

Research Note

Ultraviolet-C와 플라즈마를 병합 처리하는 양산형 살균 시스템을 이용한 후춧가루 미생물 저해

방인희¹ · 이승영¹ · 한균식² · 민세철^{1*}

¹서울여자대학교 식품공학과, ²주경한

Microbial Decontamination of Black Pepper Powder Using a Commercial-scale Intervention System Combining Ultraviolet-C and Plasma Treatments

In Hee Bang¹, Seung Young Lee¹, Kyoon Sik Han², and Sea C. Min^{1*}

¹Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

²Kyunghan Co., Ltd.

Abstract

Effects of a commercial scale intervention system combining ultraviolet (UV)-C and plasma treatments on the microbial decontamination of black pepper powder were investigated. The process parameters include treatment time, time for plasma accumulation before treatment, and water activity of black pepper powder. A significant reduction in the number of indigenous aerobic mesophilic bacteria in black pepper powder was observed after treatments lasted for ≥ 20 min ($p < 0.05$) and the reduction was differed by powder manufacturer. The microbial reduction rates obtained by individual UV-C treatment, individual plasma treatment, and UV-C/plasma-combined treatment were 0.2, 0.5, and 1.0 log CFU/g, respectively, suggesting that the efficacy of the microbial inactivation was enhanced by treatment combination. Nonetheless, neither plasma accumulation time nor powder water activity affected the microbial inactivation efficacy of the combined treatment. The UV-C/plasma-combined treatment, however, decreased lightness of black pepper powder, and the decrease generally increased as operation time increased. The plasma accumulation time of 20 min resulted in significant reduction in both lightness and brown color. The results indicate that the commercial-scale intervention system combining treatments of UV-C and plasma has the potential to be applied in the food industry for decontaminating black pepper powder.

Key words: UV, plasma, black pepper, powder, scale-up

서 론

향신료는 식품의 풍미나 보존을 위해 세계적으로 사용되고 있으며 그 수요는 매해 증가하고 있다(Schweiggert et al., 2007; Zweifel & Stephan, 2012). 그중에서 후추는 인도, 베트남, 말레이시아 등에서 주로 생산되며(Ghodki & Goswami, 2017), 육류의 풍미 유지와 식품의 산화 방지를 위해 사용되는 향신료이다(Tipsrisukond et al., 1998; Gulcin, 2005). 후추는 건조 환경에서도 생존할 수 있는 미생물의 오염도가 높을 수 있다고 알려져 있는데(Banerjee & Sarkar, 2004; Hertwig et al., 2015) 실제로 국내 재래시

장에 유통되는 후추의 경우 높은 세균 오염도를 보였다(예, 7 log CFU/g) (Park et al., 2018). 향신료의 미생물 오염 제거 기술로 산화에틸렌을 이용한 훈증 처리와 방사선 조사가 있지만 훈증 처리의 경우, 산화에틸렌에 의해 2-클로로 에탄올 및 2-브로모 에탄올 등의 발암성 부산물을 생성할 수 있어 유럽연합에서는 사용이 금지되었으며(Schweiggert et al., 2007; Hertwig et al., 2015), 방사선 조사는 소비자의 수용도가 낮은 단점이 있어서(Noci et al., 2008; Hertwig et al., 2015) 향신료에 대한 새로운 미생물 저해 기술 개발이 요구되고 있다.

UV-C (250-260 nm)는 미생물의 DNA를 광화학적으로 산화시키고 피리미딘 이합체를 형성시킴으로써 DNA의 전사 및 세포 복제 기능을 차단해(Allende et al., 2006; Cheon et al., 2015) 식품의 표면 미생물을 저해한다(Bintsis et al., 2000; Fine & Gervais, 2004; Ha & Kang, 2013). 하지만 UV-C 처리가 식품에 오염된 미생물을 효과적으로 저해시키기 위해선 긴 시간 처리를 요구하며, 이는 식품의 지질

*Corresponding author: Sea C. Min, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, Seoul, 01797, Republic of Korea

Tel: +82-2-970-5635, Fax: 82-2-970-5977

E-mail: smin@swu.ac.kr

Received October 20, 2018; revised November 1, 2018; accepted November 1, 2018

산화 속도를 높이는 등 품질 변화를 초래할 수 있다 (Degala et al., 2018). 따라서 UV-C 처리를 다른 살균 기술과 병행한 허들 기술(hurdle technology)로 사용함으로써 처리 시간을 짧게 하면서도 미생물을 효율적으로 저해하는 기술 개발에 관심을 가질 수 있다.

