

## 저온살균과 대기압플라즈마의 병용처리에 의한 고춧가루 중 대장균의 저감화 효과 및 관능적 품질

전은비<sup>1,2</sup> · 최만석<sup>1,2</sup> · 김지윤<sup>1,2</sup> · 박신영<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 해양산업연구소, <sup>2</sup>경상대학교 해양식품생명의학과

### Combined Effects of Low-Temperature Heating and Atmospheric Plasma on the Populations of *Escherichia coli* and Sensorial Quality of Red Pepper Powder

Eun Bi Jeon<sup>1,2</sup>, Man-Seok Choi<sup>1,2</sup>, Ji Yoon Kim<sup>1,2</sup>, Shin Young Park<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

<sup>2</sup>Department of Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

(Received November 25, 2019/Revised December 27, 2019/Accepted January 7, 2020)

**ABSTRACT** - This study investigated the inactivation and synergistic efficacy of combined low-temperature heating (LT) and atmospheric plasma (AP) against *Escherichia coli* in red pepper powder. A cocktail of two strains of *E. coli* (ATCC 11229, KCCM 11234) was inoculated onto red pepper powder and then treated with LT (60°C for 5-20 min) and AP (atmospheric plasma for 5-20 min). The counts of *E. coli* in the red pepper powder were significantly ( $P<0.05$ ) reduced with the increase in treatment time using LT and AP. The reduction of *E. coli* levels in red pepper powder when treated with LT alone for 5, 10, 15, and 20 min were 0.25, 1.45, 2.54, and 2.85 log<sub>10</sub> CFU/g, respectively. Also, the reduced levels of *E. coli* on red pepper powder when treated with AP alone for 5, 10, 15, and 20 min were 0.19, 0.32, 0.54, and 0.96 log<sub>10</sub> CFU/g, respectively. The synergistic effects were not dependent on the treatment time with AP, but were dependent on the LT treatment time. Synergistic reduction values for combined LT and AP treatment against *E. coli* in red pepper powder were -0.13 to 2.91 log<sub>10</sub> CFU/mL, respectively. Especially, the largest synergistic values (2.91-2.82 log<sub>10</sub> CFU/mL) of *E. coli* in red pepper powder were revealed by the combination of a 20-min treatment with LT and a 15-20-min treatment with AP. All sensory parameters (color, off-odor, taste, texture, and overall acceptability) were not significantly ( $P>0.05$ ) different between non-treated and all combination-treated samples. Therefore, these results suggest that the combination of LT and AP can be potentially utilized in the food industry to effectively inactivate *E. coli* without incurring quality deterioration in red pepper powder.

**Key words** : Low-temperature heating, Atmospheric plasma, Red pepper powder, Synergistic effect, Sensorial quality

고춧가루는 우리 식생활에서 필수적인 양념으로 우리나라 전통 발효식품인 김치와 고추장의 색깔, 맛 등의 품질 가치를 좌우하는 주요 재료이다. 우리나라에서 생산된 고추는 가열하지 않은 상태에서 분쇄하여 음식을 조리할 때 양념으로 사용되고 있다<sup>1)</sup>. 고춧가루는 건조 및 파쇄 등을 거쳐 제조되기에 건조 온도와 건조 방법이 품질에 큰 영

향을 미칠 수 있고 제조시설의 위생상태 및 주변 환경에 따라 고춧가루 제조과정 중 미생물의 교차오염 가능성이 높다. 고춧가루는 미생물 오염이 심각할 때 제품 부패의 원인이 되므로 살균 처리를 필수적으로 요하게 된다<sup>2)</sup>. 대장균은 가축, 토양, 자연환경에 널리 분포되어 있기 때문에 가열하지 않고 섭취하는 농수산물 등에 오염되기 쉬우며 사람에게 기회감염성을 띠기 때문에 노령 또는 면역기능 저하 환자의 경우 병증을 일으킬 가능성이 있다<sup>3)</sup>.

플라즈마란 지구상의 기체가 보다 높은 에너지를 가지게 되었을 때 이온과 전자로 분리되면서 이들이 갖는 에너지가 서로 평형을 이루는 자연상태의 제4의 물질이다.

\*Correspondence to: Shin Young Park, Dept. of Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, Tongyeong Haean-ro, Tongyeong, Gyeongnam 53064, Korea  
Tel: +82-55-772-9143; Fax: +82-55-772-9149  
E-mail: [sypark@gnu.ac.kr](mailto:sypark@gnu.ac.kr)

자연계에서는 번개, 태양, 오로라 등의 현상으로 보이기도 하며 네온사인, 형광등도 플라즈마의 일종으로 볼 수 있다. 이러한 반응성이 높고 매우 들뜨른 상태의 플라즈마는 화학적 반응이 큰 활성라디칼, 자외선 및 적외선 등이 포함되어 있다<sup>4)</sup>. 자연계에서 자연적으로 생성되는 플라즈마를 인위적으로 발생시켜 반도체 산업에 이용하거나 또한 인쇄 및 접착 특성을 개선하기 위해 개발되어 상용화되고 있으나 비가열살균 처리를 위한 새로운 기술로 인식되면서 관련 연구기술이 발전해왔다. 특히, 플라즈마 처리를 이용한 채소와 향신료 중의 *Salmonella* Typhimurium 저감화<sup>5)</sup>, 플라즈마에 의한 고춧가루의 *Aspergillus flavus* 및 *Bacillus cereus*의 오염제거<sup>6)</sup>, 플라즈마에 의한 건조추의 *B. cereus* 살균효과<sup>7)</sup> 등 식품 분야에서 대기압 플라즈마는 대부분 식중독균과 잠재적 유해미생물을 대상으로 사멸효과에 대한 연구가 보고되고 있다.

