

고전장펄스를 이용한 약주의 회분식 살균

김수연 · 박영서 · 목철균
경원대학교 식품생물공학과

Sterilization of Yakju(Rice Wine) Using a Batch-type High Voltage Pulsed Electric Field System

Su Yeon Kim, Young Seo Park and Chulkyoon Mok
Department of Food and Bioengineering, Kyungwon University

Abstract

Yakju(rice wine) was sterilized with high-voltage pulses of short time on a batch pulsed electric field(PEF) system. The initial microbial counts of Yakju were 7.52×10^4 CFU/mL for total aerobes, 2.20×10^4 CFU/mL for lactic acid bacteria and 7.08×10^4 CFU/mL for yeasts. The pH, acidity and electric conductivity of Yakju were 3.36, 0.462% and 1.24 mS/cm, respectively. Yakju was treated with 2-250 of pulses exponential-wave formed electric pulses under the field strength of 12.5-25 kV/cm. The critical strengths of the electrical field for the sterilization of Yakju were 7.5 kV/cm for total aerobes, 8.5 kV/cm for lactic acid bacteria and 6.5 kV/cm for yeasts. Logarithmic survival rates decreased linearly at low pulse number, but curvilinearly at high pulse number. The PEF sterilization kinetics of Yakju could be analysed by $\ln s = \ln A - k \ln(n)$ and the sterilization rate constant increased with electric field strength and the size of target microorganisms. No changes in pH, acidity, and the growth of microorganisms were found in the PEF treated Yakju during the storage for 6 weeks at both 4°C and 30°C.

Key words : Yakju, pulsed electric field, sterilization

서 론

식품산업에서 식품의 보존성을 향상시키기 위한 방법으로 대부분 가열조작 또는 건조, 냉동 등의 물리적 방법이나 식품 보존제의 첨가 등에 의한 화학적 방법을 사용하고 있다. 이중 열처리 기술이 식품의 보존성을 향상시키는 방법으로 현재까지 널리 사용되고 있으나 가열처리는 열에 의한 성분의 파괴, 조직의 변성, 맛과 색의 변성, 영양소와 향기성분의 손실, 그리고 공유결합에 의한 새로운 화합물의 형성 등 식품의 품질 저하를 수반한다. 이와 함께 위생적 안전성, 고품질, 천연지향적인 식품소비패턴의 변화에 따라 최소 가공식품에 대한 요구가 증대되고 있다⁽¹⁾. 이런 문제점들을 해결하기 위하여 기존의 방법들을 대체할만한 고전장 펄스 전기장(high voltage pulsed electric field, PEF), 진동자기장(oscillating magnetic field), 초고압

(high hydrostatic pressure)⁽²⁾, 광펄스(intense light pulses), 마이크로 웨이브(microwave)^(3,4), 이온화 조사(ionizing irradiation), 초음파(ultrasonication) 등을 이용한 여러 가지 비열처리 신기술들이 연구되고 있다.

이중 고전장 펄스 전기장을 이용한 미생물의 불활성화는 처리 중 처리액의 온도가 거의 상승하지 않고, 처리시간이 짧으며, 연속처리가 가능하고, 처리 후에 식품의 물리적, 화학적 및 영양학적 특성들이 거의 변하지 않기 때문에 최근 관심이 집중되고 있는 신기술이다⁽⁵⁻¹⁰⁾.

고전장 펄스 전기장에 의한 미생물의 치사효과에 미치는 가장 직접적인 영향인자는 전기장의 세기와 처리시간 또는 횟수이다. 이밖에 보조인자로서 처리온도, pH, 이온강도, 처리 시료의 전기전도도, 미생물의 종류, 미생물의 증식 정도에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다^(11,12).