플라즈마 처리는 자외선, 자유 전자, 양이온, 음이온, 자유 라디칼, 그리고 산소 또는 질소 활성종과 같은 화학적 활성종들로 구성된 플라즈마가 미생물 세포막의 지질과 단백질, 그리고 세포 내 DNA와 반응하여 미생물을 저해시키는 기술이다(Laroussi & Leipold, 2004; Kim et al., 2013; Kim et al., 2019). Kim et al. (2013)은 질소-산소 혼합 가스를 이용하여 900 W에서 20분 동안 마이크로웨이브 방식으로 후춧가루에 콜드 플라즈마 처리하였을 때, 후춧가루의 호기성 미생물을 검출 한계 이하($1.0 \log \text{CFU/g}$)로 낮추어 플라즈마 처리가 분말의 미생물 오염도를 저감화시키는데 효과적인 기술임을 보고하였다. 플라즈마는 다양한 방식으로 형성되는데 그중 대기압 플라즈마 제트는 진공, 코로나 방전 등의 방식보다 식품에 빠르고 균일하게 처리되기 때문에(Schutze et al., 1998) 상업화 적용 시 생산성을 높일 수 있다.

UV-C 또는 플라즈마 처리는 식품의 품질 손상을 최소화 하면서 식품의 미생물학적 안전성을 높이기 위해 연구되어 왔으나 이 두 가지 기술이 병합된 허들 기술을 분말 식품에 적용한 연구는 보고된 바 없다. 또한 양산형 규모의 플라즈마 장비를 이용하여 식품의 미생물을 저해한 연구가 보고된 적이 거의 없으며 더욱이 UV-C와 플라즈마가 병합된 양산 규모 장비를 이용하여 식품의 미생물을 저해한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구의 목적은 UV-C와 플라즈마를 병합 처리(UV-P 처리)하는 양산형 분말 식품

살균 장비를 이용하여 UV-P 처리 시 장비 작동 시간, 플라즈마 충전 시간, 그리고 후춧가루의 수분 활성도가 병합 처리의 후춧가루 토착 미생물 저해와 색도 변화에 미치는 영향을 연구하는 것이었다.

재료 및 방법

재료

본 연구에서 사용한 후춧가루(*Piper nigrum* Linn.)는 소연식품(Gimpo, Korea)과 조대당약국(Seoul, Korea)에서 구매하였고, 각각의 후춧가루를 '시료 A'와 '시료 B'로 명명하였다. UV-P 처리 시 UV-P 장비 작동 시간의 후춧가루 토착 미생물 저해와 색도에 대한 영향을 관찰하는 실험에서만 시료 A를 사용하였고, 그 외 실험에서는 시료 B를 사용하였다. 모든 후춧가루는 포장된 상태로 실온(23.0 ± 2.0 °C)에서 보관되었다.

UV-P 처리 시스템

본 연구에서 사용한 양산형 UV-P 처리 시스템(SWU-5; Seoul Women's University, Seoul, Korea)은 공기 압축기(SLPs-75E, Anest Iwata Corp., Tokyo, Japan), 공기 건조기(XD-20, GSA Co., Gwangju, Korea), 그리고 압축 공기 저장탱크(Cheil industrial Co., Hwaseong, Korea)로 이루어진 공압부, 시료 투입기(41 L, Duk Young Engineering, Seongnam, Korea, Fig. 1), UV-C 처리기(Fig. 1), 그리고 플라즈마 제트 처리기(FP Squared Co., Seoul, Korea, Fig. 1)로 이루어진 시료 처리부, 그리고 냉각기(HAC-25 A, Hwashin Tech Co., Daegu, Korea)와 냉각 자켓(Fig. 1)으로 이루어진 냉각부로 구성되었다. 공기 압축기, 공기 건조