저온살균은 약 60°C의 온도에서 살균 처리하는 방법으로 식품산업에서 일반적으로 사용되며 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) 시스템에서 중요한 제어점으로 적용된다. 또한 비열 및 열처리 기술과 병용처리시 효과적으로 식품의 부패 및 병원성 미생물의 오염을 제어할 수 있으며 식품의 저장기한을 연장시킬 수 있다<sup>8)</sup>. 그러나 저온살균의 단일처리시 살균이 충분하지 못해 내열성 포자를 형성하는 미생물이 남을 수 있으며 처리시간이 길고 비효율적이기 때문에 보조적인 처리방법과 병용해야 한다.

Cheon 등<sup>6)</sup>과 Kim 등<sup>9)</sup>은 고춧가루에서 UV-C (Ultraviolet-C) 조사와 열풍가열의 병용처리로 *S. Typhimurium*, *Escherichia coli*를 제어하였다. 또한 Park 등<sup>11)</sup>의 연구에서는 굴과 조개에서 차아염소산나트륨과 감마선 조사의 병용처리에 의해 *Vibrio vulnificus*를 효과적으로 살균처리 하였다<sup>10)</sup>.

따라서 본 연구는 고춧가루에 접종한 *E. coli*를 저온살균(60°C, 5-20 분)과 대기압플라즈마(유전체장벽방전플라즈마 5-20 분) 병용처리를 이용하여 고춧가루에 오염된 *E. coli* 저감화에 대한 불활성화효과 및 상승작용(synergism)과 길항작용(antagonism)을 조사하였다. 아울러 본 처리를 통한 고춧가루의 관능적 평가를 수행하였다.

## Materials and Methods

### 실험 재료

본 실험에 사용된 고춧가루는 시중에 유통 중인 고춧가루 제품을 경상남도 통영의 전통시장에서 구입하여 실험재료로 사용하였다. 시료는 polyethylene (PE) film (20 cm×30 cm; Sunkyung Co., Seoul, Korea)에 500 g 단위로 포장된 상태였으며 냉동 보관하여 실험에 사용하였다.

### 시험 균주 및 접종방법

고춧가루에서의 제어법에 따른 대장균의 생육도를 보기 위하여 일반대장균(ATCC 11229, KCCM 11234)을 사용하여 접종하였다. 각각의 대장균은 10 mL의 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 24시간 동안 2회 증균 배양한 후 각 균주를 동량을 섞어 cocktail을 확보하였다. 확인된 배양액은 원심분리(5,400 rpm, 600초)하여 침전된 세포(pellet)만 남기고 상층액은 버린 후 0.85% 멸균생리식염수 10 mL을 가하여 현탁하였다. *E. coli*의 최종농도는 10<sup>7</sup> colony-forming unit (CFU/mL)으로 희석하여 접종원으로 사용하였다.

고춧가루는 250 mL 유리 비커에 담긴 상태에서 121°C에서 15분 동안 고압증기멸균(HAS-60, Sin An Science Industry, Gwangju, Korea)하여 기존의 미생물을 제거하였다. 고춧가루 25 g을 500 mL 유리 비커에 넣고 1 mL의 대장균을 표면에 10군데 접종한 후 멸균된 스푼으로 5분간 혼합하여 균일하게 분포시켰다. 혼합 후 clean bench (25±1°C) (Hb-402, Hanbaek Co., Bucheon, Korea)내에서 1시간 동안 건조시켰으며 고춧가루의 최종 시료 농도는 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> CFU/g이었다.

### 저온살균 및 대기압플라즈마장치

저온살균 처리를 위해서 *E. coli*가 접종된 고춧가루 25 g을 petri dish (지름 90 mm) (SPL, Pocheon, Korea)에 넓게 펼친 후 저온살균 처리시 수증기가 들어가지 않게 para film (Heathrow Scientific, Vernon Hills, IL, USA)으로 밀봉하여 60°C water bath (GR150-S12, Grant Instruments Ltd, Shepreth, UK)에서 5, 10, 15, 및 20분 동안 살균을 하였다.

