pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 32, No. 1, pp. 64~69 (2017)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.1.64

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

양상추에 인위접종된 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium과 *Listeria monocytogenes*에 대한 저온 플라즈마와 UV-C의 살균 효과

성지영 · 박미정 · 권기현[1] · 오세욱*
국민대학교 자연과학대학 식품영양학과, [1]한국식품연구원

Combined Effect of Cold Plasma and UV-C Against *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on Fresh-cut Lettuce

Ji-Yeong Seong, Mi-Jung Park, Ki-Hyun Kwon[1], and Se-Wook Oh*
Department of Food and Nutrition, Kookmin University
[1]Korea Food Research Institute, Gyeonggi-do, Republic of Korea
(Received November 1, 2016/Revised November 5, 2016/Accepted November 8, 2016)

ABSTRACT - This study was conducted to investigate the effect of cold plasma combined with UV-C irradiation against *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on lettuce. *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, and *L. monocytogenes*, corresponding to approximately 5.82, 5.09, 5.65 log CFU/g, were inoculated on lettuce, respectively. Then, the lettuce was treated with cold plasma, UV-C and combination (cold plasma + UV-C), respectively. The treated lettuce was stored for 9 days at 4°C for microbiological analysis and sensory evaluation. Cold plasma reduced the populations of *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, and *L. monocytogenes* by 0.26, 0.65, and 0.93 log CFU/g, respectively. Each microorganism were reduced by 0.87, 0.88, and 1.14 log CFU/g after UV-C treatment. And, the combined treatment that was treated by cold plasma after UV-C treatment reduced the populations of inoculated microorganisms by 1.44, 2.70, 1.62 log CFU/g, respectively. The all treatment significantly ($p < 0.05$) reduced the populations of all inoculated bacteria compared to untreated lettuce. UV-C combined with cold plasma was the most effective for reducing the pathogenic bacteria on lettuce, by showing log-reductions of ≥ 2.0 log CFU/g. All treatment was not significantly different until 6 day storage compared to control group in terms of appearance, texture and overall acceptability. Therefore, the combined treatment will be an effective intervention method to control the bacteria on lettuce.

Key words : fresh-cut lettuce, cold plasma, UV-C irradiation, pathogens, reduction

건강하고 편리한 삶을 추구하는 소비자의 요구가 증가함에 따라 신선식품의 소비가 증가하고 있으며 이에 따라 신선식품 산업 역시 꾸준히 성장하고 있다[1,2]. 또한 신선식품은 미국에서 발생하는 식중독의 두 번째 다빈도 발생 식품이기 때문에 신선식품의 안전에 대한 우려도 역시 증가하고 있다[3].

미국 Centers for Disease Control and Prevention (CDC)는 양상추와 같은 신선식품에 의해 발병하는 식중독이 1998년부터 2008년 사이에 발생한 식중독 발생 건수 중 22%에 달한다고 보고하였다[4]. 이는 양상추를 포함한 채소가 수확, 가공, 유통 그리고 소비 과정에서 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes*와 같은 다양한 식중독 세균에 의해 오염될 수 있기 때문이다[5].

양상추를 포함한 신선편이 식품의 살균에는 차아염소산나트륨과 같은 염소계 소독제가 가장 널리 이용되고 있다[6,7]. 그러나 염소계 소독제는 유기 물질이 많을 때 활성이 저하된다고 알려져 있으며[8], 또한 trihalomethane와 같은 발암 물질을 생성할 수 있다고 알려져 있다[7,9]. 이에 대한 대안으로 다양한 비가열 살균 기술이 연구되고 있다. 그 중, 저온 플라즈마(Cold plasma)는 광자나 전자, 양이온과 음이온, free radical과 같은 활성종을 생성하여 세포의 세

*Correspondence to: Se-Wook Oh, Department of Food and Nutrition, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea
Tel: 82-2-910-5778, Fax: 82-2-910-5249
E-mail: swoh@kookmin.ac.kr

포막을 파괴하기 때문에 세균에 대한 살균효과를 나타낸다고 알려져 있으며 세균 포자, 곰팡이, 그리고 biofilm도 효과적으로 불활성화 시킨다고 알려져 있다[10-12].