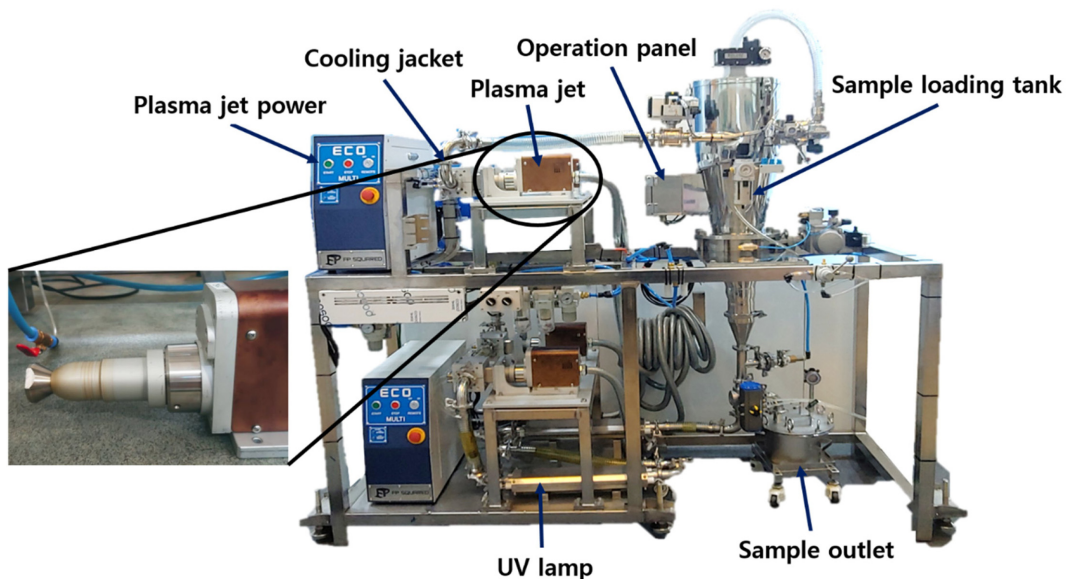


Fig. 1. Image of a commercial-scale intervention system combining treatments of ultraviolet-C and plasma.

기, 그리고 압축 공기 저장 탱크는 대기의 공기를 건조한 후 저장하는 장치로, 저장된 공기는 플라즈마를 형성시키고 기기 내부에서 시료를 순환시키기 위해 사용되었다. 본 장비에서 사용된 UV-C 처리기는 2개의 UV-C 램프 (GPH510T6L, 58 W)로 구성되어 기기의 하단부에 설치되었고, 대기압 방식의 플라즈마 제트 처리기는 4개의 회전형 처리 노즐로 구성되었으며 기기 하단부에서 UV-C 처리되어 이송된 시료를 연속적으로 플라즈마 제트 처리할 수 있게 설치되었다. 시료 주입기에 투입된 후춧가루는 840 L/분으로 이동하는 건조 공기에 날려 0.5 MPa의 압력으로 강제 이송되며, 시료 주입기 내 밸브는 8.5초에 한 번씩 열리게 하였다.

UV-P 처리

UV-P 처리 시 장비 작동 시간의 후춧가루 토착 미생물 저해와 색도에 대한 영향을 확인하기 위해 작동 시간을 10, 15, 20, 25 그리고 30분으로 달리하여 후춧가루를 처리하였다. UV-P 처리가 후춧가루의 미생물 저해에 있어 상승효과를 보이는지 확인하기 위해 후춧가루를 단독 UV-C, 단독 플라즈마, 그리고 UV-P 처리한 후 저해율을 확인하였다. UV-P 처리 전 플라즈마 충전 시간의 후춧가루 토착 미생물 저해와 색도에 대한 영향을 확인하기 위해 플라즈마 충전 시간을 0, 10 그리고 20분으로 달리하여(작동 시간: 20분) UV-P 처리하였다. UV-P 처리 시 수분 활성도 (a_w)에 따른 후춧가루의 토착 미생물 저해와 색도에 대한 영향을 확인하기 위해 a_w 를 조절하지 않은 후춧가루(a_w : 0.6)와 a_w 를 조절한 후춧가루(a_w : 0.8)를 UV-P 처리하였다. 이때 사용된 플라즈마 충전 시간과 UV-P 장비 작동 시간은 각각 10분과 20분이었다. 증류수로 채워진 데시케이터에 후춧가루를 3일간 저장하여 후춧가루의 a_w 를 0.8로 조절하였다. a_w 0.8은 후춧가루가 서로 뭉치지 않은 가장 높은 a_w 이었다.

