{ab}
	4	45.04±0.04 ^e	-3.43±0.01 ^f	19.31±0.16 ^d	0.77±0.26 ^{ab}
	6	45.46±0.05 ^c	-3.24±0.01 ^c	20.37±0.34 ^b	0.66±0.26 ^{ab}
	8	45.05±0.04 ^e	-3.38±0.02 ^e	19.50±0.18 ^{cd}	0.60±0.21 ^b
	10	45.70±0.04 ^b	-3.11±0.01 ^b	20.92±0.08 ^a	1.04±0.16 ^a
400 V	0	45.71±0.08 ^b	-2.92±0.04 ^b	20.02±0.21 ^a	-
	2	45.54±0.06 ^c	-2.87±0.03 ^{ab}	19.32±0.23 ^b	0.73±0.00 ^b
	4	45.38±0.08 ^d	-2.84±0.03 ^a	18.45±0.20 ^c	1.61±0.40 ^a
	6	45.34±0.16 ^d	-2.86±0.05 ^{ab}	18.36±0.20 ^c	1.70±0.10 ^a
	8	45.28±0.04 ^d	-2.83±0.02 ^a	18.38±0.13 ^c	1.70±0.34 ^a
	10	46.10±0.04 ^a	-2.83±0.02 ^a	18.72±0.21 ^c	1.36±0.04 ^a
500 V	0	46.36±0.10 ^a	-3.67±0.04 ^c	19.04±0.27 ^a	-
	2	46.18±0.07 ^b	-3.57±0.04 ^b	18.13±0.38 ^b	0.93±0.12 ^d
	4	46.07±0.02 ^{bc}	-3.55±0.02 ^b	17.35±0.13 ^c	1.72±0.40 ^c
	6	46.07±0.04 ^{bc}	-3.53±0.01 ^b	16.81±0.13 ^d	2.25±0.41 ^b
	8	46.03±0.10 ^c	-3.52±0.04 ^b	15.99±0.34 ^e	3.07±0.15 ^a
	10	46.21±0.07 ^b	-3.42±0.03 ^a	15.88±0.17 ^e	3.17±0.11 ^a
600 V	0	46.24±0.08 ^a	-3.76±0.01 ^d	18.68±0.33 ^a	-
	2	45.95±0.04 ^c	-3.65±0.02 ^c	17.40±0.36 ^b	1.31±0.39 ^c
	4	46.08±0.03 ^b	-3.57±0.01 ^b	17.32±0.14 ^b	1.37±0.31 ^c
	6	46.16±0.07 ^{ab}	-3.49±0.03 ^a	16.78±0.14 ^c	1.92±0.46 ^{bc}
	8	46.11±0.04 ^{ab}	-3.50±0.02 ^a	16.13±0.09 ^d	2.57±0.42 ^{ab}
	10	46.15±0.11 ^{ab}	-3.47±0.03 ^a	15.42±0.23 ^e	3.28±0.49 ^a

¹⁾Mean±SD.

^{a-e}Superscriptive letters in a column indicate significance at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

요약

대부분의 식품 산업에서 사과 주스의 보존성을 향상시키기 위해 고온 열처리 방식을 사용하고 있으나, 살균 중 원료 과실의 영양성분 뿐만 아니라 갈변에 의한 색의 저하, 향미의 손실 등 품질 저하를 초래하여 신선식품의 가공에는 적합하지 않은 실정이다. 본 실험은 사과 주스 제조 시 발생할 수 있는 문제점을 보완하기 위해 비가열 살균 기술 중 하나인 광펄스 기술을 이용하여 *S. cerevisiae*의 살균 효과와 품질 변화에 대해 알아보았다. *S. cerevisiae*는 빛의 세기와 처리온도가 증가함에 따라 사멸율이 증가하는 경향을 보였으며, 600 V, 50°C에서 10분 처리 시 청징주스는 3.95 log, 혼탁주스는 3.58 log의 감소 효과를 보였다. 광펄스 처리에 의한 사과주스의 품질 변화에 있어 빛의 세기, 처리온도, 처리시간의 증가할수록 Brix, pH는 변화가 없거나 증가하는 경향을 보였으며 적정 산도도 거의 변화가 없거나 약간 감소하는 경향을 보였다. 색도는 빛의 세기, 처리온도, 처리시간이 증가할수록 L값, b값은 감소하고 a값은 증가하는 경향을 보였다. 적절한 온도와 병합처리를 하였을 경우 광펄스 기술은 청징주스뿐만 아니라 혼탁주스의 살균에도 효과적인 것으로 보인다.

ORCID

Gyeong Mi Lee <https://orcid.org/0000-0003-3077-2370>
Jung-Kue Shin <https://orcid.org/0000-0002-7303-7483>

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through High Value-added Food Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (Project No. 322018-4) and supported by 2024 Research Year Program of Jeonju University.

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Park SH, Shin JK.

Data curation: Park SH, Shin JK.