또한 Ultraviolet-C (UV-C, wavelength of 220-300 nm)도 식중독 세균을 살균하는 효과적인 비가열 기술로 알려져 있다[13]. UV-C는 열 발생이 없어 식품의 품질에 영향을 주지 않으며, 설치가 용이하고 사용하기 쉬운 장점이 있다. 살균 기작으로는 DNA를 직접 파괴하거나 피리미딘 dimer를 형성하여 균을 사멸하는 것으로 알려져 있다[14]. UV-C를 신선 식품 살균에 활용한 다양한 논문이 보고되고 있다[13,15-17].

그러나 아직까지 비가열 살균기술인 저온 플라즈마와 UV-C를 병합하여 식중독 세균을 저해하였다는 연구는 보고된 바 없다. 본 연구에서는 저온 플라즈마와 UV-C를 단독이나 병행처리 하여 양상추에 인위 접종된 *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium과 *L. monocytogenes*에 대한 저감효과를 측정하였다.

Materials and Methods

사용 균주

E. coli O157:H7 (ATCC 43895, ATCC 35150, ATCC 43894), *S.* Typhimurium (ATCC 19585, ATCC 6994, ATCC 14028), *L. monocytogenes* (ATCC 7644, ATCC 19111, ATCC 19115)는 한국미생물 자원센터(Korean Collection for Type Cultures, KCTC) 에서 분양 받아 사용하였다. 모든 균주는 tryptic soy broth (Difco, Franklin Lakes, USA)를 사용하여 37°C에서 24시간 배양하였다. 이 후 4,000 × g로 4°C에서 20분간 원심분리 후, 0.85% saline (8.5 g/L sodium chloride; Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, Mo., USA)으로 세척한 후 각 식중독 세균의 세가지 균주를 혼합한 culture cocktail을 제조하여 접종하였다.

시료 준비 및 균 접종

실험에 사용된 양상추는 서울 소재 대형마트에서 실험에 사용하기 직전 구매하였다. 10 g의 양상추를 biosafety hood 안에서 멸균된 알루미늄 호일 위에 두고 100 μL의 각각의 식중독 세균을 피펫으로 샘플 전 부분에 골고루 접종하였다. 균이 접종된 양상추는 hood 안에서 1시간 동안 실온(22 ± 2°C)에서 자연 건조하여 균이 표면에 부착되게 하였다. *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*는 양상추에 초기 농도가 5.82, 5.09, 5.65 log CFU/g이 되게 각각 접종하였다.

저온 플라즈마 처리

본 실험에는 유전체 격벽 방전 방식을 사용하는 저온 플라즈마 장치(DBD, Water link, Korea)가 이용되었으며, 외부에서 타이머의 조절에 의한 임의 조절 방법을 사용하여 플라즈마 발생 정도를 조절하였다. 식중독 세균이 접종된 양상추를 저온 플라즈마 장치에 고르게 배치하였다. 양상추의 바로 아래에 플라즈마 발생기를 위치시켜 30분 동안 작동시킨 뒤 양상추를 회수하였다. 오존은 플라즈마 발생기를 이용하여, 시간 당 3.5 g으로 조절하여 사용하였다.

UV-C 처리

Biosafety hood 안에서 UV-C-emitting lamp (15W, G40T10, Sankyo, Japan)를 이용하여 254 nm 조건에서 30분 처리하였다. UV-C 조사선량은 200 μW/m^{2}이었다.