미생물 분석

처리되지 않거나 단독 UV, 단독 플라즈마, 또는 UV-P 처리된 후춧가루 1g을 멸균 백(310 mL, Nasco Whirl-Pak®, Fort Atkinson, WI, USA)에 담은 후 멸균된 0.1% 펩톤 수(Difco™, Becton and Dickinson, Detroit, MI, USA)를 9 g 넣었다. 희석된 시료를 멸균된 0.1% 펩톤 수로 단계 희석하여 표준 한천배지(plate count agar, PCA, Difco™)에 평판도말하고 이를 37°C에서 48시간 동안 저장한 후 배지에 형성된 콜로니를 계수하여 중온 호기성 세균 수를 결정하였다.

색 측정

UV-P 처리 장비 작동 시간의 후춧가루 색에 대한 영향을 관찰하는 실험에서는 시료 A를 사용하였고, 플라즈마

충적 시간과 a_w 의 색에 대한 영향을 관찰하는 실험에서는 시료 B를 사용하였다. UV-P 처리되거나 되지 않은 5g의 시료를 채운 페트리 접시(diameter×height, 35×10 mm, SPL Life Science, Pocheon, Korea)를 백색 표준판(Illuminate C, 2° standard observer) 위에 올린 후 색도계(Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 후춧가루 색을 CIE L*a*b* 좌표로 측정하였다. 색상각(hue angle)은 \tan^{-1} (CIE b*/CIE a*)으로 계산하였다.

온도 측정

양산형 UV-P 처리 시스템의 내부 온도는 그래픽 기록계 (KR 2S00, Chino, Hwaseong, Korea)를 사용하여 측정하였고, UV-P 처리 전과 후 후춧가루의 표면 온도는 적외선 온도계(DT 44L, DIAS Infrared GmbH, Dresden, Germany)를 사용하여 측정하였다.

통계 분석

단독 UV, 단독 플라즈마, 그리고 UV-P 처리된 후춧가루의 토착 미생물 저해와 색도 측정 실험은 2회 반복되었고, 반복마다 미생물 분석과 색도 측정은 각각 2개와 4개의 시료를 이용하여 이루어졌다. 각 표본의 평균값에 대한 통계적 유의성 검정은 SPSS (Ver. 24, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용해 대응표본 *t*-test로 수행하였고, 유의차가 있는 경우 일원 배치 분산분석(one-way ANOVA) 후, Duncan 다중범위 검증(Duncan's multiple range test)으로 사후 분석을 하였다($\alpha=0.05$).

결과 및 고찰

토착 중온 호기성 세균 저해

초기 세균 오염도가 $7.7 \pm 0.1 \log$ CFU/g인 시료 A를 10, 15, 20, 25, 그리고 30분 동안 작동시켜 UV-P 처리하였을 때 시료 A의 토착 중온 호기성 세균은 각각 0.2 ± 0.1 , 0.1 ± 0.1 , 0.3 ± 0.1 , 0.4 ± 0.1 , 그리고 $0.3 \pm 0.1 \log$ CFU/g 저해되었으며, 이때 20, 25, 그리고 30분 처리는 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균을 유의적으로 저해시켰다($p < 0.05$). 이후 실험들은 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균을 유의적으로 높게 저해시킨 작동 시간 중 가장 짧은 시간인 20분으로 진행하였다.