고전장 펄스 전기장 처리에 의하여 세포막이 손상되는 기작은 비가역적인 electroporation으로 알려져 있다^(13,14). Electroporation 기작은 완전히 밝혀지지지는 않았

Corresponding author : Chulkyoon Mok, Department of Food and Bioengineering, Kyungwon University, San 65 Bokjung-Dong, Sujung-Gu, Sunnam, Kyunggi-Do 461-701, Korea

지만, 세포막의 압축(compression)에 의한 가설이 일반적으로 받아들여지고 있다⁽¹⁵⁾. 세포에 고전장 전기장을 걸어주면 세포막 표면에 반대전하가 발생하고 따라서 두 전하사이에 인력이 작용하여 세포막을 압축시키고 막의 두께를 감소시키게 된다. 이때 전기장의 크기가 임계 전기장 세기(E_c , critical electric field strength)를 넘게 되면 세포막에 비가역적인 세공(pore)이 형성되어 투과성이 증가되고 세포는 사멸하게 된다⁽¹¹⁾.

약주는 우리나라의 대표적인 전통 주류임에도 불구하고 품질개선, 살균방법 개선 등이 이루어지지 않아 그 소비가 매년 감소하고 있는 실정이다. 전통 약주를 살균하는데 가장 일반적으로 사용하는 살균방법은 고온으로 열처리하는 방법이다. 이러한 열처리로 미생물의 성장을 최소화하고 고온에서 장시간 저장하는 것이 가능하나 열처리시 발생하는 이취와 단백질의 변성에 의한 백탁의 문제점이 있다. 이를 해결하기 위한 시도로서 탁주의 저온 살균조건에 관한 연구⁽¹⁶⁾ 가열 살균 후 약주의 저장성에 관한 연구⁽¹⁷⁾ 등이 이루어졌으나 열처리에 의한 품질열화를 방지하는 기술은 아직 확립되어 있지 않다.

PEF를 이용한 약주의 살균에 관한 연구는 연속식 살균장치를 사용한 김 등⁽¹⁸⁾의 연구가 최초로 보고된 바 있다. 본 연구에서는 회분식 PEF 시스템을 사용하여 비열처리기술인 고전장 펄스를 우리의 전통 약주에 적용하여 살균효과를 관찰하고 저장성이 있는 약주 살균에 알맞는 조건을 최적화하고자 하였다.

재료 및 방법

약주

본 연구에서 사용한 약주는 K양조공사에서 제조한 것으로 소맥분, 옥수수전분, 종곡을 사용한 이양주로서 상온에서 일주일 이상 숙성하여 압착 여과한 후 규조토로 여과한 비살균 약주를 실험재료로 사용하였다. 약주의 전기전도도는 conductivity electrode를 부착한 pH meter/controller(model 1260, Germany)를 사용하여 측정하였다.

고전장 펄스 전기장(high voltage pulsed electric field, PEF) 발생장치

본 연구에서 사용한 PEF 장치는 Fig. 1과 같이 크게 고전장 펄스를 발생시키는 펄스 발생기(pulse generator)와 실질적으로 시료가 전기적 처리를 받는 처리용기(treatment chamber) 그리고 처리용기내에 형성되는 파형의 관측과 전기장의 세기를 관측할 수 있는 oscilloscope(Lecroy Digital Oscilloscope, model 9300, USA)로 구성되어 있다.

입력 전원 220 V 교류를 high voltage transformer를 사용하여 전압을 올린 후 정류하였으며, 직류 high voltage supply는 7.2 μ F capacitor(1800 pF \times 4)에 inductance를 통하여 resonance charging하였다. Power source는 25 kV, 1000 A를 출력할 수 있도록 하였으며, capacitor는 corona와 arching을 방지하기 위하여 oil 속에 장치하였다. 고전장 펄스는 thyratron을 통하

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set up.

여 7.2 μF capacitor의 방전에 의하여 발생시켰으며, 처리용기내의 전극 사이에 pulsed electric field(exponential decay pulse)를 부여하였다.

펄스전기장 처리

처리용기는 Fig. 1과 같이 disposable electroporation cuvette(Bio-Rad, USA)을 이용하여 회분식으로 제작하였으며 이때 실제로 고전압 펄스 전기장이 걸리는 부위의 전극 간격은 4 mm, 처리부피는 1 mL였다.

본 연구에서는 pulse width 1 μs 의 exponential decay파를 사용하여 전기장의 세기 12.5~25 kV/cm에서 펄스수(n)를 달리하여 약주의 살균효과를 관찰하였다.

