pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 31, No. 5, pp. 375~379 (2016)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2016.31.5.375

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

대기압 플라즈마가 선식의 품질 특성에 미치는 영향

김현주* · 우관식 · 조철훈[1] · 이석기 · 박혜영 · 심은영 · 원용재[2] · 이상복[2] · 오세관
국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과
[1]서울대학교 농생명공학부, [2]국립식량과학원 중부작물부 중부작물과

Effect of Atmospheric Pressure Plasma on the Quality of Commercially Available *Sunsik*

Hyun-Joo Kim*, Koan Sik Woo, Cheorun Jo[1], Seuk Ki Lee, Hye Young Park, Eun-Yeong Sim, Yong-Jae Won[2], Sang-Bok Lee[2], and Sea-Kwan Oh
Crop Post-harvest Technology Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, Gyeonggi 16613, Korea
[1]Department of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence, and Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[2]Central Area Crop Breeding Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, Gyeonggi 16613, Korea
(Received July 6, 2016/Revised July 26, 2016/Accepted August 19, 2016)

ABSTRACT - Atmospheric pressure plasma (APP) was applied to examine microbial safety and qualities of commercial *Sunsik*. APP was generated in a square-shaped plastic container (250 W, 15 kHz, ambient air) and dielectric barrier discharge plasma treatment was applied for periods of 0, 5, 10, and 20 minutes. The total aerobic bacterial count in the control was 4.44 log CFU/g. Under plasma treatment for 20 minutes, *Sunsik* samples inoculated with *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, and *Escherichia coli* O157:H7 resulted in a reduction of bacterial counts by approximately 2.20, 2.22, and 2.52 log CFU/g, respectively. The pH of the sample was found to decrease after APP treatment. Although hunter color L^* of Sunsik increased, a^* and b^* value decreased as a result of APP. Increasing the APP time also enhanced the peroxide value. Further, sensory evaluation revealed that APP decreased color, flavor, taste and overall acceptability. The results of this study indicated that APP treatment improved the microbial quality of Sunsik, although further studies should be conducted to reduce the deterioration of sensory quality induced by APP.

Key words : Atmospheric pressure plasma, *Sunsik*, Quality

최근 건강 지향적 식생활의 변화 및 현대인의 바쁜 일상생활로 인해 간편하게 섭취 가능하면서 영양학적으로 우수한 식품 소비가 증가하고 있는 추세이다[1]. 특히 선식은 위에 부담이 적고 간편하며, 섬유질과 기름 및 향미가 알맞게 혼합되어 포만감은 없어도 기력을 강화하고 유지시키는데 도움을 주는 것으로 알려져 있다. 뿐만 아니라 어린이나 노인, 소화기가 약한 사람 등 다양한 계층이 섭취하기가 용이하며, 다이어트나 특수 목적의 보조 영양섭취에도 도움을 주어 꾸준히 소비되고 있다[2].

*Correspondence to: Hyun-Joo Kim, Crop Post-harvest Technology Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, Gyeonngi 16613, Korea
Tel: 82-31-695-0611, Fax: 82-31-695-4085
E-mail: tlrtod@korea.kr

선식은 분말상태로 유통되기 때문에 생식과 같은 다른 제품에 비해 위생학적으로 안전하다고 인식되고 있다. 하지만 선식 가공과정 시 원료를 건조하기 전 찌거나, 건조 후 볶음 및 분말화 과정을 통해 제조하고 있는데[3], 이 같은 공정 중에서 위해 미생물 및 곰팡이 등으로 2차 오염이 발생되는 것으로 보고되고 있다. Cho 등[4]의 연구결과에 따르면 생식 및 선식에서 포자를 형성한 *Bacillus cereus*가 상당수 검출되어 안전성에 문제가 제기되어 식품공전에서 *B. cereus*에 대한 정량규격이 설정되었다고 발표하였다. Kim 등[1]은 선식에 이용되고 있는 원료보다 최종제품의 위해미생물 검출율이 더 높아 선식 제조공정에 사용되고 있는 기기, 작업환경 및 유통과정 중의 안전성 확보에 관한 연구도 필요하다고 제시하였다.