초기 세균 오염도가 모두 $7.7 \pm 0.1 \log$ CFU/g인 시료 A와 시료 B를 UV-P 처리하였을 때 시료 A와 시료 B의 토착 중온 호기성 세균은 각각 0.3 ± 0.1 과 $1.0 \pm 0.1 \log$ CFU/g 저해되어 시료 B에서 미생물 저해가 더 효과적으로 일어났음을 알 수 있었다($p < 0.05$). 시료 A와 B의 후춧가루의 표면 특성이 유사하다고 가정하면 결과에서 보인 미생물 저해 차이는 시료 A와 B의 서로 다른 오염 미생물에 기인한다고 볼 수 있다.

단독 UV-C, 단독 플라즈마, 그리고 UV-P 처리는 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균을 0.2 ± 0.1 , 0.5 ± 0.1 , 그리고 1.0 ± 0.1 log CFU/g 저해시켰다. UV-P 처리에 의한 미생물 저해율이 단독 UV-C와 단독 플라즈마 처리에 의한 미생물 저해율의 합보다 컸으므로($p < 0.05$), UV-P 처리의 미생물 저해 상승효과를 확인할 수 있었다. 상승효과는 UV-P 처리 시 플라즈마 처리가 후춧가루 내 토착 미생물을 저해시킴과 동시에 UV-C 처리에 의해 손상된 미생물도 동시에 저해시켰기 때문에 보였을 것으로 사료된다.

UV-P 처리부 내부를 플라즈마에서 생성되는 활성종으로 채운 후 후춧가루를 처리하면 후춧가루가 더 많은 플라즈마 활성종과 반응하여 후춧가루 미생물을 더 효율적으로 저해시킬것이라고 가설을 세우고 충격 시간이 저해율에 미치는 영향을 연구하였다. 하지만 플라즈마 충격 시간이 0, 10, 그리고 20분이었을 때 UV-P 처리된 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균은 각각 1.0 ± 0.1 , 0.9 ± 0.1 , 그리고 0.8 ± 0.1 log CFU/g 저해되어 서로 간의 유의적 차이를 보이지 않아($p > 0.05$) 플라즈마 충격 시간이 토착 중온 호기성 세균 저해 효과에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다. 이는 플라즈마 내 대부분 활성종의 짧은 수명과(Gaunt et al., 2006) UV-P 처리부 내부 공기 순환에 의한 활성종의 외부 배출 때문으로 사료되었다.

UV-P 처리는 후춧가루의 a_w 가 0.6과 0.8일 때 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균을 각각 1.0 ± 0.1 과 0.9 ± 0.1 log CFU/g 저해시켰다 (초기 미생물 수: ~ 7.7 log CFU/g). 하지만 a_w 에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으므로($p > 0.05$) 본 연구에 적용된 a_w 증가는 UV-P 처리에 의한 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균 저해에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다. Lee et al. (2015)은 플라즈마를 이용해 건무화과에 오염된 *Escherichia coli* O157:H7과 *Listeria monocytogens*을 저해시켰을 때 건무화과의 a_w 가 0.9인 경우 0.7인 경우보다 각 미생물을 각각 0.8과 0.6 log CFU/g만큼 더 저해시켰다고 보고하였고 이는 a_w 가 낮을수록 미생물 세포가 수축되어 두꺼워진 세포막이 플라즈마 내 활성종을 세포로 이동할 수 없게 하기 때문이라고 설명하였다. 하지만 본 연구에서는 그러한 경향을 확인할 수 없었는데, 이는 a_w 0.8의 후춧가루가 UV-P 처리될 때 순환하는 건조 공기에 의해 후춧가루가 a_w 를 유지하지 못하고 감소하였기 때문으로 사료되었다. 실제 a_w 가 0.8이었던 후춧가루의 a_w 를 작동 후 측정해 보았을 때 그 값이 0.3이었고 그 값은 a_w 를 조절하지 않은 시료(a_w 0.6)의 작동 후 a_w 값과 같았다.