생존율의 측정

PEF 처리를 한 약주와 처리하지 않은 약주의 미생물수를 한천평판을 이용하여 평판도말법⁽¹⁹⁾으로 측정하여, colony forming unit(CFU)/mL로 나타낸 후 초기미생물수(N_0)에 대한 PEF 처리 후의 미생물수(N)의 비로 생존율(s)을 식(1)과 같이 계산하였다.

$$s = N/N_0 \quad (1)$$

미생물수는 총균의 경우 시료를 plate count agar (Difco, USA), 젖산균은 rogosa SL agar(Difco, USA), 효모는 malt extract agar (Difco, USA)에 접종하여 총균과 젖산균은 37°C에서 48시간, 효모는 30°C에서 72시간 배양한 후 colony 수를 측정하였다.

살균모델

PEF 처리에 의한 약주 미생물 살균기작은 식⁽²⁾와 같이 Hülshager 등⁽⁴⁾이 제시한 model에 의거하여 해석하였다.

$$\ln s = \ln A - k \ln(n) \quad (2)$$

여기서 k = 사멸속도상수
 n = 펄스수
 A = 상수

저장성 평가

PEF 처리구와 무처리구를 4°C와 30°C에서 6주간 저장하면서 저장기간동안의 pH와 적정산도, 미생물수를 관찰하였다. pH는 pH meter(Orion, 520-A, USA)를 사용하였으며, 적정 산도는 시료를 10 mL 취하여 지시약(0.1% phenolphthalein)을 사용하여 0.1 N NaOH로 적정하여 식⁽³⁾에 의거하여 산출하였다.

적정산도 (% 젖산) =

$$\frac{0.1 \text{ N NaOH}(\text{mL}) \times \text{factor} \times 0.009}{\text{Sample}(\text{mL})} \quad (3)$$

미생물수는 앞에서 기술한 생존율 측정에서 실시한 방법과 동일한 방법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

약주의 일반 특성

PEF 처리에 사용한 약주의 일반 특성은 Table 1과 같다. 약주의 초기미생물수는 세균 7.52×10^4 CFU/mL, 젖산균 2.20×10^4 CFU/mL, 효모 7.08×10^4 CFU/mL 이었다. 약주의 전기전도도는 1.24 mS/cm이었으며 pH는 3.36, 산도는 0.462%이었다.

PEF처리에 따른 살균율 변화

고전장 처리가 약주 내의 미생물의 불활성에 미치는 효과를 살펴보기 위하여 펄스수와 전기장의 세기를 변화시키면서 생존율을 측정하였다. 그 결과 Fig. 2와 같이 총균의 경우 펄스수를 동일하게 고정시킨 후 전기장의 세기를 12.5~25 kV/cm의 범위에서 처리하였을 경우 전기장의 세기가 증가함에 따라 미생물의 생존율이 감소하여 32 펄스수 처리시 12.5 kV/cm에서는 생존율 0.5를 나타낸 반면, 25 kV/cm에서는 생존율 0.005로 12.5 kV/cm에 비하여 100배 정도 감소하였다.

미생물의 불활성화에 영향을 미칠 수 있는 최소 임계전기장의 세기(E_c)는 Fig. 2에서 전기장세기에 따른 생존율을 외삽하여 산출하였으며, 총균의 경우 7.5 kV/cm이었으며, 젖산균은 8.5 kV/cm, 효모는 6.5 kV/cm의 값을 보여 효모의 값이 가장 낮게 나타났다. 이는 Hülshager⁽⁴⁾등이 연구한 *E. coli*의 8.3 kV/cm와 비슷한 값을 보였으며, 연속식 PEF system에서 산출한 약주 세균의 E_c 값인 16.0 kV/cm⁽¹⁸⁾보다 훨씬 낮은 값으로서 회분식 살균이 연속식 살균보다 효과적임을 알 수 있었다. 최소 임계전기장의 세기보다 작은 전기장에서는