최근 식품 표면 비가열 살균 기술로서 대기압 플라즈마

기술이 활발히 연구되고 있다. 플라즈마는 제 4의 물질상태를 지칭하는 말로써 기체보다 높은 에너지를 가지게 되었을 때 이온과 전자로 분리되면서 이들이 갖는 에너지가 서로 평행을 이루는 상태를 말한다[5]. 대기압 플라즈마는 반응성이 높은 라디칼과 이온 등의 전하입자가 풍부하여 미생물 세포막을 파괴하고 DNA 변형을 일으켜 미생물을 사멸시키는 것으로 알려져 있다[6]. 최근 코로나방전 플라즈마 제트를 이용하여 생식용 곡류 내 오염된 미생물이 저감되었다고 발표된 바 있으나[7], 플라즈마 시스템을 선식 가공공정에 적용하기 위해서는 다양한 플라즈마 조건에서 연구를 수행하고 최적 조건을 확립해야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 선식의 유통 안전성 확보를 위한 기초기반 연구로 시판되고 있는 선식에 공기방전을 이용하여 대기압 플라즈마 중 유전체 장벽 플라즈마 처리에 따른 미생물 저감화 및 품질 특성 변화를 관찰하고자 하였다.

Materials and Methods

시료 준비

본 연구에서 사용한 실험재료는 2016년에 국내 마트에서 시판되고 있는 선식(Doum F&B, Gyeonggi, Korea)을 구입하여 실험에 사용하였다. 선식은 보리, 현미, 백미, 대두, 옥수수, 현미찹쌀, 검정콩, 흑미, 찹쌀, 통밀, 수수, 차조, 기장, 검정깨, 참깨, 들깨, 율무 등 총 17곡으로 구성되어진 제품을 사용하였다.

대기압 플라즈마

대기압 플라즈마 처리는 기 개발된 컨테이너형 유전체 장벽 플라즈마 시스템을 활용하였다[6]. 본 연구에서 사용한 유전체장벽 방전 시스템은 280 μm 두께의 polytetrafluoroethylene을 컨테이너 내부벽에 장착하고 구리를 전극의 재질로 이용하였다. 플라즈마 형성 전력은 250 W이고, 발생되는 전자파의 진동수는 15 kHz였다. 플라즈마 처리를 위한 컨테이너 크기는 137 × 104 × 53 mm 였으며, 방전가스는 공기를 이용하였다. 준비된 시료를 0, 5, 10 및 20분간 플라즈마 처리하여 이에 따른 미생물 저감화 및 품질 특성을 관찰하였다.

일반 호기성 미생물

시료 5 g에 멸균된 식염수(0.85% NaCl) 45 mL을 첨가하여 Bag mixer (Model 400, Interscience, St. Nom, France)를 사용하여 120초 동안 혼합한 후 10진 희석법으로 희석한 희석액을 total plate count agar (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 도말하였다. 미생물의 증식은 표준한천배양방법으로 37°C에서 48시간 배양한 후 계수하였다.

미생물 감균 효과

시료 멸균 및 균주 접종

미생물의 사멸효과를 측정하기 위하여 선식을 멸균한 후 미생물을 접종하였다. 시료 5 g씩 PE nylon bag에 넣은 다음 함기 포장한 후 한국원자력연구원 첨단방사선연구소에서 35 kGy 선량으로 감마선 조사(Co-60 gamma irradiatior, point source AECL. IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)하여 멸균하였다.

