pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 32, No. 3, pp. 222~227 (2017)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.3.222

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

대기압 유전체장벽방전 플라즈마에 의한 식품유해 미생물 살균

이승제* · 송윤석 · 박유리 · 유승민[1] · 전형원[1] · 엄상흠[1]
전라북도생물산업진흥원, [1]국가핵융합연구소 플라즈마기술연구센터

Sterilization of Food-Borne Pathogenic Bacteria by Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge Plasma

Seung Je Lee*, Yoon Seok Song, Yu Ri Park, Seung Min Ryu[1], Hyeong Won Jeon[1], and Sang Heum Eom[1]
Research and Development Office, Jeonbuk Institute for Food-Bioindustry, Jeonju, Korea
[1]Innovation Technology Research Division, Plasma Technology Research Center, National Fusion Research Institute, Gunsan, Korea
(Received November 21, 2016/Revised January 28, 2017/Accepted May 24, 2017)

ABSTRACT - This study aimed to explore the potential for food-industry application of atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma (atmospheric pressure DBD plasma) as a non-thermal sterilization technology for microorganism. The effects of the key parameters such as power, oxygen ratio, exposure time and distance on *Escherichia coli* KCCM 21052 sterilization by the atmospheric pressure DBD plasma treatment were investigated. The experimental results revealed that increasing the power, exposure time or oxygen ratio and decreasing the exposure distance led to an improvement in the sterilization efficiency of *E. coli*. Furthermore, the atmospheric pressure DBD plasma (1.0 kW power, 1.0% (v/v) O_2, 5 min exposure time and 20 mm exposure distance) treatment was very effective for the sterilization of food-borne pathogenic bacteria. The sterilization rate of *E. coli, Bacillus cereus* KCCM 40935*, Bacillus subtilis* KCCM 12027*, Bacillus thuringiensis* KCCM 11429 and *Bacillus atrophaeus* KCCM 11314 were 72.3%, 74.6%, 88.5%, 84.7% and 91.3%, respectively.

Key words: Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge Plasma, Non-thermal, Non-chemical, Sterilization, Food-borne Pathogenic Bacteria

현대인들은 소득수준이 증가되고, 삶의 질을 중시하는 사회 전반적인 웰빙 경향(well-being trend)에 의해 농·식품의 위생안전성 및 품질에 매우 민감하다. 농·식품의 위생안전성에 영향을 미치는 요인에는 원료의 오염, 제품의 불충분한 살균, 생산 및 유통과정 중의 오염 등이 있고, 안전한 식품의 생산을 위해서는 설비, 기구, 포장재의 살균과 함께 원료 및 식품의 살균이 필수적이다[1]. 현재 가장 널리 사용되고 있는 살균법으로는 열을 투입하는 가열살균법과 살균제와 같은 화학적 살균법 그리고 자외선 및 적외선을 이용하는 물리적 살균법이 있다[2]. 그러나 가열살균법은 농·식품이 가지고 있는 천연의 풍미 및 조직감을 잃거나, 영양소 파괴 및 변색이 발생할 수 있고, 화학적 살균법은 인체 유해물질 및 오염물질의 발생되며, 자외선 및 적외선 방법은 제품의 품질변화가 적고, 환경 및 영양학적 문제도 없으나 살균효과가 낮은 단점이 있다[3,4]. 따라서, 농·식품의 살균방법은 비열(non-thermal), 비약제(non-chemical) 그리고 고효율(high-efficiency)의 특징을 지닌 기술이 요구되어진다.

최근 농·식품의 살균기술로써 플라즈마기술에 관심이 모아지고 있다[5]. 플라즈마는 기체가 보다 높은 에너지를 가지게 되었을 때, 이온과 전자로 분리되면서 이들이 갖는 에너지가 서로 평행을 이루는 상태를 의미하고[6], 하전입자뿐만 아니라 화학적 반응성이 큰 활성 라디칼, 자외선 및 적외선 등이 포함되어 물리·화학적 처리가 동시에 가능한 미생물 살균기술로 주목받고 있다[7]. 그 중, 대기압 하에서 저온으로 플라즈마를 발생시킬 수 있는 대기압 플라즈마기술이 식품 및 의생명 분야 적용을 위해 연구가 진행되고 있다[6].