본 연구에서 사용한 대기압플라즈마 발생장치( $\mu$ -DBD Surface Plasma Generator, Model; Micro DBD Plasma)는 유전체장벽방전에 의한 장치로서 Plasma Biomedicine Institute (Plasma Bioscience Research Center, Seoul, Korea)에서 공급받았고 대기중의 질소를 이용한 대기압 플라즈마 장치는 Ryu 등<sup>4)</sup>에 의해서 평가되었다. 플라즈마 발생을 위한 질소 가스는 가스 주입구멍을 통해 PLA (poly lactic acid, Ultimaker, Utrecht, Netherlands) 커버에 의해 1.5 lpm (liter per minute)씩 유입되었으며, 유리 와 그물망 사이의 후면 유리 표면에 플라즈마가 생성되었다. 플라즈마 발생장치의 전원 공급 장치(power supply)는 사인파 (sine wave) 교류전원을 사용하였으며, 주행 주파수 43 kHz에서 낮은 1 kV의 방전 전압이며, cycle의 전기 방전 에너지는 7.7  $\mu$ J로 측정되었고 초당 에너지는 0.12 J/s로 측정되었다. 플라즈마를 연속적으로 발생시켰을 때의 에너지의 집속으로 인한 열을 방지하기 위해 유전체 위에 공냉쿨러 (Ice Bridge-1, Coolertec, Seoul, Korea)를 부착해 지속적으로 동작 시켜 장시간 플라즈마 발생시에도 35°C 이상 올

라가지 않았음을 확인하였다. 대기압플라즈마 발생장치는 실험 시작 전 적어도 10분 전에 가동되었으며 멸균 petri dish (35×15 mm)에 *E. coli*가 접종된 고춧가루 샘플을 담아 시료의 전면이 5, 10, 15 및 20분 처리 동안 플라즈마 방출 전극과 샘플 사이에 3 mm의 거리가 유지되었다. 각 처리구는 3개의 시료를 사용하였으며 무처리시료는 대조군으로 간주하였다.

### 미생물 분석

채취한 시료 25 g을 멸균백(Labplas Inc., Sainte-Julie, Quebec, Canada)에 넣고 0.85% 멸균생리식염수 225 mL를 가한 뒤 stomacher (EASY MIX, AES Chemunex, Rennes, France)로 2분 동안 균질화 하였다. 균질화된 시료는 9 mL의 0.85% 멸균생리식염수를 이용하여 10배씩 연속 희석하고 대장균의 정량적 분석을 위해서 앞에서 준비한 시료 0.1 mL를 tryptic soy agar (TSA, Difco Laboratories, Detroit, MI)위에 각각 도말하여 37°C에서 24-48시간 배양하였다. 배양 후 배지 위에 형성된 colony를 계수하여 colony forming unit (CFU)으로 나타내었다.

### 저온살균과 대기압플라즈마에 의한 대장균의 상승작용 (synergism) 및 길항작용(antagonism)

*E. coli* 저감화에 대한 상승 작용을 알아보기 위해 저온살균 및 대기압플라즈마의 저감화 값을 각각의 단독처리와 비교하였다. 저온살균과 대기압플라즈마의 병용처리된 상승작용과 길항작용은 다음 식을 이용하여 계산되었다.

$$\text{Value of synergistic reduction} = A - (B + C)$$

여기서 A는 저온살균 및 대기압플라즈마 병용처리시 대장균의 감소를 나타내며 B는 저온살균 단독처리시 대장균 감소, C는 대기압플라즈마의 단독처리시 대장균 감소를 나타낸다. 이 계산법에 기초하여 상승작용 및 길항작용은 각각 양의 값과 및 음의 값으로 표시되었다.

### 관능평가 측정

저온살균 및 대기압플라즈마 병용처리된 고춧가루의 관능적품질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 관능검사를 위한 패널로 20대의 경상대학교 해양식품생명의학과 학부생들과 대학원생으로 구성된 성인 총 10명(남자5명 여자5명)을 선정하였다. 이때 각 항목에 대한 평점은 선정된 기준에 의거하여 7점 척도법(매우 나쁨 1점, 대체로 나쁨 2점, 약간 나쁨 3점, 보통 4점, 약간 좋음 5점, 대체로 좋음 6점, 매우 좋음 7점)으로 실시하였고 어떤 처리도 하지 않은 무처리 시료를 대조군으로 하였다. 고춧가루는 종이컵에 담아 제공하였으며, 각 시료를 먹고 난 후 입안을 헹굴 수 있도록 물도 함께 제공하였다. 고춧가루 병용처

리의 항목은 색상(Color), 이취(Off-Odor), 맛(Taste), 조직감(Texture) 및 전체적인 기호도(Overall acceptability)에 대한 조사결과로 나타내었다.

### 통계분석

관능검사를 제외한 모든 실험은 3반복으로 진행하였으며, 통계프로그램은 SPSS version 12.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)에서 one-way ANOVA 중 Duncan's multiple range test를 사용하여  $P < 0.05$ 에서 유의성을 조사하였다.

## Results and Discussion

### 저온살균 및 대기압플라즈마의 단일처리 및 복합처리에 따른 고춧가루 중의 대장균 불활성화

식품공전<sup>10)</sup>에는 고춧가루에 대한 대장균 및 대장균군에 대한 기준규격은 없지만, 대장균은 식품의 위생지표균으로서 고춧가루의 가공 유통과정 중 위생 상태를 가장 직접적으로 평가할 수 있는 미생물학적 지표라 할 수 있다. 현재 고춧가루의 품질유지 및 저장성 개선을 위해 주로 이용되고 있는 살균처리 기술은 훈증처리, 가열처리, UV 처리, 화학약품처리 등이 있지만 이러한 살균기술은 고온에 의한 식품의 성분변화 및 품질손상을 가져오거나 화학성분의 잔류 및 유해물질 생성에 따른 여러 문제가 발생한다. 이에 품질에 영향을 끼치지 않고 화학성분의 잔류 위험이 없는 고춧가루 살균처리 기술인 저온살균과 비가열 기술(non-thermal treatment) 수단으로 대기압플라즈마를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 대기압플라즈마는 유전체장벽플라즈마(dielectric barrier discharge plasma, DBD plasma)로서 비열 플라즈마이다<sup>11)</sup>. 매우 큰 비평형 조건에서 동작하여 전기적 충격이 없고 넓은 영역을 처리할 수 있기 때문에 식품 가공에 적합한 방전 형태의 플라즈마이다<sup>3)</sup>.