미생물 표준균주는 *Bacillus cereus* (KCTC 3624), *B. subtilis* (KCTC 1682) 및 *Escherichia coli* O157:H7 (KCCM 40406)를 한국생명공학연구원(Korean Collection for Type Cultures, KCTC) 및 한국미생물보존센터(Korean Culture Center of Microorganisms, KCCM)에서 구입하여 실험에 사용하였다. 미생물 활성은 *B. cereus* 및 *B. subtilis*는 nutrient broth (Difco Laboratories), *E. coli* O157:H7은 tryptic soy broth (Difco Laboratories) 10 mL에 접종하여 24시간 배양시킨 배양액 0.1 mL를 취해 새로운 배지 10 mL에 접종하여 18시간 동안 2차 배양한 후 그 배양액을 실험에 사용하였다. 균주 접종 시 배양배지에서 오는 오차를 줄이기 위해 2차 배양액을 원심분리(3,000 rpm, 15분)한 후 상등액을 제거하여 0.85% 멸균식염수로 2회 세척하였다. 실험에 사용된 미생물의 초기농도는 7-8 log CFU/mL 수준이 되도록 하였으며 균주를 멸균된 시료에 2%(v/w)농도로 접종하였다.

미생물 분석

접종 후 플라즈마 처리한 시료 5 g에 멸균된 식염수(0.85% NaCl) 45 mL을 첨가한 다음 혼합하여 10진 희석법으로 희석한 희석액을 nutrient agar (Difco Laboratories) 및 tryptic soy agar (Difco Laboratories)에 도말하였다. 미생물 증식은 표준한천배양방법으로 각각 37°C에서 48시간 배양한 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 log CFU/g으로 나타냈다.

색도

시료를 지름 50 mm의 투명 용기에 넣은 후 Color Differencemeter (Model CM-3500d, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 기계는 측정 전 표준흑판과 표준백판을 표준화한 후 사용하였으며 명도(L*, lightness), 적색도(a*, redness) 및 황색도(b*, yellowness)값으로 나타내었다. 이때의 표준색은 L*, a*, b*값이 각각 96.42, –0.10, –0.25인 백색 표준판을 사용하였다. 측정된 값은 Spectra Magic Software (Minolta Cyber Chrom Inc., Osaka, Japan)을 이용하여 기록하였다.

pH

플라즈마에 의한 선식의 pH 변화를 측정하기 위하여 시료 1 g에 증류수 10 mL을 가한 후 균질화하여 pH meter (Model 750, iSTEC, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다.

관능평가

관능평가는 비열처리 식품에 훈련된 10명의 panel을 대상으로 진행하였다. 시료의 색, 향, 맛, 전반적인 기호도 및 이취의 5개 항목에 대한 수용도 검사를 7점 평점법(1 매우 싫다~7 매우 좋다)으로 평가하였으며, 각각의 시료에 대한 이취 강도를 7점 평점법(1 매우 약하다~7 매우 강하다)으로 평가하였다.

통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SPSS 12.0 (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) progran을 사용하여 각 실험구간의 유의성을 검증한 후 Duncan's multiple range tests에 의해 실험군간의 차이를 5% 유의수준에서 분석하였다.

Results and Discussion

미생물 사멸효과

시판 선식 내 일반 호기성 미생물 측정 결과 4.44 log CFU/g 미생물이 검출되었으며, 플라즈마 처리시간에 따라 미생물이 저감되어 20분 처리군에서 2.80 log CFU/g의 미생물이 검출되었다(Table 1). Ko 등[8]의 연구결과에 따르면 국내 시판 선식의 일반 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이를 분석한 결과 각각 3.12 및 3.87 log CFU/g이 검출되었다고 보고하였다. 또한 Cho 등[4]은 시판 유통 중인 선식의 *B. cereus* 오염정도를 측정한 결과 전체 시료 중 35.4%에서 검출되었다고 발표하였다. 본 연구에서 사용한 시료 역시 선식 제조를 위한 공장 내 주변 환경으로부터 미생물이 오염된 것이라고 판단된다. 따라서 국내 시판 중인 선식은 위생학적 측면에서 안심할 수 없으며 안전성 개선을 위해 대기압 플라즈마 기술의 적용을 검토해야 할 것으로 판단되었다.