식품 분야에서 대기압 플라즈마는 대부분 식중독균과 잠

*Correspondence to: Seung Je Lee, Research and Development Office, Jeonbuk Institute for Food-Bioindustry, Jeonju 54810, Korea
Tel: 82-63-210-6541, Fax: 82-63-210-6529
E-mail: sjlee@jif.re.kr

재적 유해미생물을 대상으로 한 사멸효율 조사에 대한 연구가 보고되고 있다. Youn과 Mok[8]은 3~7분의 대기압 플라즈마 처리에 의해 백미, 현미, 압맥 표면에 존재하는 일반세균의 90%가 사멸되었고, 대기압 플라즈마는 백미, 현미, 압맥의 품질에 영향을 미치지 않았다고 보고하였으며, Lee 등[9]은 대기압 플라즈마 10분 처리에 의해 훈제연어에 접종된 식중독균인 *Listeria monocytogenes*의 90%가 사멸되었음을 보고하였다. 다른 한편, 의생명 분야에서는 암치료[10], 상처치유[11], 의치 레진 살균[12], 치아미백[13] 등의 연구에 대기압 플라즈마가 활용되고 있다.

저온 플라즈마기술은 대기압 플라즈마와 감압 플라즈마로 구분된다. 감압 플라즈마는 플라즈마 발생속도의 제어가 용이하고, 균일한 플라즈마 생성이 가능한 장점이 있으나, 진공에 가까운 상태까지 압력을 낮추는 설비가 필요하고, 연속식 처리가 어려운 단점이 있다[14]. 이에 반해, 대기압 플라즈마는 대기압 하에서 플라즈마 생성이 일어나기 때문에 장비가 간단하고, 연속처리가 가능하며, 장치비가 낮은 장점으로 인해 대기압 플라즈마가 농・식품산업에 적용 가능성이 높다. 대기압 플라즈마의 방전 형태는 유전체장벽방전(DBD, dielectric barrier discharge), 코로나방전(corona discharge), 마이크로웨이브방전(microwave discharge), 아크방전(arc discharge) 등이 있다. 이 중 유전체장벽방전은 매우 큰 비평형 조건에서 작동하고, 고출력 방전이 가능하며, 전기적 충격이 없고, 넓은 면적을 처리할 수 있기 때문에 농・식품 처리에 적합한 방전 형태이다[6,7].

본 연구에서는 농・식품산업에 적용성이 높다고 판단되는 유전체장벽방전 형태의 대기압 플라즈마 처리에 의한 식품유해 미생물의 살균효과를 조사하였다.

Materials and Methods

살균 대상 미생물

본 연구에서 사용한 *Escherichia coli* KCCM 21052, *Bacillus cereus* KCCM 40935, *Bacillus subtilis* KCCM 12027, *Bacillus thuringiensis* KCCM 11429, *Bacillus atrophaeus* KCCM 11314는 한국미생물보존센터(Seoul, Korea)로부터 분양받았다. 각각의 균주는 nutrient broth (Difco, Sparks, MD, USA)에서 37°C, 48시간 동안 배양한 다음 2차례 증균배양한 후, 40% 글리세롤에 저장하여 냉동보관하였다.

미생물 시료 준비

대기압 유전체장벽방전 플라즈마(atmospheric pressure DBD plasma)에 의한 미생물 사멸효과를 평가하기 위한 미생물 시료는 12-well pate (Corning Incorporated, Kennebunk, ME, USA)에 각각의 미생물을 분주하여 준비하였다. 이때, 각 미생물의 농도는 약 6.0 log CFU/mL로 PBS (Phosphate buffered saline)에 현탁하였다.