본 연구에서는 이러한 배경하에 고춧가루에 대장균을 접종한 후 저온살균(5-20분) 및 대기압 플라즈마(5-20분)의 단독처리에 따른 고춧가루의 대장균 불활성화 실험결과를 Table 1에 나타내었다. 저온살균 처리시간 및 대기압플라즈마 처리시간이 길수록 고춧가루에 오염된 대장균이 더 많이 감소되는 경향을 보였다( $P < 0.05$ ). 저온살균(5-20분) 단일처리시 대장균의 불활성화는 각각 0.25, 1.45, 2.54 및 2.85  $\log_{10}$  CFU/g으로 최대 2  $\log_{10}$  CFU/g(=99% 감소) 이상 감소하였다. 이러한 결과는 Cheon 등<sup>9)</sup>의 연구에서 고춧가루 중의 *E. coli* O157:H7 및 *S. Typhimurium*의 불활성화는 65°C에서 10분 처리시 각각 1.75  $\log_{10}$  CFU/g, 2.14  $\log_{10}$  CFU/g 감소하였다는 연구결과와 유사하였다. 또한 Son 등<sup>13)</sup>의 연구에 따르면 *E. coli* O157:H7이 접종된 시금치에 5분 동안 60°C에서 저온살균 처리한 후 *E. coli* O157:H7수는 5.98  $\log_{10}$  CFU/g에서 4.16  $\log_{10}$  CFU/g으로

**Table 1.** Reduction of *E. coli* in red pepper powder after the combined treatment of LT and AP

Target organism	Mean ( $\pm$ SD) reduction value ( $\log_{10}$ CFU/g)					
	LT treatment (min)	AP treatment (min)				
		0	5	10	15	20
<i>E. coli</i>	0	–	0.19 $\pm$ 0.25	0.32 $\pm$ 0.32	0.54 $\pm$ 0.28	0.96 $\pm$ 0.28
	5	0.25 $\pm$ 0.14	1.09 $\pm$ 0.34 <sup>l</sup>	1.23 $\pm$ 0.24 <sup>kl</sup>	1.44 $\pm$ 0.18 <sup>kl</sup>	1.66 $\pm$ 0.21 <sup>kl</sup>
	10	1.45 $\pm$ 0.15 <sup>kl</sup>	1.42 $\pm$ 0.23 <sup>kl</sup>	1.64 $\pm$ 0.16 <sup>ik</sup>	2.04 $\pm$ 0.14 <sup>ji</sup>	2.27 $\pm$ 0.17 <sup>hi</sup>
	15	2.54 $\pm$ 0.25 <sup>gh</sup>	3.06 $\pm$ 0.16 <sup>f</sup>	3.55 $\pm$ 0.24 <sup>e</sup>	4.24 $\pm$ 0.24 <sup>d</sup>	5.16 $\pm$ 0.16 <sup>c</sup>
	20	2.85 $\pm$ 0.24 <sup>fg</sup>	4.58 $\pm$ 0.18 <sup>d</sup>	5.05 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	6.06 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>	6.63 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>

The data indicates means with standard deviations (three samples/treatment).

LT: low temperature heating.

AP: atmospheric plasma.

Gray box: Among all combination treatments having > 1 log reductions, mean with different letters differ significantly ( $P < 0.05$ ) by Duncan multiple range test.

약 1.8 $\log_{10}$  CFU/g 감소수준을 보였다. 이러한 결과로부터 신선 농산물의 미생물 제어에는 60°C가 효과적인 온도임을 알 수 있었다. 대기압플라즈마(5-20분)-단일처리시 각각 0.19, 0.32, 0.54 및 0.96  $\log_{10}$  CFU/g으로 약 1  $\log_{10}$  CFU/g 감소하였다. Won 등<sup>14)</sup>의 *E. coli* O157:H7가 접종된 양파 분말을 대기압플라즈마 5, 10, 15, 및 20분간 처리하였을 때 각각 0.4, 0.8, 0.9 및 1.4  $\log_{10}$  CFU/g만큼 억제되었고, 이는 본 연구의 결과와 비슷한 양상을 나타내었다. 또한 Mok 등<sup>15)</sup>의 연구에서 대기압플라즈마를 이용한 대장균 살균효과를 확인한 결과 대장균의 감소는 본 연구의 전극간격(3 mm)과 비슷한 3.33 mm에서 3-10분 처리시 약 1-2  $\log_{10}$  CFU/g 감소를 보였으며, 이는 본 연구 결과에 비해 높은 감소치를 나타내었지만 플라즈마의 전력 세기에 따른 차이라 생각된다. 특히 저온살균 10분 처리시 1  $\log_{10}$  CFU/g 이상 감소하였지만 대기압플라즈마는 최대 처리시간 20분에서 0.96  $\log_{10}$  CFU/g 수준으로 감소하였다. 이러한 결과는 대장균이 주로 대기압플라즈마 보다는 저온살균에 의해 불활성화 된다는 것을 나타내었다.