색도 변화

UV-P 처리된 후춧가루의 명도(L^*)는 UV-P 장비 작동 시간이 길어질수록 감소하는 경향을 보였다($p < 0.05$) (Table 1). UV-P 처리(30분) 중 UV-C 처리가 끝나는 처리부 안의

온도가 약 40°C 였고 플라즈마 처리가 끝나는 처리부 안의 온도는 약 84°C 였다. 실제 30분 작동 직후 회수된 후춧가루의 표면 온도는 $36.8 \pm 2.6^\circ\text{C}$ 로 처리 전($24.1 \pm 2.1^\circ\text{C}$)보다 약 13°C 높은 온도였다. 후춧가루와 같은 향신료는 고온에 의해 색 분해가 촉진되어 명도가 감소한다고 보고된 바 있다(Liu et al., 2013). 따라서 본 연구에서 보인 UV-P 처리 후 후춧가루 명도의 감소는 처리부 내의 온도 상승이 후춧가루의 색 분해를 가져왔기 때문으로 사료되었다. 색상각의 경우 장비 작동 시간에 상관없이 UV-P 처리된 후춧가루와 처리되지 않은 후춧가루는 유의적인 차이를 보이지 않았다($74.1\text{--}75.0$) (Table 1, $p > 0.05$). 색상각의 값이 45-75인 경우 색상각은 갈색 정도를 나타내며(Hanshim et al., 2016) 그 범위 내에서 높은 색상각은 연한 갈색을 나타내고 낮은 색상각은 진한 갈색을 나타낸다(Hanshim et al., 2016). 따라서 UV-P 처리 시 장비 작동 시간은 후춧가루의 갈색에 영향을 주지 않았음을 알 수 있었다.

UV-P 처리된 후춧가루는 플라즈마 충격 시간에 상관없이 처리되지 않은 후춧가루보다 낮은 명도와 높은 갈색도를 보였다(Table 2, $p < 0.05$). 색의 변화는 UV-P 장비 작동 시간의 색에 대한 영향을 설명할 때와 마찬가지로 UV-P 처리 시 처리부 내부의 높은 온도가 색 분해를 촉진했기 때문으로 설명할 수 있다. 또한 충격 시간이 20분이었을

Table 1. Effects of operation time of UV-C/plasma-combined treatment on the CIE L^* and Hue angle of the black pepper powder

Operation time (min) ¹⁾	CIE L^*	Hue angle
0	$51.4 \pm 1.0^{\text{a2)}$	$74.7 \pm 0.4^{\text{ab}}$
10	$48.9 \pm 0.6^{\text{b}}$	$75.0 \pm 0.6^{\text{a}}$
15	$48.0 \pm 0.7^{\text{b}}$	$74.5 \pm 0.9^{\text{ab}}$
20	$46.9 \pm 1.8^{\text{c}}$	$74.7 \pm 0.7^{\text{ab}}$
25	$46.3 \pm 0.5^{\text{cd}}$	$74.9 \pm 0.4^{\text{a}}$
30	$45.2 \pm 0.3^{\text{d}}$	$74.1 \pm 0.6^{\text{b}}$

¹⁾Sample A.

²⁾Values with different letters superscripts are significantly different each column at $p < 0.05$.

Table 2. Effects of the plasma accumulation time of UV-C/plasma-combined (UV-P) treatment on the CIE L^* and Hue angle of the black pepper powder

Sample ¹⁾	Plasma accumulation time (min)	Operation time (min)	CIE L^*	Hue angle
Untreated	NA ²⁾	NA	$48.6 \pm 1.5^{\text{a3)}$	$75.5 \pm 1.0^{\text{a}}$
UV-P-treated	0		$43.1 \pm 1.2^{\text{b}}$	$71.2 \pm 2.6^{\text{b}}$
	10	20	$45.5 \pm 1.5^{\text{b}}$	$71.1 \pm 1.4^{\text{b}}$
	20		$35.3 \pm 0.9^{\text{c}}$	$62.9 \pm 0.2^{\text{c}}$

¹⁾Sample B.

²⁾Not applicable.

³⁾Values with different letters superscripts are significantly different each column at $p < 0.05$.