대기압 유전체장벽방전 플라즈마 장비 및 처리조건

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 유전체장벽방전 플라즈마 발생시스템(900 mm(H) × 400 mm(W) × 650 mm(D))의 전체 외관(Fig. 1A), 모식도(Fig. 1B), 플라즈마 발생 모듈(Fig. 1C)을 나타내고, ㈜에이피디(Suwon, Korea)에 의해 제조되었다. 플라즈마 발생 모듈(95 mm(H) × 118 mm(W) × 364 mm(D))은 외부 housing과 플라즈마를 발생시키는 metal 전극, metal 전극을 감싸고 있는 유전체, 가스를 고르게 분배시켜 주는 가스 distributor로 구성되었다. 세부적으로, 외

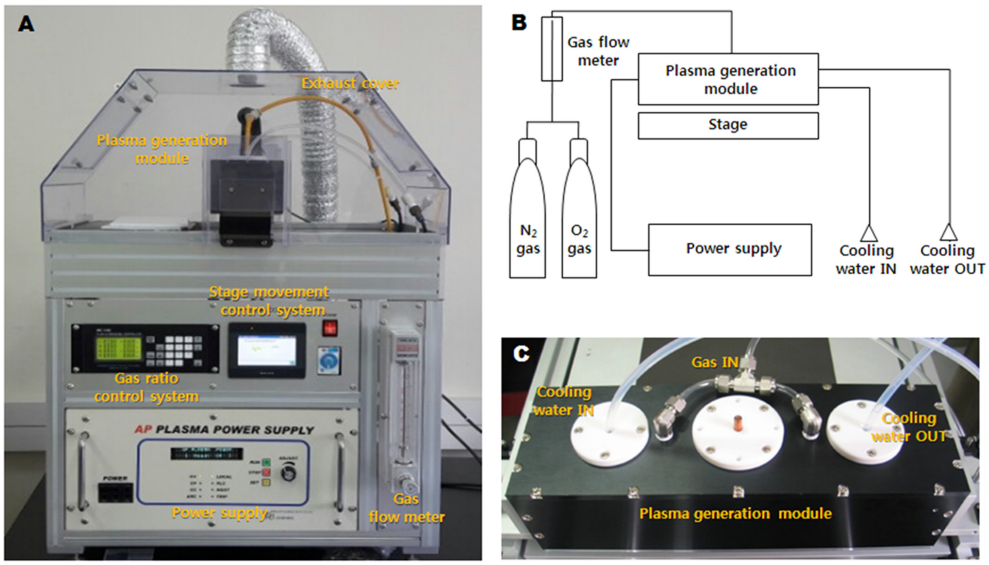

Fig. 1. Overview (A), schematic diagram (B) and plasma generation module (C) of atmospheric pressure dielectric barrier discharge (DBD) plasma generation system used in this study.

부 housing은 anodized aluminum으로 제작되었고, 전력이 인가되는 전력선과 가스, 그리고 수냉을 위한 냉각 포트가 top cover에 위치하도록 설계하였다. 플라즈마 발생을 위한 metal 전극은 aluminum bar로 구성되었고, 이를 유전체로 감싸주어 아크를 방지하도록 하였으며, 유전체는 세라믹을 사용하였다. 전극 내부는 냉각수에 의해 전극이 가열되는 것을 방지하도록 하였으며, 가스는 모듈의 중앙으로 인입되고, 가스 distributor에 의해 전극에 고루 분사되어 전극의 전 영역에서 균일한 플라즈마가 발생되도록 설계하였다. 플라즈마 처리는 전력(0.5~2.0 kW), 노출시간(1~15 min), 노출거리(20~35 mm), 질소-산소 혼합가스(flow rate 200 L/min) 내 산소비율(0.2~1.0% (v/v))의 다양한 범위에서 수행하였다.

미생물 농도 측정

플라즈마 처리 전·후 각 미생물의 농도는 3M 건조필름(3M Health Care, Paul, MN, USA)을 사용하여 측정하였다. 3M 건조필름은 일반세균용과 대장균용을 사용하였으며, 각각 37°C에서 48시간 동안 배양한 뒤 colony 수를 측정하였다.