한편, 선식에 *B. subtilis*, *B. cereus* 및 *E. coli* O157:H7 배양액을 접종한 후 각 균주에 대한 플라즈마의 영향을 확인해보았다. 플라즈마 처리에 의해 선식 내 오염된 미생물이 감소하는 경향을 보였으며, 20분 처리 시 선식 내 오염된 *B. subtilis*, *B. cereus* 및 *E. coli* O157:H7가 각각 2.20, 2.22 및 2.52 log CFU/g 감소한 것으로 나타났다(Table 2). 선식의 위생화를 위해 플라즈마를 적용한 연구는 미진한 실정이다. 최근 한 연구결과에 따르면 분유 분말에 오염된 *Cronobacter sakazakii*와 양파 분말에 오염된 *B. cereus*의 포자를 저해하기 위해 He+O_2 및 He가스 방전 플라즈마 적용 시 효과적으로 살균되었다고 발표하였다[9].

전리된 가스상태인 플라즈마에는 전자, 양이온, 음이온, 자유 라디칼 및 자외선 광자 등을 포함한 reactive species가 존재하고 있다. 특히 reactive species에는 미생물 세포막을 통해 확산되면서 세포막의 지질과 단백질, 그리고 세포 내의 DNA와 같은 거대분자들과 반응하여 미생물 세포에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다[10]. 플라즈마에 의한 미생물 저감화 효과에 영향을 주는 요인으로 플라즈마

Table 1. Total aerobic bacterial counts of commercial *Sunsik* by atmospheric pressure plasma

Treatment time (min)	log CFU/g
0	4.44 ± 0.03[a]
5	3.98 ± 0.04[b]
10	3.75 ± 0.04[c]
20	2.80 ± 0.08[d]
SEM[1)]	0.022

[a-d]Different online letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).
[1)]Standard errors of the mean (n = 12).

Table 2. Inactivation of microorganisms inoculated into *Sunsik* by atmospheric pressure plasma

(unit : log CFU/g)

Treatment time (min)	*Bacillus cereus*	*Bacillus subtilis*	*Escherichia coli* O157:H7
0	5.26 ± 0.01[a]	5.19 ± 0.03[a]	5.42 ± 0.03[a]
5	4.47 ± 0.02[b]	4.35 ± 0.02[b]	4.53 ± 0.02[b]
10	4.13 ± 0.02[c]	4.02 ± 0.06[c]	3.17 ± 0.02[c]
20	3.06 ± 0.03[d]	2.97 ± 0.03[d]	2.90 ± 0.05[d]
SEM[1)]	0.010	0.024	0.014

[a-d]Different online letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).
[1)]Standard errors of the mean (n = 12).

Table 3. Hunter color values of *Sunsik* by atmospheric pressure plasma

Treatment time (min)	L*	a*	b*	ΔE
0	72.98 ± 0.11[b]	6.38 ± 0.03[a]	23.23 ± 0.03[a]	0.00[c]
5	72.07 ± 0.17[c]	6.45 ± 0.01[a]	23.01 ± 0.06[b]	0.95 ± 0.25[a]
10	73.37 ± 0.28[ab]	6.22 ± 0.06[b]	22.97 ± 0.05[bc]	0.51 ± 0.18[b]
20	73.66 ± 0.20[a]	6.11 ± 0.11[b]	22.81 ± 0.18[c]	1.02 ± 0.30[a]
SEM[1)]	0.235	0.051	0.079	0.174

[a-c]Different online letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).
[1)]Standard errors of the mean (n = 12).
ΔE: Overall color difference($\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$)

Table 4. The pH changes of *Sunsik* by atmospheric pressure plasma

Treatment time (min)	pH
0	6.31 ± 0.01[a]
5	6.31 ± 0.01[a]
10	6.26 ± 0.01[b]
20	6.14 ± 0.01[c]
SEM[1)]	0.009

[a-c]Different online letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).
[1)]Standard errors of the mean (n = 12).