Table 1. Physicochemical and microbial properties of Yakju

Properties	Values
pH	3.36
Titrateable acidity (% lactic acid)	0.462
Conductivity	1.24 mS/cm
Total aerobes	7.52×10^4 CFU/mL
Lactic acid bacteria	2.20×10^4 CFU/mL
Yeast	7.08×10^4 CFU/mL

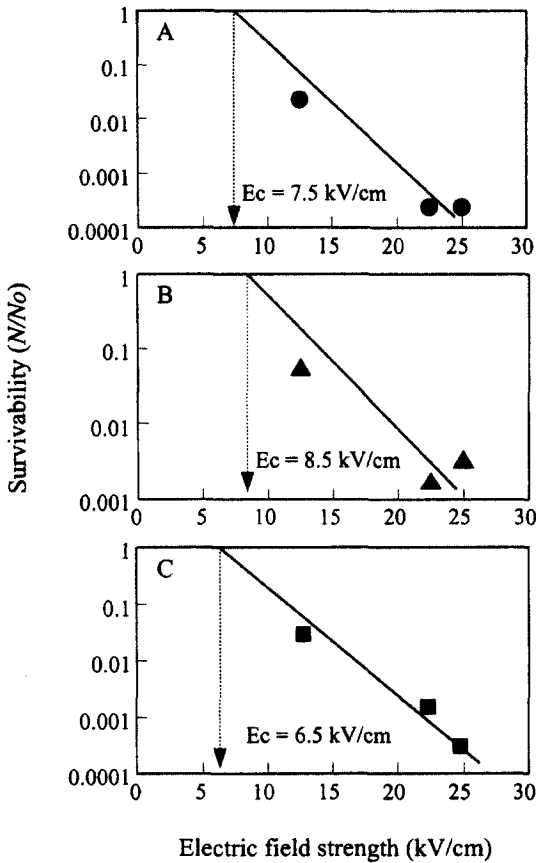


Fig. 2. Estimation of critical electric fields strength (E_c) against microorganisms in Yakju at 32 pulses treatment. A : Total aerobes, B : Lactic acid bacteria, C : Yeast.

약주 미생물의 살균효과는 기대할 수 없으며 임계전기장 이상에서는 전기장의 세기가 증가할수록 약주 미생물의 살균효과는 증가하는 것으로 나타났다.

전기장의 세기를 고정시켜놓고 펄스수 2~64로 고전장펄스 처리한 결과 Fig. 3에서와 같이 총균의 경우 동일한 전기장의 세기에서 펄스수가 증가함에 따라 미생물의 생존율이 감소하는 것을 관찰하였다. 젖산균과 효모의 경우도 총균과 마찬가지로 동일한 전기장의 세기에서 펄스수가 증가함에 따라 미생물의 생존율이 감소하였으며, 동일한 펄스수에서 생존율의 감소정도는 전기장의 세기에 비례하였다.

이상의 결과를 종합할 때, 총균과 젖산균, 효모 모두 처리시간이 증가함에 따라 살균효과가 증가하는 것으로 나타났으며 임계전기장 부근의 낮은 전기장에서는 펄스수를 증가시켜도 살균효과가 크게 증가하지 않았으며 높은 전기장에서는 펄스수를 증가함에 따라 살