Nitric oxide (NO) 농도 측정

플라즈마 처리에 따른 미생물 시료 내 일산화질소(NO) 농도는 NO detection kit (iNtRON, Seongnam, Korea)을 사용하여 측정하였다. 미생물은 원심분리(8,000 rpm, 10 min)에 의해 제거되었고, 상등액은 0.2 μm syringe filter (Advantec MFS Inc., Tokyo, Japan)에 의해 여과되었다. 여과액에 N1 buffer 50 μL를 첨가하여 실온에서 10분간 반응시킨 다음, N2 buffer 50 μL를 첨가하여 실온에서 10분간 반응시킨 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

통계처리

통계처리는 SPSS (statistical package social science) 12.0을 이용하여 분석하였고, 각 실험군 간의 유의차 검증은 다중범위검정법(duncan's multiple range test)를 실시하여 $p < 0.05 \sim 0.001$ 수준에서 검정하였다.

Results and Discussion

대기압 유전체장벽방전 플라즈마 처리에 따른 *E. coli*의 사멸효과

이온화 가스상태인 플라즈마에는 전자, 양이온, 음이온, 자유 라디칼, 자외선 광자 등을 포함한 활성종(reactive species)이 존재하고, 이 활성종은 미생물 세포막을 통해 확산되면서 세포막의 지질과 단백질, 그리고 세포 내의 DNA와 같은 거대 분자들과 반응하여 세포를 손상시키는 것으로 보고되었다[15,16]. 따라서, 활성종 생성 및 농도에 영향을 미치는 노출시간, 노출거리, 산소비율, 전력 변화에

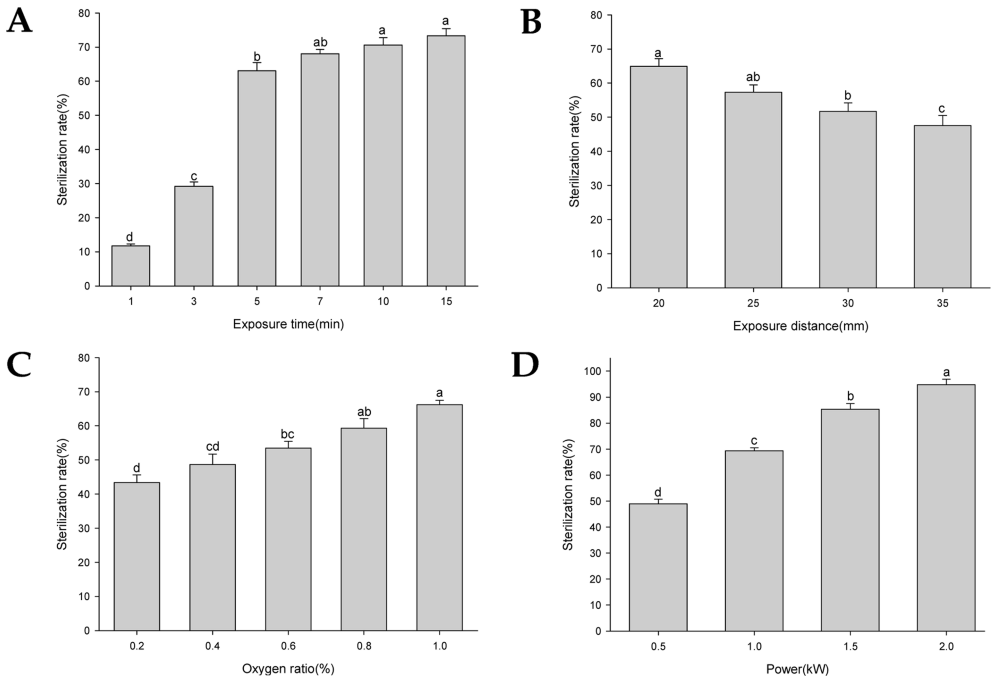

Fig. 2. Effects of exposure time (A), exposure distance (B), oxygen ratio (C) and power (D) on *Escherichia coli* sterilization by atmospheric pressure dielectric barrier discharge (DBD) plasma treatment.
Values are means ± SD (n = 3).
a-d: Values are significantly different among the samples ($p < 0.05$).