Table 3. Effects of the water activity of black pepper powder on the CIE L* and Hue angle of the black pepper powder treated by UV-C/plasma-combined (UV-P) treatment

Water activity	Sample ¹⁾	CIE L*	Hue angle
0.6	Untreated	48.6±1.5 ^{ab}	75.5±1.0 ^a
	UV-P-treated ²⁾	45.5±0.5 ^b	71.1±1.4 ^b
0.8	Untreated	50.3±1.0 ^a	74.2±1.0 ^a
	UV-P-treated	45.2±0.2 ^b	69.0±0.2 ^b

¹⁾Sample B.

²⁾Operation time and plasma accumulation time were 20 and 10 min, respectively.

³⁾Values with different letters superscripts are significantly different each column in same water activity at $p < 0.05$.

때는 총적 시간 없이 처리되었을 때(0분)와 10분이었을 때 보다 후춧가루의 명도가 낮아지고 갈색도가 높아졌다 ($p < 0.05$). 이는 식품의 지방을 산화시킬 수 있는 플라즈마의 활성종이(Thirumdas et al., 2015, Yong et al., 2015) UV-P 내부 공기 순환에 의해 배출이 되었음에도 불구하고 남아 있는 활성종이 후춧가루가 함유하는 지방(약 5%) (Park et al., 1991)과 반응해 산화를 유도하였기 때문으로 사료되었다(Fine & Gervais, 2004). 하지만 앞서 기술한 바 처럼 총적 시간이 20분이었을 때 토착 중온 호기성 세균 저해에 있어서는 유의적인 차이를 보이지 않았는데 이는 아마도 20분 동안 내부에 총적된 활성종이 색을 변화시킬 정도는 되었으나 미생물을 저해시킬 정도는 안 되었음을 의미한다. 이와 더불어 이전 UV-P 장비 작동 시간의 색에 영향을 관찰하는 실험에선 같은 작동 시간(20분)으로 후춧가루를 UV-P 처리하였을 때 후춧가루의 갈색도가 영향을 받지 않았던 반면 본 실험에서는 갈색도가 증가하였다. 이는 UV-P 처리의 토착 중온 호기성 세균 저해 연구 결과에서 처럼 실험에 사용된 시료 차이에 기인한 것으로 보이며 UV-P 처리의 미생물 저해와 색에 대한 효과는 반드시 사용되는 시료에 따라 평가되어야 함을 시사한다. 또한 본 연구 결과는 후춧가루의 a_w 를 0.6에서 0.8로 높이는 것이 UV-P 처리에 의한 후춧가루의 색 변화에 영향을 주지 않음을 보여주었다(Table 3).

요 약

양산형 UV-P 처리는 장비를 20분 이상 작동하였을 때 후춧가루의 토착 중온 호기성 세균을 유의적으로 저해시켰다. UV-P 처리는 토착 미생물 저해에 있어 상승효과를 보여주었으나 후춧가루의 색을 어둡게 하였다. UV-P 처리의 후춧가루 미생물 저해 효과와 색 변화에 대한 영향은 처리되는 후춧가루를 오염시키는 미생물과 후춧가루 종류에 영향을 받음을 알 수 있었다. 또한 본 연구 결과는 UV-P 장비 내 플라즈마 총적 시간과 후춧가루의 a_w 상승이 UV-P

처리된 후춧가루의 미생물 저해 효과 향상과 색 유지에 효과적이지 않음을 알 수 있었다. 본 연구는 UV-C와 플라즈마 처리를 병합한 양산형 UV-P 처리가 후춧가루의 토착 미생물을 저해시키는 기술로서의 가능성을 보여주었다. 그러나 앞으로 추가적인 연구를 통해 UV-P 처리부의 온도 상승 및 후춧가루의 색도 변화를 최소화할 수 있는 방법이 제시되어야 할 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317030-03).