UV-C와 저온 플라즈마를 이용한 병행처리

접종한 양상추는 저온 플라즈마와 UV-C를 단독처리하였으며, 또한 UV-C를 처리한 후 저온 플라즈마를 병행처리하였다. 처리 후, 양상추를 멸균백(Whirl-pak, 19 × 30 cm; Nasco, Fort Atkinson, WI, USA)에 넣어 4°C에서 9일 간 보관하면서 실험에 사용하였다.

미생물 분석

각 처리 후, 10 g의 양상추에 90 mL의 멸균한 0.85% saline를 첨가하여 stomacher (Laboratory Blender Stomacher 400; Seward, MO, USA) 로 2분간 균질화하였다. 그 후, 0.85% saline로 십진 희석한 후, 균에 따른 각각의 선택배지에 도말하였다. *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium와 *L. monocytogenes*의 선택배지로 각각 Eosin methylene blue agar (EMB, Oxoid, Hampshire, UK), xylose-lysine-deoxycholate agar (XLD, Oxoid, Hampshire, UK)와 *Listeria* selective supplement (SR0206E, Oxoid, Hampshire, UK)를 첨가한 *Listeria* selective agar base (OAB, Oxoid, Hampshire, UK)를 사용하였으며, 도말 후 37°C에서 24-48 시간 배양하고 형성된 집락 수를 계수하였다.

관능 검사

패널 5명이 저온 플라즈마와 UV-C 처리에 따른 양상추의 관능적 특성을 평가하였다. 9점 척도법을 이용하여 외관, 질감, 전체적인 수용도 평가를 실시하였다. 관능검사 요원들은 각각의 시료를 항목에 따라 1점이 매우 좋지 않음, 9점이 매우 좋음으로 하여 검사를 실시하였다.

통계 처리

모든 실험은 3개의 sample을 3반복하였다. 미생물수의 평균은 log CFU/g 단위로 환산하였다. 실험결과는 SAS 프로그램(version 9.1, SAS Institute, NC, USA)의 ANOVA를 사용하여 통계 처리 하였으며, 5% 범위($p < 0.05$) 내에서 Duncan's multiple range test를 하여 통계적 유의성을 검증하였다.

Results and Discussion

양상추에 존재하는 식중독 세균에 대한 저온 플라즈마와 UV-C, 그리고 병행처리의 항균 효과를 Table 1에 나타내었다. *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*는 양상추에 초기 농도가 5.82, 5.09, 5.65 log CFU/g이 되게 각각 접종하였다.

저온 플라즈마와 UV-C 단독처리 및 병행처리 후에 양상추에 존재하는 *E. coli* O157:H7은 각각 0.26, 0.87, 1.44 log CFU/g 수준으로 저감되었다. 저온 플라즈마를 단독 처리한 양상추는 *E. coli* O157:H7 저감효과에서 유의적 차이가 없었지만, UV-C 단독처리와 저온 플라즈마와 UV-C 병행처리는 유의적 차이($p < 0.05$)가 있었으며 병행처리는 UV-C 단독처리보다 더 큰 유의적 차이($p < 0.05$)가 있는 것으로 나타났다. 보관기간 중 가장 마지막 날인 9일째에, 저온 플라즈마와 UV-C 단독처리 및 병행처리 후에 양상추에 존재하는 *E. coli* O157:H7은 각각 0.61, 0.89, 1.55 log CFU/g 수준으로 저감되었다.

양상추에 존재하는 *S.* Typhimurium는 저온 플라즈마와 UV-C 단독처리, 그리고 병행처리 후에 각각 4.44, 4.21, 2.39 log CFU/g로 측정되었으며, 이는 대조구에 비해 0.65, 0.88, 2.70 log CFU/g 수준으로 감소한 결과이었다. *E. coli* O157:H7와 동일한 경향으로 저온 플라즈마를 단독으로 처리한 처리구를 제외한 다른 처리구에서 유의적 차이($p < 0.05$)가 있는 것으로 나타났으며, 역시 병행처리에서 가장 큰 저감효과를 나타내었다.