따른 *E. coli*의 사멸효과를 조사하였고, 플라즈마 처리를 위한 기본조건은 전력 1.0 kW, 산소비율 1.0%, 노출거리 20 mm, 노출시간 5 min으로 설정하였다.

Fig. 2A는 노출시간(1~15 min)에 따른 *E. coli*의 사멸효과를 나타낸다. 노출시간의 증가에 의해 *E. coli* 사멸율이 증가하였고, 플라즈마에 5 min 노출시켰을 때, *E. coli*의 63.1%가 사멸하였으며, 최대 사멸율 73.3%는 15 min 처리에서 나타났다. 플라즈마에 노출되는 시간이 증가하게 되면 활성종의 농도와 자외선 세기 등이 일정하더라도 미생물의 세포막 손상 정도는 증가하고, 그에 따라 사멸율이 증가하는 것으로 판단된다[17]. 하지만 사멸율의 증가 경향을 보면, 5 min의 노출시간까지 급격히 증가한 이후, 완만한 증가를 나타낸다. 이러한 경향은 표면살균에 효과적인 자외선[18], 고전장펄스[19] 등 비열살균에서 관찰되는 현상이다[1]. 즉, 살균대상물의 표면에 존재하는 미생물의 살균에는 매우 효과적이어서 단시간 처리로 살균이 가능하지만, 내부에 존재하는 미생물의 살균을 위해서는 상대적으로 장시간의 처리가 요구됨을 의미한다[20]. 따라서, 보다 살균효율이 높은 대기압 플라즈마를 위해서는 발생한 활성종의 확산에 관한 연구가 요구된다.

노출거리(20~35 mm)의 변화에 따른 *E. coli*의 사멸효율을 조사한 결과, 노출거리의 증가에 반비례하여 *E. coli*의 사멸율이 감소하였고, 플라즈마 발생원과 미생물 시료의 거리가 20 mm일 때, 64.8%의 사멸율을 나타내었다(Fig. 2B). Ryu 등[6]은 대기압 하에서 플라즈마를 발생시키면서 플라즈마 발생원과의 거리에 따른 오존농도를 측정한 결과, 10 mm 내에서는 25~30 ppm이 측정되었고, 거리가 멀어질수록 오존 농도가 급격히 감소하는 결과를 보고하였다. 이러한 결과는 노출거리 증가에 따라 미생물 사멸율이 감소하는 결과를 뒷받침한다.

산소비율(0.2~1.0%)의 영향에서는 0.2%에서 1.0%(사멸율 66.3%)까지 산소비율의 증가에 비례하여 *E. coli*의 사멸율이 증가하였다(Fig. 2C). 이는 투입되는 산소량의 증가에 따라 활성종의 농도가 증가한 결과로 판단된다. Son과 Lee[7]는 아르곤-산소 혼합가스 내 산소비율과 전력을 증가시킴에 따라 오존 농도가 증가하였고, 오존 농도의 증가율은 전력보다 혼합가스 내 산소비율에 더 영향을 받음을 보고하였다. 활성산소종(ROS, reactive oxygen species) 생성을 위해서는 산소가 요구된다. 하지만 혼합가스 내 산소비율이 과하게 높은 경우, 플라즈마 flame의 발생이 저하되어 미생물 사멸율을 감소시킬 수 있다.

산소비율의 영향과 마찬가지로 전력(0.5~2.0 kW)의 증가에 따라 *E. coli*의 사멸율이 증가하여 2.0 kW일 때 94.9%의 사멸율을 나타내었다(Fig. 2D). Mok과 Lee[1]는 전력의 증가에 의해 전류세기가 증가되고, 그로 인해 에너지투입속도(동력)가 증가하여 미생물의 사멸율이 증가한다고 보고하였다. 즉, 이와 같은 결과는 전력의 증가에 따라 기체의 이온화, 여기, 해리 등의 과정이 더욱 빈번히 일어나기 때문에 활성종의 농도가 증가한 것에 기인한다[17].