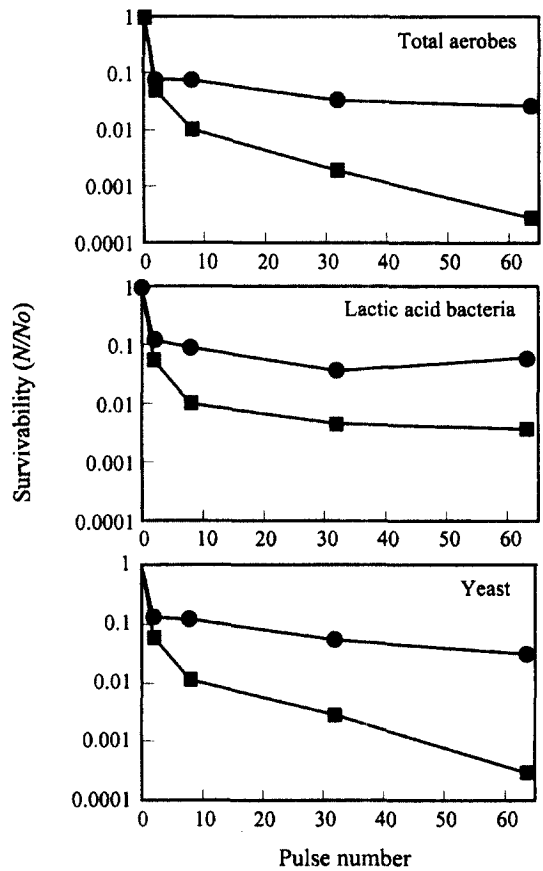


Fig. 3. Effect of electric fields strength on survivability of microorganisms in Yakju. ● 12.5 kV/cm, ■ 25.0 kV/cm.

균효과가 뚜렷하게 증가되었다. 이는 처리시간을 길게 한다고 해서 미생물의 사멸이 계속 동일한 속도로 일어나는 것이 아님을 나타내며, PEF 처리에 의한 미생물 살균효과는 전기장세기가 처리시간보다 더 큰 영향을 미치는 인자임을 의미하는 것으로서 Shin 등⁽²⁰⁾과 Jayaram 등⁽¹³⁾에 의해 보고된 결과와 일치하였다.

약주의 살균모델

회분식 PEF 처리시 펄스수에 따른 약주의 살균 kinetics를 Hülshager 등⁽⁴⁾이 제시한 모델식 $\ln s = \ln A - k \ln(n)$ 에 의거하여 해석한 결과 Fig. 4와 같이 Hülshager의 model이 적용됨을 알 수 있었으며, 직선 ($r^2=0.931-0.967$)의 기울기로부터 계산한 사멸속도상수 (k)를 계산하여 Table 2에 나타내었다.

전기장세기가 증가함에 따라 사멸속도상수는 증가하였으며 미생물 종류별로는 yeast의 사멸속도상수가 총균보다 큰 값을 보여 yeast가 PEF 처리에 더욱 예민

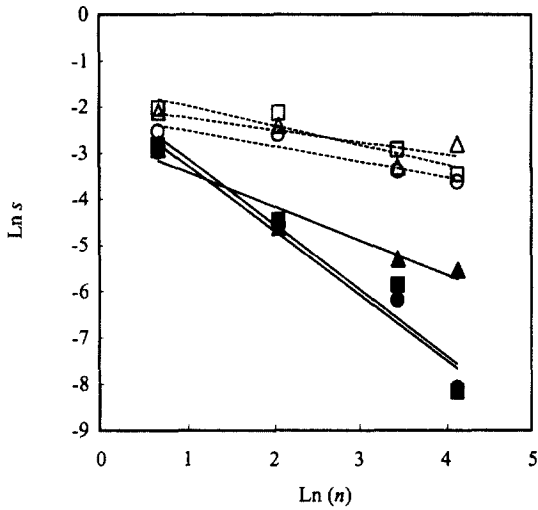


Fig. 4. A PEF sterilization pattern of microorganisms in Yakju with respect to pulse number. 12.5 kV/cm : ○ Total aerobes, △ Lactic acid bacteria, □ Yeast; 25.0 kV/cm : ● Total aerobes, ▲ Lactic acid bacteria, ■ Yeast

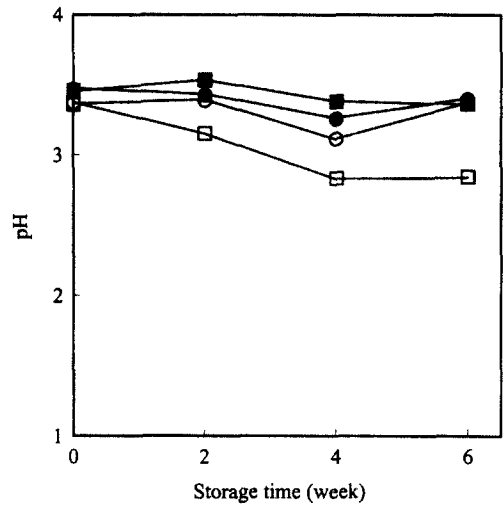


Fig. 5. Changes in pH of Yakju during storage at 4°C and 30°C. ○ Control (4°C), ● PEF treated (4°C), □ Control (30°C), ■ PEF treated (30°C).