*L. monocytogenes*도 저온 플라즈마와 UV-C를 병행처리한 처리구에서 유의적 차이($p < 0.05$)가 있게 저감되었다. 양상추에 존재하는 *L. monocytogenes*의 농도는 저온 플라즈마와 UV-C 병행처리 후에 0.93, 1.14, 1.62 log CFU/g 수준으로 저감 되었다.

보관 후 9일이 경과하였을 때 저온 플라즈마를 단독으로 처리한 양상추에 존재하는 *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*는 대조구에 비해 각각 0.61, 1.19, 0.57 log CFU/g 수준으로 저감되었다. UV를 단독으로 처리한 양상추에서 각각의 식중독 균은 0.89, 1.66, 1.56 log CFU/g 수준으로 감소하였다. 이에 비하여 저온 플라즈마와 UV-C를 병행처리한 양상추에 존재하는 식중독 균은 1.55, 2.39, 2.43 log CFU/g 수준으로 저감되어서 병행처리의 효과가 우수함을 알 수 있었다.

세 가지 균의 저감양상을 보면, 대체적으로 *S.* Typhimurium는 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*에 비하여 저온 플라즈마 처리에 민감한 것으로 나타났다. 또한, UV-C 처리 시에는 *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 순으로 높은 저해 효과가 있는 것으로 판단되었다. 한편, 저온 플라즈마와 UV-C를 병행처리 시에도 *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 순으로 저해 효과가 크게 나타났다. 이러한 결과는 저온 플라즈마와 UV-C 에 대한 민감도가 식중독 세균에 따라 다르기 때문인 것으로 생각되었다.

저온 플라즈마 처리와 UV-C 처리, 그리고 병행처리가 양상추의 품질에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 저온 플라즈마 처리와 UV-C 처리, 그리고 병행처리는 처리 후 1일이 경과했을 때부터 appearance score가 조금 하락하였으나, 대조구와 비교하였을 때 유의적 차이가 나타나지 않았다. 처리 후 9일이 경과하였을 때, 대조구에 비하여 UV-C 처리와 병행처리에서만 유의적($p < 0.05$) 차이가 존재하였다. 저온 플라즈마 처리와 병행처리 직후 texture score가 조금 하락하였다. 그러나, 대조구와 비교하였을 때 유의적 차이가 없었고, 처리 후 9일이 경과하였을 때 저온 플라즈마 처리와 병행처리에서 유의적($p < 0.05$) 차이가 존재하였다. 이때, texture score 하락은 병행처리가 저온 플라즈마 처리보다 유의적으로($p < 0.05$) 크게 발생하였다. 병행처리 후 9일이 경과 하였을 때, 대조구에 비하여 overall acceptability가 유의적인($p < 0.05$) 차이를 보였다. 평가한 모든 항목에서 관능적 품질이 모든 처리구에서 1-3일이 경과하였을 때 유의적으로($p < 0.05$) 하락하지만, 대조구와 비교하였을 때는 유의적 차이가 없는 것으로 판단되었다. 대조구에 비하여 저온 플라즈마 처리와 UV-C 처리, 그리고 병행처리는 보관 6일까지 양상추의 관능적인 품질이 잘 보존되는 것으로 나타났다.

다른 연구자들 역시, 식품에 존재하는 미생물을 저해하기 위한 처리로 저온 플라즈마와 UV-C를 사용하고 있다. 먼저, Lavelli[21]는 저온 플라즈마를 적색 치커리에 15분 처리했을 때, *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*는 각각 0.33 log CFU/cm^2, 1.35 MPN/cm^2 씩 저감되었다. 또한, 처리 직후, 적색 치커리 품질에는 유의적인 차이가 없었지만 하루 보관 후에 대조구에 비하여 차이가 나타났다고 하였다. 이 외에도, Lee[18] 등 은 현미에 존재하는 *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, 그리고 *E. coli* O157:H7를 저감하기 위하여 20분 동안 저온 플라즈마를 처리했을 때, 2.30 log CFU/g 정도 저감되었다고 하였다.