Ryu 등[6]은 대기압 유전체장벽방전 플라즈마 처리에서 전력, 노출시간이 증가될수록 그리고 노출거리가 짧을수록 활성종의 농도가 증가된다고 보고하였고, 플라즈마 처리 시 전력과 노출시간이 증가할수록 *Salmonella typhimurium, E. coli*의 사멸효과가 증가된 것을 보고하였다[1,9,17,21]. 이러한 결과로 미루어, 대기압 유전체장벽방전 플라즈마 처리를 위한 전력과 산소비율, 플라즈마 상태에 노출되는 시간 및 플라즈마 발생원과 시료의 거리는 미생물 사멸에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

플라즈마 노출시간에 따른 NO 농도의 변화

본 연구에서 사용한 대기압 유전체장벽방전 플라즈마에는 산소-질소 혼합가스가 사용된다. 이 때 발생하는 NO는 미생물 살균에 직접적으로 작용한다고 알려져 있다[15]. 따라서, 본 연구에서 사용한 플라즈마 처리 기본조건인 전력 1.0 kW, 산소비율 1.0%, 노출거리 20 mm, 노출시간 5 min에서 노출시간 증가에 따른 NO 농도변화를 조사하였다.

Fig. 3은 NO 농도의 변화를 나타낸다. 노출시간이 증가함에 따라 NO 농도가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 특히 노출시간 5 min (2.49 mM) 이상에서 NO의 농도가 급격히 증가하였다. 이는 Fig. 2의 결과에서 보여 지는 바와 같이 노출시간의 증가에 따라 *E. coli*의 사멸율이 증가하는 것은 NO와 같은 활성종의 농도 증가에 따른 결과라는 것을 뒷받침한다.

플라즈마 처리조건에서 농 · 식품 유해미생물의 사멸효과

식품을 매개로 한 질병을 유발하거나 포자(spore)를 형

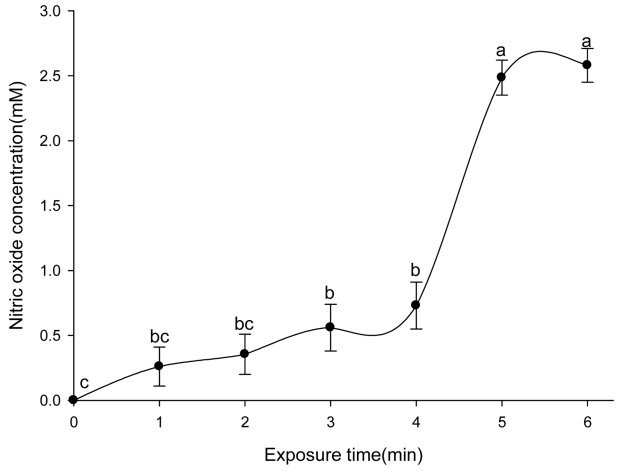

Fig. 3. Change of nitric oxide concentration according to the exposure time of atmospheric pressure dielectric barrier discharge (DBD) plasma.
Values are means ± SD (n = 3).
a-c: Values are significantly different among the samples ($p < 0.001$).