저온살균 및 대기압플라즈마 병용처리(5-20분)에 따른 대장균의 불활성화는 1-6  $\log_{10}$  CFU/g 이상 감소되는 경향을 보이고 있으며 처리시간이 길수록 단독처리와 유사한 패턴을 보였다 (Table 1). 저온살균 10분/대기압플라즈마 15분 (2.04  $\log_{10}$  CFU/g 감소), 저온살균 10분/대기압플라즈마 20분 (2.27  $\log_{10}$  CFU/g 감소), 저온살균 15분/대기압플라즈마 5분 (3.06  $\log_{10}$  CFU/g 감소) 및 저온살균 15분/대기압플라즈마 10분 (3.55  $\log_{10}$  CFU/g 감소) 처리시 2-3  $\log_{10}$  CFU/g(=99%-99.9%) 이상 감소되었다. 특히 저온살균 20분 및 대기압플라즈마 20분 병용처리시 6.63  $\log_{10}$  CFU/g 감소하였다. 이러한 결과는 Huang 등<sup>16)</sup>의 baby spinach에 1%의 lactic acid, citric acid, malic acid 등을 50°C에서 5분 처리 시 *E. coli* O157:H7 수가 2  $\log_{10}$  CFU/g

이상 감소하였으며, Chung 등<sup>17)</sup>의 강산성차아염소산수와 초음파를 병용처리한 오징어 중의 *Staphylococcus aureus* 및 *E. coli* 감소는 4  $\log_{10}$  CFU/g 이상 감소를 나타내어 본 연구의 병용감소값 보다는 낮은 수치이었다. Lin 등<sup>18)</sup>의 연구에서는 *E. coli* O157:H7과 *Salmonella enteritidis*를 인위접종한 상추에 과산화수소를 50°C에서 처리시 약 4  $\log_{10}$  CFU/g의 감소 효과를 보였다. Kim 등<sup>3)</sup>의 연구에서는 채소 및 신선 농산물과 같은 신선편의 식품의 경우 단독 처리보다는 다른 기술과 함께 병행 처리했을 때 미생물 감소효과가 훨씬 뛰어난 것으로 보고되었다. 이러한 결과들은 저온살균과 대기압플라즈마의 병용처리가 세척제의 단일처리보다 미생물 감소에 효과적임을 시사하며, 저온살균이 대기압플라즈마의 미생물 저감효과를 상승시켜 준다는 것을 알 수 있다. 따라서 저온살균과 대기압플라즈마의 병용처리는 고춧가루를 비롯한 신선농산물의 가공 및 유통시 저장 중 미생물 감소 효과를 증진시킬 수 있는 병합 처리 기술이라고 생각된다.

**저온살균 및 대기압플라즈마 처리에 따른 고춧가루 중의 대장균 상승작용(synergism) 및 길항작용(antagonism)**

농산물은 특성상 가열살균 처리시 식품의 품질저하와 직결되는 조건에서는 살균처리가 불가능하다. 유기산, 자외선, 초음파처리, 감마선과 같은 비가열 처리를 이용한 살균방법들은 대체로 단독 처리보다는 병용처리 할 경우 보다 우수한 효과가 나타난다. 또한 이러한 가열 및 비가열 처리 기술들의 병용처리는 단일처리의 단점을 보완하고, 각 처리의 효과를 증대시켜 식품의 품질은 유지하면서 동시에 미생물 오염원을 효과적으로 감소시킬 수 있는 hurdle technology로 사용되고 있다. Son 등<sup>13)</sup>에 의하면 0.5% fumaric acid와 50°C에서의 병합처리 경우 *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7의 수가 대조구에 비해 각