UV-C 처리로 Cheon[19] 등 은 고추 가루에 존재하는 *E. coli* O157:H7과 *S.* Typhimurium를 20.4 kJ/m^{2}세기로 처리했을 때, 0.22, 0.29 log CFU/g수준으로 저해되었으며 또한 *L**, *a**, *b** 값이 대조구에 비해 유의적인 차이가 나지 않았다고 하였다. Martínez-Hernández[16] 등 은 UV-C를 1.07, 0.05, 9.26 kJ/m^{2}의 세기로 *E. coli*, *S.* Enteritidis, 그리고 *L. monocytogenes*가 접종된 브로콜리에 처리했을 때, 식중독 세균이 1 log 씩 저해되었다고 보고하였다. 그리고 Lim과 Harrison [20]은 토마토 표면에 22.3 mJ/cm^2 세기의 UV-C를 30 초 처리했을 때, 토마토에 접종한 *Salmonella*의 개체수가 3.22 log 저해되어 대조구에 비해 유의적인 차이가 있었다고 하였다.

Table 1. Effect of cold plasma and UV-C against *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes* inoculated on lettuce during storage at 4°C for 9 days[a]

Pathogens	Treatment	Log CFU/g					
		0 day	0.5 day	1 day	3 day	6 day	9 day
E. coli O157:H7	Control	5.82 ± 0.15^{Aa}	5.82 ± 0.15^{Aa}	5.83 ± 0.13^{Aa}	5.81 ± 0.06^{Aa}	5.67 ± 0.14^{Aa}	5.66 ± 0.04^{Aa}
	plasma 30min	5.82 ± 0.15^{Aa}	5.57 ± 0.06^{Aa}	5.14 ± 0.18^{Bb}	5.06 ± 0.40^{Bb}	5.09 ± 0.36^{Bb}	5.05 ± 0.25^{Bb}
	UV 30min	5.82 ± 0.15^{Aa}	4.95 ± 0.15^{Bb}	4.65 ± 0.10^{Cb}	4.75 ± 0.60^{BCb}	4.68 ± 0.27^{Cb}	4.76 ± 0.32^{Bb}
	Plasma after UV[b]	5.82 ± 0.15^{Aa}	4.39 ± 0.35^{Cb}	4.25 ± 0.06^{Db}	4.25 ± 0.22^{Cb}	4.14 ± 0.10^{Db}	4.11 ± 0.31^{Cb}
S. Typhimurium	Control	5.09 ± 0.57^{Aa}	5.09 ± 0.57^{Aa}	5.26 ± 0.33^{Aa}	4.94 ± 0.09^{Aa}	4.57 ± 0.15^{Aa}	4.75 ± 0.20^{Aa}
	plasma 30min	5.09 ± 0.57^{Aa}	4.44 ± 0.14^{ABb}	4.02 ± 0.34^{Bbc}	4.06 ± 0.51^{Bbc}	3.64 ± 0.34^{Bc}	3.57 ± 0.37^{Bc}
	UV 30min	5.09 ± 0.57^{Aa}	4.21 ± 0.32^{Bb}	3.80 ± 0.25^{Bbc}	3.35 ± 0.07^{Bcd}	2.95 ± 0.21^{Ccd}	3.09 ± 0.12^{Bd}
	Plasma after UV	5.09 ± 0.57^{Aa}	2.39 ± 0.68^{Cb}	2.18 ± 0.64^{Cb}	2.28 ± 0.09^{Cb}	2.40 ± 0.24^{Db}	2.36 ± 0.09^{Cb}
L. monocytogenes	Control	5.65 ± 0.38^{Aa}	5.65 ± 0.38^{Aa}	5.45 ± 0.46^{Aa}	5.13 ± 0.37^{Aa}	5.13 ± 0.13^{Aa}	5.23 ± 0.13^{Aa}
	plasma 30min	5.65 ± 0.38^{Aa}	4.71 ± 0.41^{Bb}	4.74 ± 0.31^{Bb}	4.79 ± 0.13^{ABb}	4.69 ± 0.18^{Ab}	4.66 ± 0.17^{Bb}
	UV 30min	5.65 ± 0.38^{Aa}	4.51 ± 0.40^{BCb}	4.41 ± 0.18^{BCb}	4.36 ± 0.18^{BCb}	4.01 ± 0.35^{Bbc}	3.68 ± 0.16^{Cc}
	Plasma after UV	5.65 ± 0.38^{Aa}	4.03 ± 0.11^{Cb}	3.90 ± 0.27^{Cbc}	3.88 ± 0.15^{Cbc}	3.38 ± 0.22^{Cc}	2.81 ± 0.46^{Dd}