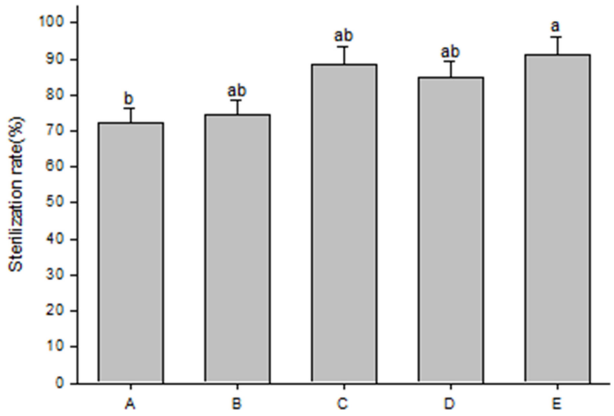

Fig. 4. Sterilization rate of food-borne pathogenic bacteria by atmospheric pressure DBD plasma treatment.
A: *Escherichai coli*, B: *Bacillus cereus*, C: *Bacillus subtilis D*: *Bacillus thuringiensis*, E: *Bacillus atrophaeus*.
Values are means ± SD (n = 3).
a-b: Values are not significantly different among the samples ($p < 0.05$).

성하여 살균에 내성을 가지는 잠재적 유해미생물(*E. coli, B. cereus, B. subtilis, B. thuringiensis, B. atrophaeus)*을 선정하여 대기압 유전체장벽방전 플라즈마 처리에 따른 각 미생물의 사멸효과를 조사하였다[22-25].

전력 1.0 kW, 산소비율 1.0%, 노출시간 5 min, 노출거리 20 mm로 플라즈마를 처리한 결과, *E. coli, B. cereus, B. subtilis, B. thuringiensis, B. atrophaeus*의 사멸율은 각각 72.3%, 74.6%, 88.5%, 84.7%, 91.3%이었다(Fig. 4). 이러한 각 미생물의 사멸율 차이는 세포막 구성성분의 조성과 구조의 차이에서 기인한 결과로 판단된다.

Acknowledgement

이 논문은 2016년도 정부 출연 재원으로 국가핵융합연구소 주요사업 중 '미래선도 플라즈마-농식품 선도기술(Plasma Farming)개발'관련 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임.

국문요약

본 연구는 대기압 유전체장벽방전 플라즈마 처리에 따른 식품유해 미생물 사멸효과를 조사하기 위해 수행되었다. 플라즈마 처리 시, 활성종 생성 및 농도에 영향을 미치는 노출시간, 노출거리, 산소비율, 전력 변화에 따른 *E. coli*의 사멸효과를 조사한 결과, *E. coli*의 사멸율은 플라즈마 처리를 위한 노출시간, 산소비율, 전력의 증가에 따라 증가한 반면, 노출거리의 증가에 따라서는 사멸율이 감소하였다. 이 결과는 미생물 시료가 플라즈마에 노출되는 시간이 증가됨으로서 시료 내 NO 농도가 증가되고, *E. coli*의 사멸율 역시 증가되는 결과로 뒷받침할 수 있고, 미생물 사멸효과를 높이기 위해서는 활성종의 농도가 증가되어야 함을 의미한다. *E. coli*와 함께 *B. cereus, B. subtilis, B. thuringiensis, B. atrophaeus*를 대상으로 대기압 유전체장벽방전 플라즈마에 의한 살균효과를 조사한 결과, 72.3~91.3%의 높은 사멸율을 나타내었다. 이러한 결과로 미루어, 대기압 유전체장벽방전 플라즈마기술은 다양한 미생물에 적용될 수 있는 유용한 살균기술임을 확인하였다.