각 2.53, 2.62 log<sub>10</sub> CFU/g의 감소 효과를 나타내었으며, Kim 등<sup>19)</sup>의 연구에서는 *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium* 및 *L. monocytogenes* 제어를 위해 50 ppm 이산화염소수와 0.5% fumaric acid 용액을 병용처리한 후 broccoli sprouts의 미생물 수 변화를 분석하였을 때 대조구와 비교하여 각각의 미생물 수 감소가 2.70 및 2.46 log<sub>10</sub> CFU/g으로 단일처리보다 병용처리의 효과가 더 크게 나타났다고 보고하였다. 기존의 선행연구 결과를 통해 병용처리가 단일처리보다 높은 미생물 저감화 효과를 가지는 것으로 확인되었다. 이러한 연구를 기반으로 본 연구에서는 대장균의 불활성화를 위해 저온살균(5-20분) 단일처리 하는 것보다 대기압플라즈마와(5-20분) 결합하는 것이 더 효과적임을 Table 1에서 확인하였으며, 병용처리에 따른 시너지감소 효과는 Table 2에 나타내었다. 저온살균 10분/대기압플라즈마 5분(-0.22 log<sub>10</sub> CFU/g) 및 저온살균 10분/대기압플라즈마 10분(-0.13 log<sub>10</sub> CFU/g)에서 길항작용을 제외한 대부분의 조합에서 시너지효과를 보였다. 저온살균 15분/대기압플라즈마 15분(1.16 log<sub>10</sub> CFU/g 시너지효과), 저온살균 15분/대기압플라즈마 20분(1.66 log<sub>10</sub> CFU/g 시너지효과), 저온살균 20분/대기압플라즈마 5분(1.54 log<sub>10</sub> CFU/g 시너지효과) 및 저온살균 20분/대기압플라즈마 15분(1.54 log<sub>10</sub> CFU/g 시너지효과)에서는 1 log<sub>10</sub> CFU/g(=90% 감소) 이상 시너지효과를 나타내었고, 저온살균 20분/대기압플라즈마 15분(2.91 log<sub>10</sub> CFU/g 시너지효과), 저온살균 20분/대기압플라즈마 20분(2.82 log<sub>10</sub> CFU/g 시너지효과) 병용처리시 대장균의 시너지효과는 최대 2 log<sub>10</sub> CFU/g(=99% 감소) 이상 감소를 나타내어 각각의 저온살균(5-20분) 및 대기압플라즈마 (5-20분) 처리 후 시간이 경과됨에 따라 상승작용이 증가되는 경향을 보였다. Carrillo 등<sup>20)</sup>의 선행연구에 의하면 자외선조사 및 저온살균 병용처리시 당근-오렌지 주스에서 *E. coli*, *Saccharomyces cerevisiae* 및 *Pseudomonas fluorescens*는 2.6-6 log<sub>10</sub> CFU/g으로 상승효과를 나타내었으며, Park 등<sup>21)</sup>의 연구에서 강산성 차아염

소산수에 1% lactic acid, acetic acid, citric acid의 병용처리를 통해 양상추 중 일반세균수와 *L. monocytogenes*의 수가 강산성 차아염소산수 단일처리에 비해 약 1 log<sub>10</sub> CFU/g의 상승효과를 나타내어 본 연구결과와 유사하였다. 또한 Xiang 등<sup>22)</sup>의 연구에 의하면 플라즈마 처리수에 *E. coli*를 접종하여 60°C에서 병용처리 후 8.28 log<sub>10</sub> CFU/mL으로 감소하였으며 이는 플라즈마 처리수 단독처리에 비하여 7 log<sub>10</sub> CFU/g 이상의 감소효과를 보였다. Choi 등<sup>23)</sup>의 연구에서는 절임배추 중 *L. monocytogenes*, *S. aureus* 및 *E. coli*를 플라즈마 처리수로 세척 후 60°C에서 병용처리시 미생물 수를 각각 3.4, 3.7 및 2.6 log<sub>10</sub> CFU/g으로 감소시켰으며, plasma activated water 단일처리보다 약 1.5 log<sub>10</sub> CFU/g 이상 상승효과를 나타내었다. 이러한 결과는 저온살균과 대기압플라즈마를 포함하여 다양한 hurdle technology의 살균방법을 이용하여 미생물 제어의 시너지 효과를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

#### 저온살균 및 DBD 플라즈마 처리에 따른 고춧가루의 관능적 특성 변화

저온살균 및 대기압플라즈마 병용처리 후 1 log<sub>10</sub> CFU/g 이상의 시너지 효과를 나타낸 병용처리 결과를 기준(Table 2)으로 설정된 병용처리에 대한 고춧가루의 관능평가를 실시하였으며 색, 이취, 맛, 조직감 및 전체적인 기호도에 대한 기호도 검사를 7점 척도법으로 진행하였다(Table 3). 대조군에 비해서 저온살균 및 대기압플라즈마 병용처리하는 처리시간이 길어졌을지라도 각 항목(색, 이취, 맛, 조직감 및 전체적인 기호도)에 대해 유의적인 차이는 보이지 않았다( $P>0.05$ ). Chang 등<sup>24)</sup>의 연구에서는 1% ascorbic acid와 0.5% acetic acid 병용처리 직후 메밀새싹에서는 모든 항목(변색, 시늬, 종합적 외관품질)에서 유의적인 차이를 구별할 수 없었다. Song 등<sup>25)</sup>의 연구에 의하면 ascorbic acid와 증온 열처리를 하여 감자의 표면색, 향, 조직감 및 종합적 기호도를 살펴본 결과 처리구간의 유의적인 차이

**Table 2.** Synergistic and antagonistic effects of *E. coli* counts in red pepper powder after the combined treatment LT and AP

		Mean (±SD) synergistic and antagonistic value of reduction (log <sub>10</sub> CFU/g)			
		AP treatment (min)			
Target organism	LT treatment (min)	5	10	15	20
<i>E. coli</i>	5	0.65±0.9	0.66±0.3	0.65±0.4	0.45±0.7
	10	-0.22±0.4	-0.13±0.6	0.05±0.9	0.14±0.9
	15	0.33±0.5	0.69±0.5	1.16±0.3 <sup>b</sup>	1.66±0.5 <sup>b</sup>
	20	1.54±0.7 <sup>b</sup>	1.88±0.5 <sup>b</sup>	2.91±0.6 <sup>a</sup>	2.82±0.3 <sup>a</sup>

The data indicates means with standard deviations (three samples/treatment).