[a]Means ± standard deviation obtained in two experiments, one of two experiments in duplicated (n = 3).
[b]Treated with cold plasma for 30min after treating with UV-C for 30min.
Different capital letters indicate significant differences ($p < 0.05$) among treatments for each storage time; different lowercase letters indicate significant differences ($p < 0.05$) among storage times for each treatment.

Table 2. Sensory evaluation of lettuce untreated and treated with plasma and UV-C during storage at 4°C for 9 days[a]

Sensory characteristics	Treatment	Sensory evaluation of lettuce (9 scale)					
		0 day	0.5 day	1 day	3 day	6 day	9 day
Appearance	Control	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.60 ± 0.55^{Aab}	8.00 ± 0.71^{Abc}	7.80 ± 0.84^{Ac}
	plasma 30min	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.80 ± 0.45^{Aab}	8.20 ± 0.84^{Abc}	7.60 ± 0.89^{Ac}	7.80 ± 0.45^{Ac}
	UV 30min	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.80 ± 0.45^{Aa}	8.40 ± 0.55^{Aab}	8.00 ± 0.71^{Ab}	6.80 ± 0.45^{Bc}
	Plasma after UV[b]	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.60 ± 0.55^{Aab}	8.00 ± 0.71^{Abc}	7.60 ± 0.89^{Ac}	6.20 ± 0.45^{Bd}
Texture	Control	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.20 ± 0.84^{Ab}	7.80 ± 0.45^{Ab}	8.00 ± 0.71^{Ab}
	plasma 30min	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.80 ± 0.45^{Aa}	8.40 ± 0.55^{Aa}	7.40 ± 0.89^{Ab}	7.20 ± 0.84^{Ab}	6.80 ± 0.45^{Bb}
	UV 30min	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.80 ± 0.45^{Aa}	8.00 ± 0.71^{Ab}	7.80 ± 0.45^{Ab}	7.80 ± 0.45^{Ab}
	Plasma after UV	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.60 ± 0.55^{Aa}	8.40 ± 0.55^{Aa}	7.20 ± 0.84^{Ab}	7.00 ± 1.00^{Ab}	5.20 ± 0.84^{Cc}
Overall acceptability	Control	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.40 ± 0.55^{Ab}	7.80 ± 0.45^{Ac}	7.60 ± 0.55^{Ac}
	plasma 30min	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.60 ± 0.55^{Aa}	8.00 ± 0.00^{Ab}	7.60 ± 0.45^{Ab}	6.80 ± 0.45^{Ac}
	UV 30min	9.00 ± 0.00^{Aa}	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.80 ± 0.45^{Aab}	8.20 ± 0.45^{Abc}	7.80 ± 0.45^{Acd}	7.40 ± 0.89^{Ad}
	Plasma after UV	9.00 ± 0.00^{Aa}	8.80 ± 0.45^{Aa}	8.60 ± 0.55^{Aab}	8.00 ± 0.71^{Abc}	7.40 ± 0.55^{Ac}	5.00 ± 0.71^{Bd}

[a]Means ± standard deviation obtained in two experiments, one of two experiments in duplicated (n = 3).
[b]treated with cold plasma for 30min after treating with UV-C for 30min.
Different capital letters indicate significant differences ($p < 0.05$) among treatments for each storage time; different lowercase letters indicate significant differences ($p < 0.05$) among storage times for each treatment.