Formal analysis: Park SH, Shin JK.

Methodology: Park SH, Shin JK.

Validation: Park SH, Lee GM, Shin JK.

Investigation: Park SH, Shin JK.

Writing - original draft: Park SH, Shin JK.

Writing - review & editing: Park SH, Lee GM, Shin JK.

Ethics approval

Not applicable.

References

- Aguilar-Rosas SF, Ballinas-Casarrubias ML, Nevarez-Moonrillon GV, Martin-Belloso O, Ortega-Rivas E. 2007. Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: effects on physicochemical properties and flavour compounds. *J. Food Engineering*. 83: 41-46.
- Alvarez-Parrilla E, Laura AD, Torres-Rivas F, Rodrigo-Garcia J, Gonzalez-Aguilar GA. 2005. Complexation of apple antioxidants: chlorogenic acid, quercetin and rutin by β -cyclodextrin β -CD). *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem*. 53: 121-129.
- Christensen J, Linden KG. 2003. How particles affect UV light in the UV disinfection of unfiltered drinking water. *J. Am. Water Works Ass.* 95: 179-189.
- Dunn JE, Clark RW, Asumus JF, Peralman JS, Boyer K, Painchaud F, Hofmann GA. 1989. Methods for preservation of foodstuffs. US Patent. 4 871 559.
- Ha GY. 1999. Non-thermal pasteurization of carrot juice by high voltage pulsed electric fields. MS thesis, Yonsei University. Seoul, Korea.
- Hong HD, Kim S, Kim KT, Choi HD. 1999. Changes in quality of domestic apple juice concentrates during long-term storage. *J. Korean Soc. Agric. Chem Biotechnol*. 42: 235-239.
- Huh MY. 2010. Recognition and importance-satisfaction of apple processed products. *J. Korean Soc. Food Cult*. 25: 1-8.
- Ibarz A, Pagán J, Panadés R, Garza S. 2005. Photochemical destruction of color compounds in fruit juices. *J. Food Eng.* 69: 155-160.
- Kaya Z, Unluturk S. 2016. Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV system. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 33: 282-288.
- Kim TR, Whang HJ, Yoon KR. 1996. Mineral contents of Korean apples and apple juices. *Korean J. Food Sci. Technol*. 28: 90-98.

- Koutchma T, Keller A, Chirtel S, Parisi B. 2004. Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5: 179-189.
- Liang A, Cheng Z, Mittal GS. 2006. Inactivation of spoilage microorganisms in apple cider using a continuous flow pulsed electric field system. *Food Sci. Technol.* 39: 351-357.
- Moyer JC, Aitken HC. 1980. Apple juice. In: *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*. PE Nelson, Tressler DK. (eds). AVI Publishing, Westport, CT, USA, pp. 212-267.
- Noci F, Riener J, Walkling-Ribeiro M, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG. 2008. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *J. Food Eng.* 85: 141-146.
- Ohshima T, Sato K, Terauchi H, Sato M. 1997. Physical and chemical modification of high-voltage pulse sterilization. *J. Electrostat.* 42: 159-166.
- Park JY, Ryu HU, Shin HS, Lim HK, Son IC, Kim DI, Jeong HS, Lee JS. 2012. Effects on CuEDTA and FeEDTA foliar spray on antioxidant activities of apple. *Korean. Soc. Food. Sci. Nutr.* 41: 1305-1309.
- Park SH. 2021. Nonthermal sterilization of microorganism on apple juice using high intense pulsed light treatment. MS thesis, Jeonju University, Jeonju, Korea.
- Qualls RG, Johnson JD. 1983. Biossay and dose measurement in UV disinfection. *Appl. Environ. Microbio.* 45: 872-877.
- Rivas A, Rodrigo D, Martínez A, Barbosa-Cánovas GV, and Rodrigo M., 2006. Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *Food Sci. Technol.* 39: 1163-1170
- Ross AIV, Griffiths MW, Mittal GS, Deeth HC. 2003. Combining nonthermal technologies to control foodborne microorganisms. *Int. J. Food Microbiol.* 89: 125-138.
- Shin JK, Kim BR, Kim AJ. 2010. Nonthermal food processing technology using electric power. *Food Sci. Ind.* 43: 21-34.
- Sohn KS, Seog EJ, Lee JH. 2006. Quality characteristics of Clarified apple juices produced by various methods. *Korean J. Food Preserv.* 13: 138-143.
- Tran MTT, Farid M. 2004. Ultraviolet treatment of orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5: 495-502.
- Vera-Mercado H, Pothakamury UR, Chang FJ, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. 1996. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric field hurdles. *Food Res. Int.* 29: 117-121.
- Walkling-Ribeiro M, Noci F, Cronin DA, Riener J, Lyng JG, Morgan DJ. 2008. Reduction of *Staphylococcus aureus* and quality changes in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre-heating and pulsed electric fields. *J. Food Eng.* 89: 267-273.