방전 가스, 에너지 수준, 처리 시간 등을 포함한 플라즈마 처리 공정 요인과 미생물 종류, 식품 조성 및 표면 상태 등이 있다[11].

이상의 결과를 종합하여 볼 때 국내에서 시판되고 있는 선식에서 미생물이 검출되어 선식 제조 및 유통과정에서의 영향이 큰 것으로 사료되어 선식에 대한 지속적인 위생관리가 철저히 요구된다. 또한 플라즈마 기술은 선식의 위생안전성 개선을 위해 효과적이라고 판단된다.

색도 및 pH

플라즈마에 의한 선식의 색도 변화를 관찰한 결과 처리시간이 증가함에 따라 명도는 증가하였으나 적색도 및 황색도는 감소하였고 이에 따른 전반적인 색차는 0.51~1.02 범위로 나타났다(Table 3). 그리고 선식의 pH 측정 결과 플라즈마 처리에 의해 6.31에서 6.14로 감소하는 경향을 보였다(Table 4). 현재까지 플라즈마에 의한 선식과 같은 곡류의 색도 및 pH 변화에 관한 연구는 미진한 실정이다. 본 연구결과를 통해 플라즈마는 선식의 색도 및 pH에 일부 영향을 미치는 것으로 나타났으나 변화 폭은 크지 않은 것으로 확인되었고, 추후 이와 같은 변화를 구명하기 위한 후속연구가 요구된다.

관능평가

플라즈마 처리한 선식을 생수에 용해한 후 비열처리 식품에 훈련된 관능평가 요원들을 대상으로 관능평가를 실시하였다. 관능평가 결과 플라즈마 처리에 의해 선식의 색은 유의적인 차이가 없었으나 향, 맛, 전체적인 기호도가 유의적으로 감소하였다(Table 5). 또한 플라즈마 처리에 의해 이취의 강도가 증가한 것을 알 수 있었다. 이러한 플라즈마 처리에 의한 이취는 플라즈마에 의해 생성된 라디칼의 작용으로 선식 내 함유된 단백질 및 지방에 영향을 미치기 때문이라고 판단된다[12]. 그러나 이와 같은 관능적 품질 저하는 선식 생산 과정 중 적합 플라즈마 모델 선정, 포장 방법 개선 및 천연 항산화제 첨가 등과 같은 방법을 이용하여 감소시킬 수 있다고 사료된다[13,14].

Acknowledgment

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ01167601)의 지원에 의해 이루어진 것임.

국문요약

국내 시판 중인 선식의 유통 안전성 확보를 위한 기초기반연구로 대기압 플라즈마 처리한 선식의 품질 특성 평가를 진행하였다. 본 연구에서 이용한 플라즈마는 컨테이너형 유전격벽 플라즈마로 방전 가스는 공기를 활용하여 0, 5, 10 및 20분 처리하였고 미생물 감균효과, 색도, pH 관능평가를 진행하였다. 일반 호기성 미생물 분석 결과 20분 처리 시 약 1.70 log CFU/g 감소하였으며 *B. cereus*, *B. subtilis* 및 *E. coli* O157:H7을 이용한 접종 시험 결과 각각 2.20, 2.22 및 2.50 log CFU/g 감소하였다. 색도 측정결과 플라즈마 처리에 의해 명도 값은 증가하였으나 적색도 및 황색도는 감소하였다. 플라즈마 처리에 의한 선식의 pH 측정 결과 처리시간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 하지만 플라즈마 처리에 의해 단백질 지질산화가 일어나 관능 품질이 저하되는 경향을 보였다. 따라서 공기로 방전된 대기압 플라즈마 기술은 선식의 품질안전성을 개선할 수 있으나, 관능적 품질 특성 개선을 위한 후속연구가 필요하다고 판단된다.