저온 플라즈마와 UV-C를 양상추에 존재하는 식중독균의 저해를 위해 사용한 본 실험의 식중독균 저해 정도와 관능 평가 결과는, 여러 앞선 연구와 비교했을 때 비슷하거나 더 높은 저해 효과를 나타냈다. 대부분의 신선식품에 식중독균이 최대 10^2 CFU/cm^2 이하로 존재하기 때문에[22], 최대 2.70 log CFU/g 미만의 저감화 효과가 나타난 본 실험의 연구 결과는 신선 식품에 존재하는 식중독균을 저해하는 방법으로서의 활용 가치가 높을 것이라 판단된다.

Conclusion

양상추에 인위적으로 접종된 *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium과 *L. monocytogenes* 에 대한 저온 플라즈마, UV-C 단독처리과 플라즈마와 UV-C의 병행처리 저해효과를 측정하였다. 저온 플라즈마와 UV-C를 병행처리 하였을 때, 양상추에 존재하는 식중독 세균을 저해하는 효과가 가장 크게 나타났다. 따라서 비가열살균 기술인 저온 플라즈마와 UV-C를 병행처리 하는 것은 식중독 세균의 저감기술로 활용될 수 있을 것으로 생각되었다.

Acknowledgments

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(grant No. 313032-03-3-HD020). 또한, 이 논문은 2015년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(다소비 횟감의 위생안전성 확보 및 소비촉진을 위한 식품 위해인자 검출기술 개발).

국문요약

본 연구에서는 양상추에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium과 *L. monocytogene*에 대하여 저온 플라즈마와 UV-C 단독처리 및 병행처리 효과를 측정하였다. *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*는 양상추에 초기 농도가 5.82, 5.09, 5.65 log CFU/g이 되도록 각각 접종하였다. 저온 플라즈마와 UV-C를 처리된 양상추는 4ºC에서 9일간 보관하며 미생물학적 분석과 관능평가를 실시하였다. 저온 플라즈마 처리는 *E. coli* O157:H7, *S.* Typhimurium, *L. monocytogenes*의 개체 수를 각각 0.26, 0.65, 0.93 log CFU/g 수준으로 감소시켰다. 또한, UV-C 처리 시 각각 0.87, 0.88, 1.14 log CFU/g 수준으로 감소되었다. 또한 UV-C 처리 후 저온 플라즈마를 처리한 병행처리에서는 각각 1.44, 2.70, 1.62 log CFU/g 수준으로 감소하였다. 저온 플라즈마와 UV-C 단독처리 보다는 병행처리가 좀 더 효과적으로 균을 저감하는 것으로 판단되었다. 관능평가 결과는 외관, 질감, 전체적인 수용도 면에서 대조구와 비교하였을 때, 보관 6일까지 유의적인 차이가 없었다. 따라서 저온 플라즈마와 UV-C 병행처리는 양상추에 존재하는 균을 저감하기 위한 효과적인 기술로 활용될 수 있을 것으로 생각되었다.