References

1. Mok C., Lee T.: Dielectric barrier discharge plasma inactivation of *Escherichia coli*. *Food Eng. Prog.*, **16**, 33-39 (2012).
2. Mok C., Jeon H.: Low pressure discharge plasma inactivation of microorganisms in black pepper powder. *Food Eng. Prog.*, **17**, 43-47 (2013).
3. Luksiene Z., Buchovec I., Paskeviciute E.: Inactivation of several strains of *Listeria monocytogenes* attached to the surface of packaging material by Na-chlorophyllin-based photosensitization. *J. Photoch. Photobio. B*, **101**, 326-331 (2010).
4. Song H.P., Kim B., Choe J.H., Jung S., Moon S.Y., Choe W.H., Jo C.R.: Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiol.*, **26**, 432-436 (2010).
5. Laroussi M.: Low temperature plasma-based sterilization: overview and state-of-the-art. *Plasma Process Polym.*, **2**, 391-400 (2005).
6. 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 Vacuum Soc.*, **22**, 55-65 (2013).
7. Son H.H., Lee W.G.: Discharge properties of torch-type atmospheric pressure plasma and its local disinfection of microorganism. *Korean Chem. Eng. Res.*, **49**, 835-839 (2011).
8. Yoon G.A., Mok C.: Microbial inactivation of grains used in Saengshik by corona discharge plasma jet. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **47**, 70-74 (2015).
9. Lee H.B., Noh Y.E., Yang H.J., Min S.C.: Inhibition of food-borne pathogens on polystyrene, sausage casings, and smoked salmon using nonthermal plasma treatments. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **43**, 513-517 (2011).
10. Fridman G., Friedman G., Gutsol A., Shekhter A.B., Vasilets V.N., Fridman A.: Applied plasma medicine. *Plasma Process Polym.*, **5**, 503-533 (2008).
11. De Geyter N., Morent R.: Nonthermal plasma sterilization of living and nonliving surfaces. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, **14**, 255-274 (2012).
12. Seo H.Y., Yoo E.M., Choi Y.R., Kim S.H., Kim K.M., Kim K.N.: Effect of non-thermal atmospheric pressure nitrogen and air plasma on the surface properties and the disinfection of denture base resin. *J. Korean Soc. Dent. Hyg.*, **14**, 783-788 (2014).

13. Kim J.H., Lee M.A., Han G.J., Cho B.H.: Plasma in dentistry: A review of basic concepts and applications in dentistry. *Acta. Odontol. Scand.*, **72**, 1-12 (2014).
14. Mok C., Lee T.: Operational properties and microbial inactivation performance of dielectric barrier discharge plasma treatment system. *Food Eng. Prog.*, **15**, 398-403 (2011).
15. Laroussi M., Leipold F.: Evaluation of the roles of reactive species, heat and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. *Int. J. Mass Spectrom.*, **233**, 81-86 (2004).
16. Bogaerts A., Neyts E., Gijbels R., Mullen V.: Gas discharge plasmas and their application. *Spectrochim. Acta B*, **57**, 609-658 (2002).
17. Jo J.O., Lee H.W., Mok Y.S.: Sterilization of scoria powder by corona discharge plasma. *Appl. Chem. Eng.*, **25**, 386-391 (2014).
18. Mok C., Lee N.H.: Ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* in stainless steel cups. *Food Eng. Prog.*, **13**, 122-129 (2009).
19. Oshima T., Tato M.: Bacterial sterilization and intracellular protein release by a pulsed electric field. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.*, **90**, 11-133 (2004).
20. Mok C., Song D.M.: Low-pressure plasma inactivation of *Escherichia coli*. *Food Eng. Prog.*, **14**, 202-207 (2010).
21. Kim J.E., Kim I.H., Min S.C.: Microbial decontamination of vegetables and spices using cold plasma treatments. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **45**, 735-741 (2013).
22. Han I.J., Park J.N., Park J.G., Song B.S., Lee J.W., Kim J.H., Ryu H.S., Park J.R., Chun S.S.: Quality characteristics of milk porridge(Tarakjuk) sterilized with radiation technology. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **40**, 885-891 (2011).
23. Kim Y.S., Yun S.H., Jeong D.Y., Hahn K.S., Uhm T.G.: Isolation of *Bacillus licheniformis* producing antimicrobial agents against *Bacillus cereus* and its properties. *Kor. J. Microbiol.*, **46**, 270-277 (2010).
24. Yoon Y.H., Nam S.H., Joo J.C., Ahn H.S.: Photocatalytic disinfection of indoor suspended microorganisms (*Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* spore) with ultraviolet light. *J. Korea Acad. Inustr. Coop. Soc.*, **15**, 1204-1210 (2014).
25. Jeon J.H., Park J.H.: Toxin gene analysis of *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis* isolated from cooked rice. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **42**, 361-367 (2010).