References

1. Kim, J.H., Lee, Y.K., Yang, J.Y.: Analysis on hazard micro-

Table 5. Sensory attributes of *Sunsik* by atmospheric pressure plasma

Treatment time (min)	Color	Flavor	Taste	Overall	Off-odor
0	5.30 ± 1.16[a]	5.00 ± 0.47[ab]	5.10 ± 1.20[a]	5.00 ± 1.15[a]	1.10 ± 0.32[b]
5	4.70 ± 0.95[ab]	5.20 ± 1.14[a]	4.60 ± 0.97[ab]	5.00 ± 1.05[a]	1.30 ± 0.48[b]
10	4.50 ± 1.27[ab]	4.10 ± 0.99[bc]	3.90 ± 1.52[bc]	3.30 ± 0.95[b]	2.00 ± 1.05[ab]
20	4.00 ± 1.49[b]	3.90 ± 1.37[c]	3.40 ± 1.07[c]	3.50 ± 1.18[b]	2.30 ± 1.57[a]
SEM[1)]	0.551	0.468	0.541	0.486	0.442

[a-c]Different online letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).
[1)]Standard errors of the mean (n = 10).

organisms in raw materials and processing environment for Sunsik manufacture. *J. Fd. Hyg. Safety,* **26**, 410-416 (2011).
2. Kim, J.H., Park, P.S., Kim, J.K.: Manufacture of nutritionally balanced "Sunsik" for the moderns: Its quality characteristics. *Korean J. Food Preserv.,* **12**, 123-129 (2005).
3. Kim, J.H., Yang, J.Y.: Microbial and physicochemical characteristics on raw cereal for Sunsik by hot-air drying methods. *J. Fd Hyg. Safety,* **27**, 415-419 (2012).
4. Cho, Y.S., Jung, E.Y., Lee, M.K., Yang, C.Y., Shin, D.B.: Survival isolation and characterization of *Bacillus cereus* from Sunshik. *J. Fd. Hyg. Safety,* **23**, 343-347 (2008).
5. Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., Mullen, V.: Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochim. Acta B,* **57**, 609-658 (2002).
6. Kim, H.J., Yong, H.I., Park, S., Kim, K., Choe, W., Jo, C.: Microbial safety and quality attributes of milk following treatment with atmospheric pressure encapsulated dielectric barrier discharge plasma. *Food Control,* **47**, 451-456 (2015).
7. Youn, 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).
8. Ko, J., Ma, Y., Song, K.B.: Effect of electron beam irradiation on microbial qualities of whole black pepper powder and commercial *Sunsik*. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **37**, 308-312 (2005).
9. Oh, Y.J., Lee, H., Kim, J.E., Lee, S.H., Cho, H.Y., Min, S.C.: Cold plasma treatment application to improve microbiological safety of infant milk powder and onion powder. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **47**, 486-491 (2015).
10. Kim, B., Yun, H., Jung, S., Jung, Y., Jung, H., Choe, W., Jo, C.: Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas composition. *Food Microbiol.* **28**, 9-13 (2009).
11. Nimera, B.A.: Cold plasma decontamination of foods. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.,* **3**, 125-142 (2012).
12. Kim, H.J., Song, B.S., Kim, J.H., Choi, J., Lee, J., Jo, C., Byun, M.W.: Application of gamma irradiation for the microbiological safety of sliced cheddar cheese. *J. Radiat. Ind.,* **1**, 15-19 (2007).
13. Chen, X., Jo, C., Lee, J.I., Ahn, D.U.: Lipid oxidation, volatiles and color changes of irradiated pork patties as affected by antioxidant. *J. Food Sci.,* **64**, 16-19 (1999).
14. Park, J.N., Jung, K., Yoon, Y.M., Choi, S.J., Kim, J.H., Lee, J.W., Song, B.S.: Comparison of the effects of gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation to improve safety of black pepper powder. *Korean J. Food Preserv.*, **21**, 315-320 (2014).