References

1. Dolan C, Humphrey J: Governance and trade in fresh vegetables: the impact of UK supermarkets on the African horticulture industry. *J. Dev. Stud.* **37**, 147-176 (2000).
2. Reardon T, Timmer CP, Barrett CB, Berdegué J: The rise of supermarkets in Africa, Asia, and Latin America. *Am. J. Agr. Econ.* **85**, 1140-1146 (2003).
3. Harris L, Farber J, Beuchat L, Parish M, Suslow T, et al.: Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. *Compr. Rev. Food. Sci. F.* **2**, 78-141 (2003).
4. CDC (Centers for Disease Control and Prevention): Available from: http://wwwn.cdc.gov/foodborneoutbreaks/Default.aspx. Accessed on Nov. **08**, 2013 (2013).
5. Sagong H-G, Lee S-Y, Chang P-S, Heu S, Ryu S, et al.: Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Int. J. Food Microbiol.* **145**, 287-292 (2011).
6. Zhang S, Farber J: The effects of various disinfectants against *Listeria monocytogenes* on fresh-cut vegetables. *Food Microbiol.* **13**, 311-321 (1996).
7. Beuchat L, Nail B, Adler B, Clavero M: Efficacy of spray application of chlorinated water in killing pathogenic bacteria on raw apples, tomatoes, and lettuce. *J. Food Protect.* **61**, 1305-1311 (1998).
8. Gelinas P, Goulet J: Neutralization of the activity of eight disinfectants by organic matter. *J. Appl. Bacteriol.* **54**, 243-247 (1983).
9. Kim J, Marshall MR, Du W-X, Otwell WS, Wei C-I: Determination of chlorate and chlorite and mutagenicity of seafood treated with aqueous chlorine dioxide. *J. Agr. Food Chem.* **47**, 3586-3591 (1999).
10. Feng H, Sun P, Chai Y, Tong G, Zhang J, et al.: The interaction of a direct-current cold atmospheric-pressure air plasma with bacteria. *IEEE T. Plasma Sci.* **37**, 121-127 (2009).
11. Bai N, Sun P, Zhou H, Wu H, Wang R, et al.: Inactivation of *Staphylococcus aureus* in water by a cold, He/O_2 atmospheric pressure plasma microjet. *Plasma Processes Polym.* **8**, 424-431 (2011).
12. Koban I, Matthes R, Hübner N-O, Welk A, Meisel P, et al.: Treatment of *Candida albicans* biofilms with low-temperature plasma induced by dielectric barrier discharge and atmospheric pressure plasma jet. *New J. Phys.* **12**, 073039 (2010).
13. Escalona VH, Aguayo E, Martínez-Hernández GB, Artés F: UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biol. Tec.*

56, 223-231 (2010).
14. Sizer C, Balasubramaniam V: New intervention processes for minimally processed juices. *Food Technol.* **53**, 64-67 (1999).
15. Park M-H, Kim J-G: Low-dose UV-C irradiation reduces the microbial population and preserves antioxidant levels in peeled garlic (*Allium sativum* L.) during storage. *Postharvest Biol. Tec.* **100**, 109-112 (2015).
16. Martínez-Hernández GB, Huertas J-P, Navarro-Rico J, Gómez PA, Artés F, et al.: Inactivation kinetics of foodborne pathogens by UV-C radiation and its subsequent growth in fresh-cut kailan-hybrid broccoli. *Food microbiol.* **46**, 263-271 (2015).
17. Allende A, McEvoy JL, Luo Y, Artes F, Wang CY: Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. *Food Microbiol.* **23**, 241-249 (2006).
18. Lee K-H, Kim H-J, Woo KS, Jo C, Kim J-K, et al.: Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT-Food Sci. Technol.* **73**, 442-447 (2016).
19. Cheon H-L, Shin J-Y, Park K-H, Chung M-S, Kang D-H: Inactivation of foodborne pathogens in powdered red pepper (*Capsicum annuum* L.) using combined UV-C irradiation and mild heat treatment. *Food Control* **50**, 441-445 (2015).
20. Lim W, Harrison MA: Effectiveness of UV light as a means to reduce *Salmonella* contamination on tomatoes and food contact surfaces. *Food Control* **66**, 166-173 (2016).
21. Lavelli, Vera: Antioxidant activity of minimally processed red chicory (*Cichorium intybus* L.) evaluated in xanthine oxidase-, myeloperoxidase-, and diaphorase-catalyzed reactions. *J. Agr. Food Chem.* 56.16: 7194-7200 (2008).
22. Pasquali, Frederique, et al.: Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus* L.). *Food Control* **60**, 552-559 (2016).