Synergistic effects indicated as + = (reduction achieved with combination of LT + AP) – (reduction achieved by LT + AP).

Antagonistic effects indicated as - = (reduction achieved with combination of LT + AP) – (reduction achieved by LT + AP).

Gray box: Among all combination treatments having > 1 log synergistic reductions, mean with different letters differ significantly ( $P<0.05$ ) by Duncan multiple range test.

**Table 3.** Effects of LT and AP mixture on the sensory evaluation of red pepper powder

Sensory evaluation					
Treatment time	Color	Off-Odor	Taste	Texture	Overall acceptability
Control	5.20±0.5	5.30±0.7	5.20±0.8	5.30±0.6	5.30±0.5
15 min LT + 15 min AP	5.30±0.8	5.20±0.8	5.10±0.5	5.20±0.7	5.40±0.6
15 min LT + 20 min AP	5.30±0.6	5.30±0.7	5.10±0.8	5.10±0.3	5.30±0.5
20 min LT + 5 min AP	5.20±0.6	5.20±0.8	5.20±0.5	5.10±0.7	5.40±0.6
20 min LT + 10 min AP	5.00±0.7	5.10±0.5	5.10±0.6	5.20±0.3	5.20±0.4
20 min LT + 15 min AP	5.00±0.6	5.20±0.6	5.30±0.8	5.30±0.6	4.90±0.5
20 min LT + 20 min AP	4.80±0.8	4.90±0.6	5.20±0.6	4.90±0.8	5.00±1.0

The data indicates means with standard deviations (three samples/treatment).

는 나타나지 않았다.

저온살균과 대기압플라즈마의 병용처리 방법은 고춧가루의 품질저하를 유발하지 않아 고춧가루와 같이 살균처리가 제대로 이루어지지 않는 식품에도 적용될 가능성이 있으며 미생물 오염 제거에 대한 대안으로서 이용될 수 있다. 그러나 아직까지 본 연구에서 사용한 병용처리의 산업화의 적용가능성 등에 대한 현장적용연구는 보고되고 있지 않았기 때문에 pilot scale의 현장적용연구와 다양한 향신료를 대상으로 한 연구의 확대가 필요할 것으로 사료된다.

생물 저감화효과를 얻을 수 없었기에 저온살균 처리 후, 대기압플라즈마를 병용처리 하여 대장균의 불활성화는 1-6 log<sub>10</sub> CFU/g 이상 감소되었다. 그러나, 저온살균과 대기압플라즈마 병용처리에 따른 관능적 품질 (색, 이취, 맛, 조직감 및 전체적인 기호도)에 대한 유의적인 차이는 관찰되지 않았다( $P>0.05$ ). 따라서 고춧가루의 미생물학적 안전성 확보를 위해 저온살균과 대기압플라즈마 단독처리보다 이 둘의 병용처리가 *E. coli*의 확실한 저감화 효과를 유도하고 식품 고유의 품질특성을 유지하는데 효과적이었음을 본 연구를 통해 확인되었다.

## Acknowledgments

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2018R1D1A3B07047673)이며 이에 감사드립니다. 아울러 본 연구에 사용한 유전체장벽방전 플라즈마 장비를 대여 해주시고 관련 학문적, 기술적 자문을 해 주신 광운대학교 플라즈마 바이오 과학 연구센터에 감사드립니다.

## 국문요약

본 연구는 저온살균(60°C, 5-20분)과 대기압플라즈마(5-20분)를 병용한 고춧가루 중의 *E. coli* 저감화 및 시너지 효과를 조사하였다. 저온살균 단일처리시 대장균의 불활성화는 최대 2 log<sub>10</sub> CFU/g(=99% 감소) 이상 나타내었으며, 대기압플라즈마 5, 10, 15, 및 20분간 단일처리 하였을 때 각각 0.4, 0.8, 0.9 및 1.4 log<sub>10</sub> CFU/g 감소되었다. 저온살균 및 대기압플라즈마 단독 처리만으로는 만족할 만한 미

## References

- Hwang, S.Y., Am, Y.H., Shin, G.M., A study on the quality of commercial red pepper powder. *Korean J. Food & Nutr.*, **14**, 424-428 (2011).
- Cao, Z.Z., Zhou, L.Y., Bi, J.F., Yi, J.Y., Chen, Q.Q., Wu, X.Y., Effect of different drying technologies on drying characteristics and quality of red pepper (*Capsicum frutescens* L.): A comparative study. *J. Sci. Food.*, **96**, 3596-3603 (2016).
- Lee, D.Y., Kim, H.E., Lee, J.S., Kim, K.S., Cho, Y.S., Comparative evaluation of selective chromogenic media for coliforms bacteria isolated from food. *J. Food Hyg. Saf.*, **31**, 222-225 (2016).
- Ryu, Y.H., Uhm, H.S., Park, G.S., Choi, E.H., Sterilization of *Neurospora crassa* by noncontacted low temperature atmospheric pressure surface discharged plasma with dielectric barrier structure. *J. Korean. Ceram. Soc.*, **22**, 55-65 (2013).
- Kim, D.H., Kim, S.M., Kim, H.B., Moon, K.D., Effects of optimized co-treatment conditions with ultrasound and low-temperature blanching using the response surface methodol-