Table 2. The PEF sterilization rate constant of microorganisms in Yakju

Microorganisms	Electric field strength (kV/cm)	PEF sterilization rate constant
Total aerobes	12.5	0.3428
	25.0	1.4067
Lactic acid bacteria	12.5	0.2767
	25.0	0.7449
Yeast	12.5	0.4185
	25.0	1.4271

한 것으로 나타났으며, 이 결과는 미생물 크기가 증가함에 따라 PEF 처리시 세포막 내외부의 전위차가 증가하여 사멸효과가 증대된다는 Mazurek 등⁽¹⁴⁾과 Gäskova등⁽¹⁵⁾의 결과와 일치하였다. 한편 젖산균의 경우 총균에 비하여 낮은 사멸속도상수를 보였는데 이 또한 젖산균의 크기가 일반세균에 비하여 작기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

냉살균 약주의 저장성 평가

회분식 PEF 살균시스템에서 전장세기 30 kV/cm에서 250 펄스처리한 약주의 저장성을 저장온도 4°C와 30°C에서 평가하였다. PEF 처리한 약주의 초기 pH는 Fig. 5과 같이 무처리 약주에 비해 다소 높게 나타났으며 저장기간동안 무처리 약주의 pH는 감소하는 반면 PEF 처리구의 pH는 변화가 없는 것으로 나타났다. 온도 별로는 4°C 보다 30°C에서 저장하였을 경우 더욱 빠른 변화를 나타내었다.

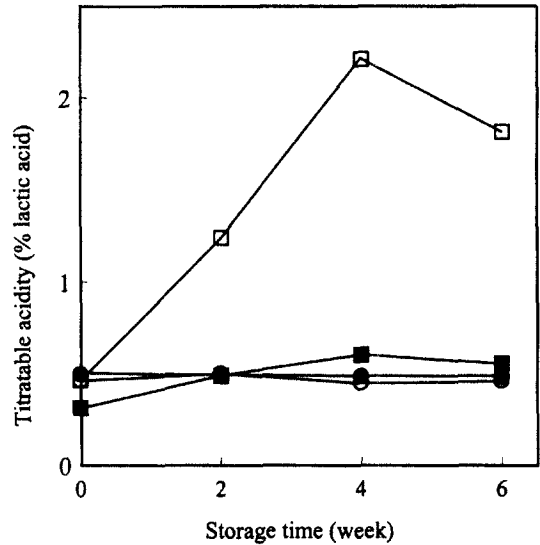


Fig. 6. Changes in titratable acidity of Yakju during storage at 4°C and 30°C. ○ Control (4°C), ● PEF treated (4°C), □ Control (30°C), ■ PEF treated (30°C).

산도의 경우 Fig. 6에 나타난 바와 같이 30°C에서 저장한 무처리 약주의 산도는 급격하게 증가하는 반면 PEF 처리한 시료의 경우 30°C에서도 큰 변화 없이 초기산도를 그대로 유지하는 경향을 보여 PEF 처리에 의한 저장성의 향상을 확인하였다.