References

- Allende A, McEvoy JL, Luo Y, Artes F, Wang CY. 2006. 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.
- Banerjee M, Sarkar PK. 2004. Growth and enterotoxin production by sporeforming bacterial pathogens from spices. *Food Control.* 15: 491-496.
- Bintsis T, Litopoulou-Tzanetaki E, Robinson RK. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry—a critical review. *J. Sci. Food Agric.* 80: 637-645.
- Cheon HL, Shin JY, Park KH, Chung MS, Kang DH. 2015. 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.
- Degala HL, Mahapatra AK, Demirci A, Kannan G. 2018. Evaluation of non-thermal hurdle technology for ultraviolet-light to inactivate *Escherichia coli* K12 on goat meat surfaces. *Food Control.* 90: 113-120.
- Fine F, Gervais P. 2004. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *J. Food Prot.* 67: 787-792.
- Gaunt LF, Begga CB, Georghiou GE. 2006. Bactericidal action of the reactive species produced by gas-discharge nonthermal plasma at atmospheric pressure: a review. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 34: 1257-1269.
- Ghodki BM, Goswami TK. 2017. Thermal and mechanical properties of black pepper at different temperatures. *J. Food Process Eng.* 40: e12342.
- Gulcin I. 2005. The antioxidants and radical scavenging activities of black pepper (*Piper nigrum*) seeds. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 56: 491-499.
- Ha JW, Kang DH. 2013. Simultaneous near-infrared radiant heating and ultraviolet radiation for inactivating *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in powdered red pepper (*Capsicum annum* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 79: 6568-6575.
- Hashim IB, McWatters KH, Hung YC. 1999. Marination method and honey level affect physical and sensory characteristics of

- roasted chicken. *J. Food Sci.* 64: 163-166.
- Hertwig C, Reineke K, Ehlbeck J, Knorr D, Schlüter O. 2015. Decontamination of whole black pepper using different cold atmospheric pressure plasma applications. *Food Control.* 55: 221-229.
- Kim JE, Kim IH, Min SC. 2013. Microbial decontamination of vegetables and spices using cold plasma treatments. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 735-741.
- Kim SY, Bang IH, Min SC. 2019. Effects of packaging parameters on the inactivation of *Salmonella* contaminating mixed vegetables in plastic packages using atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment. *J. Food Eng.* 242: 55-67.
- Laroussi M, Leipold F. 2004. 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.
- Lee H, Kim JE, Chung MS, Min SC. 2015. Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. *Food Microbiol.* 51: 74-80.
- Liu H, Zeng F, Wang Q, Ou S, Tan L, Gu F. 2013. The effect of cryogenic grinding and hammer milling on the flavour quality of ground pepper (*Piper nigrum* L.). *Food Chem.* 141: 3402-3408.
- Noci F, Riener J, Walkling-Ribeiro M, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG. 2008. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *J. Food Eng.* 85: 141-146.
- Park JH, Lee GM, Kim JW, Lee GM, Shin JK. 2018. Sterilization effect on black-and white pepper by intense pulsed light with tubular-shaped treatment chamber. *Food Eng. Prog.* 22: 248-255.
- Park WK, Yoon J, Choi C. 1991. Studies on quality evaluation of pepper (*Piper nigrum* L.). *Korean J. Food Sci. Technol.* 23: 15-18.
- Schutze A, Jeong JY, Babayan SE, Park J, Selwyn GS, Hicks RF. 1998. The atmospheric-pressure plasma jet: a review and comparison to other plasma sources. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 26: 1685-1694.
- Schweiggert U, Carle R, Schieber A. 2007. Conventional and alternative processes for spice production—a review. *Trends Food Sci. Technol.* 18: 260-268.
- Tipsrisukond N, Fernando LN, Clarke AD. 1998. Antioxidant effects of essential oil and oleoresin of black pepper from supercritical carbon dioxide extractions in ground pork. *J. Agric. Food Chem.* 46: 4329-4333.
- Thirumdas R, Sarangapani C, Annapure US. 2015. Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing. *Food Biophys.* 10: 1-11.
- Yong HI, Kim HJ, Park S, Kim K, Choe W, Yoo SJ, Jo C. 2015. Pathogen inactivation and quality changes in sliced cheddar cheese treated using flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. *Food Res. Int.* 69: 57-63.
- Zweifel C, Stephan R. 2012. Spices and herbs as source of *Salmonella*-related foodborne diseases. *Food Res. Int.* 45: 765-769.