- ogy on the browning and quality of fresh-cut lettuce. *Korean J. Food Preserv.*, **19**, 470-476 (2013).
6. Kim, J.E., Lee, D.U., Min, S.C., Microbial decontamination of red pepper powder by cold plasma. *Int. J. Food Microbiol.*, **38**, 128-136 (2014).
  7. Song, H.J., Kang, J.H., Oh, D.H., Min, S.C., Song, K.B., Combined treatment of fumaric acid with mild heat to inactivate microorganisms on fresh spinach during storage. *J. Appl. Biol. Chem.*, **59**, 69-74 (2016).
  8. Bazhala, M.I., Ngadia, M.O., Raghavana, G.S.V., Raghavana, J.P. Smith., Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in liquid whole egg using combined pulsed electric field and thermal treatments. *Food Sci. Technology.*, **39**, 420-426 (2006).
  9. Cheon, H.L., Shin, J.Y., Park, K.H., Chung, M.S., Kang, D.H., Inactivation of foodborne pathogens in powdered red pepper (*Capsicum annum* L.) using combined UV-C irradiation and mild heat treatment. *Food Cont.*, **50**, 441-445 (2015).
  10. Korean Food and Drug Administration, In: Food Standards Codex. Korean Food Industry Association, (2019, Jun 14). Retrieved from [http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01\\_03.jsp?idx=12](http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=12)
  11. Park, S.Y., Chung, M.S. Ha, S.D., Combined effect of sodium hypochlorite and gamma-irradiation for the control of *Vibrio vulnificus* in fresh oyster and clam. *Food Sci. Technol.*, **91**, 568-572 (2018).
  12. Moreau, M., Orange, N. Feuilleley, M.G.J., Non-thermal plasma technologies: new tools for bio decontamination. *Biotechnol.*, **26**, 610-617 (2008).
  13. Son, H.J., Kang, J.H., Oh, D.H., Min, S.C., Song, K.B., Combined treatment of fumaric acid with mild heat to inactivate microorganisms on fresh spinach during storage. *Appl. Biol. Chem.*, **59**, 69-74 (2016).
  14. Won, M.Y., Choi, H.Y., Lee, K.S., Min, S.C., Helium dielectric barrier discharge-cold plasma treatment for microbiological safety and preservation of onion powder. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **48**, 486-491 (2016).
  15. Mok, C.K., Jeon, H.J., Reduction of microorganisms in red pepper powder by low pressure discharge plasma. *Food Eng. Prog.*, **16**, 107-112 (2012).
  16. Huang, Y., Chen, H., Effect of organic acids, hydrogen peroxide and mild heat on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on baby spinach. *Food Cont.*, **22**, 178-83 (2011).
  17. Chung, W.H., Ko, J.S., Shin, I.S., Study on reduction of microbial contamination on daruma by combination treatment of strong acidic hypochlorous water and ultrasonic waves. *J Food Hyg. Saf.*, **30**, 166-172 (2015).
  18. Lin, C.M., Moon, S.S., Doyle, M.P., McWatters, K.H., Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serotype Enteritidis, and *Listeria monocytogenes* on lettuce by hydrogen peroxide and lactic acid and by hydrogen peroxide with mild heat. *J. Food Prot.*, **65**, 1215-20 (2002).
  19. Kim, Y.J., Kim, M.H., Song, K.B., Efficacy of aqueous chlorine dioxide and fumaric acid for inactivating pre-existing microorganisms and *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on broccoli sprouts. *Food Cont.*, **20**, 1002-1005 (2009).
  20. Carrillo, M.G., Ferrario, M., Guerrero, S., Study of the inactivation of some microorganisms in turbid carrot-orange juice blend processed by ultraviolet light assisted by mild heat treatment. *J. Food Eng.*, **212**, 213-225 (2017).
  21. Park, B.K., Oh, M.H., Oh, D.H., Effect of electrolyzed water and organic acids on the growth inhibition of listeria monocytogenes on lettuce. *Korean J. Food Preserv.*, **11**, 530-537 (2004).
  22. Xiang, Q., Wang, W., Zhao, D., Niua, L., Lia, K., Baia, Y., Synergistic inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 by plasma-activated water and mild heat. *Food Cont.*, **(Im press)** (2019).
  23. Choi, E.J., Park, H.W., Kim, S.B., Ryu, S.M., Lim, J.H., Sequential application of plasma-activated water and mild heating improves microbiological quality of ready-to-use shredded salted kimchi cabbage (*Brassica pekinensis* L.). *Food Cont.*, **98**, 501-509 (2019).
  24. Chang, S.K., Lee, H.H., Hong, S.I., Han, Y.S., Effect of organic acid treatment on the quality attributes of buckwheat sprout during storage. *Korean. J. Food Sci. Technol.*, **42**, 190-197 (2010).
  25. Song, H.J., Oh, Y.K., Kang, B.H., Hur, S.S., Lee, D.S., Lee, S.H., Kang, I.K., Lee, J.M., Change in quality attributes of fresh-cut potatoes with heat and browning inhibitor treatment during storage. *Korean J. Food Preserv.*, **20**, 386-393 (2013).