PEF 처리약주의 저장중 미생물의 변화를 Fig. 7과 같이 4°C에서 저장한 PEF 처리한 약주의 미생물수는

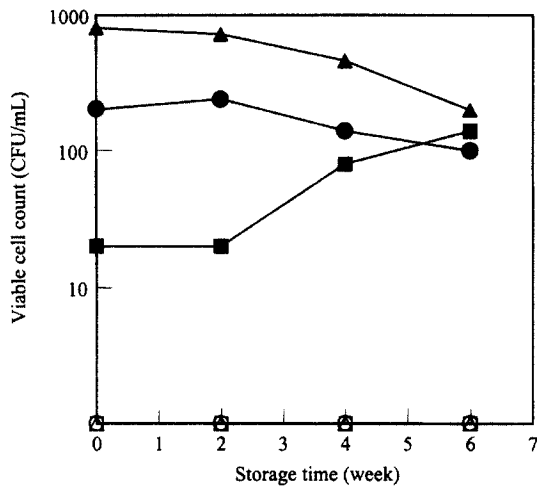


Fig. 7. Changes in microorganisms of Yakju during storage at 4°C. Control : ● Total aerobes, ▲ Lactic acid bacteria, ■ Yeast; PEF treated : ○ Total aerobes, △ Lactic acid bacteria, □ Yeast.

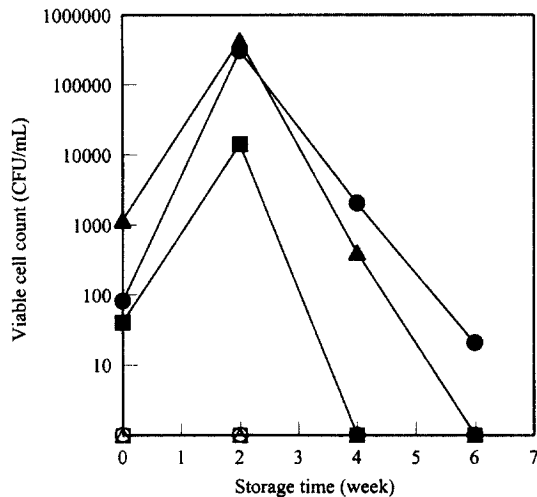


Fig. 8. Changes in microorganisms of Yakju during storage at 30°C. Control : ● Total aerobes, ▲ Lactic acid bacteria, ■ Yeast; PEF treated : ○ Total aerobes, △ Lactic acid bacteria, □ Yeast.

무처리 약주의 경우 총균 및 젖산균은 저장기간에 따라 미생물이 효모를 제외하고 생육 감소 현상을 나타내었다. PEF 처리한 약주는 6주 저장동안 미생물의 생육을 전혀 보이지 않아 완벽한 저장성을 부여할 수 있었다. 또한 30°C에서 저장한 약주의 미생물은 Fig. 8과 같이 무처리 약주의 경우 2주만에 미생물의 생육이 급격히 증가하였다가 점차 감소하는 경향을 보였으며 PEF 처리한 약주의 미생물은 30°C에서도 생육이

전혀 나타나지 않아 250 pulse PEF 처리한 약주는 완벽한 저장성을 보유하고 있음이 확인되었다.

요 약

고전장 펄스가 전통 약주의 살균에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 비살균 약주를 사용하여 고전장 펄스를 화분식 처리를 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

약주의 초기미생물수는 세균 7.52×10^4 CFU/mL, 젖산균 2.20×10^4 CFU/mL, 효모 7.08×10^4 CFU/mL이었다. 약주의 PEF 처리전 pH는 3.36, 산도는 0.462%, 전기전도도는 1.24 mS/cm이었다. 약주를 고전장 펄스처리하는데 사용한 전기장의 세기는 12.5-25 kV/cm로 하였으며 exponential-wave형태의 펄스를 전기장의 세기에 따라 펄스수를 달리하여 처리하였다. 약주의 살균을 위한 최소임계전기장의 세기는 총균의 경우 7.5 kV/cm, 젖산균의 경우 8.5 kV/cm, 효모의 경우 6.5 kV/cm이었다.

약주를 PEF 처리한 경우 전기장세기와 펄스수가 증가할수록 미생물의 살균효과가 증가하였다. PEF 처리에 의한 약주 미생물의 사멸기작은 $\ln s = \ln A - k \ln(n)$ 에 적용되었으며 사멸속도상수는 전기장세기에 따라 증가하였고 미생물 종류별로는 효모>일반세균>젖산균 순으로 낮아졌다.

PEF 처리하여 저장하였을 경우 PEF처리구는 pH의 변화와 적정산도의 변화가 없었으며 미생물의 경우 PEF처리한 시료는 4°C 및 30°C 저장중 미생물의 생육을 보이지 않아 PEF 처리에 의한 저장성 향상이 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산 특정기술개발사업(과제명 : 전기·물리적 비열 식품가공신기술 개발, 세부과제명 : PEF 기술에 의한 액체식품의 냉살균 기법 개발)의 지원에 의하여 진행되었으며 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Hoover, D.G. Minimally processed fruits and vegetables; reducing microbial load by nonthermal physical treatments. Food Technol. 51: 66-71 (1997)
2. 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)
3. Shin, J.K. and Pyun, Y.R. Inactivation of *Lactobacillus*

- plantarum* by pulsed-microwave irradiation. J. Food Sci. 62: 163-166 (1997)
4. Hülshager, H., Potel, J. and Niemann, E.G. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. Radiat. Environ. Biophys. 20: 53-64 (1981)
 5. Pothakamury, U.R., Vega, H., Zhang, Q., Barbosa-Cánovas, 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)
 6. Hülshager, H., Potel, J. and Niemann, E.G. Electric field effects on bacteria and yeast cells. Radiat. Environ. Biophys. 22: 149-162 (1983)
 7. Zhang, Q., Qin, B.L., Barbosa-Cánovas, G. and Swanson, B.G. Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high-strength pulsed electric fields. J. Food Proc. Preserv. 19: 103-118 (1995)
 8. Castro, A.J., Barbosa-Cánovas, G. and Swanson, B.G. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. J. Food Proc. Preserv. 17: 47-73 (1993)
 9. Qin, B.L., Pothakamury, U.R., Barbosa-Cánova, G. and Swanson, B.G. Nonthermal pasteurization of liquid foods using high-intensity pulsed electric fields. Cirt. Rev. Food Sci. Nutr. 36: 603-627 (1996)
 10. Wataru, T., Masafumi, M. and Tomoo, F. The relationship between electroporation and growth phase in a suspension of yeast cells, *Saccharomyces cerevisiae*. *Nippon Nogeikagaku Kaisi.*, 70: 563-568 (1996)
 11. Zhang, Q., Barbosa-Cánovas, G. and Swanson, B.G. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. J. Food Eng. 25: 261-281 (1995)
 12. Arthur, E.S. Mechanisms of electroporation and electrofusion. In Guide to electroporation and electrofusion, Donald, C.C., Bruce, M.C., James, A.S. and Arthur, E.S. (Ed.), Academic Press, Inc., p.119 (1992)
 13. Jayaram, S., Castle, G.S.P. and Margaritis, A. Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* cells by the application of voltage pulses. Biotechnol. Bioeng. 40: 1412-1420 (1992)
 14. Mazurek, B., Lubicki, P. and Staroniewicz, Z. Effect of short HV pulses on bacteria and fungi. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation 2: 418-425 (1995)
 15. Gäskova, D., Siger, K., Janderova, B. and Plasek, J. Effect of high-voltage electric pulses on yeast cells: factors influencing the killing efficiency. Bioelectrochem. Bioenerg. 39: 195-202 (1996)
 16. Lee, C.H., Tae, W.T., Kim, G.M. and Lee, H.D. Studies on the pasteurization conditions of Takju. Kor. J. Food Sci. Technol. 23: 44-51 (1991)
 17. Lee, C.H. and Kim, G.M. Determination of the shelf-life of Pasteurized Korean rice wine, Yakju, in aseptic packaging. Kor. J. Food Sci. Technol. 27: 156-163 (1995)
 18. Kim, S.Y., Mok, C. and Pyun, Y.R. Continuously recycling sterilization of Yakju(rice wine) using pulsed electric fields. Kor. J. Food Sci. Technol. 31: 410-415(1999)
 19. Ministry of Health and Welfare. Official Book of Foods, Experimental Methods. Ministry of Health and Welfare, Republic of Korea. p. 94 (1997)
 20. Shin, H.H. and Pyun, Y.R. Inactivation of *Lactobacillus plantarum* by high voltage pulsed electric fields treatment. Kor. J. Food Sci. Technol. 29: 1175-1183 (1997)

(1999년 3월 30일 접수)