

유전체 방벽 방전 콜드 플라즈마 기술을 이용한 양파 분말 미생물 안전성 향상 및 품질 보존

원미연 · 최하영 · 이광식¹ · 민세철*
서울여자대학교 식품공학과, ¹(주)리노셈

Helium dielectric barrier discharge-cold plasma treatment for microbiological safety and preservation of onion powder

Mee Yeon Won, Ha Young Choi, Kwang Sik Lee¹, and Sea Cheol Min*

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

¹Renosem Co., Ltd.

Abstract Efficacy of dielectric barrier discharge-cold plasma treatment (DBD-CPT) for microbial decontamination of onion powder was evaluated. Onion powder, inoculated with *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Enteritidis, or *Listeria monocytogenes*, was treated with helium DBD-CPT. DBD-CPT (9 kV, 20 min) inhibited *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, and *L. monocytogenes* by 1.4±0.5, 2.3±0.3, and 1.2±0.0 log CFU/cm², respectively. The inactivation levels of *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis* and *L. monocytogenes* increased by 2.2±0.1, 2.5±0.1 and 1.9±0.3 log CFU/cm², respectively, as water activity increased from 0.4 to 0.8, and increased by 2.3±0.4, 2.1±0.1 and 1.6±0.1 log CFU/cm², respectively, as the particle size increased from 0.3 to 1.0 cm². Neither the ascorbic acid and quercetin concentrations nor the color of onion powder was changed by DBD-CPT (*p*>0.05). These results demonstrate the potential for application of DBD-CPT in improving microbiological safety of onion powder while preserving the physicochemical properties.

Keywords: cold plasma, onion powder, foodborne pathogen, nonthermal treatment, food safety

서 론

양파(*Allium cepa* L.)는 우리나라의 대표적인 향신료이자 식품의 조리 및 가공 중 중요한 소재이다(1). 양파는 유향, 폐놀성 및 셀레늄 화합물 등이 함유되어 있어 산화방지 작용(2,3), 항암 효과(3) 등의 생리 활성 기능을 가지고 있다고 알려져 있다. 건조된 양파는 주로 양파 칩과 양파 분말 형태로 가공되어 전 세계적으로 소스류와 건조 수프로 소비된다(4).

하지만 분말 식품은 주로 가공 공정 중에 사용되는 장비, 작업자, 그리고 작업 환경으로부터, 혹은 포장, 저장, 그리고 유통 과정 중에 미생물에 오염될 가능성이 있으며(5), 양파 분말의 경우 *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* 그리고 독성 곰팡이가 검출되고 있다(6,7). 분말 식품의 살균을 위하여 초고온 증기(8), 고주파 가열법(9), 자외선 조사(10), 그리고 방사선 조사(11), 화학물질 처리(10) 등이 개발되어 왔다. 그중 초고온 증기 살균법과 같은 가열 살균 기술은 식품의 영양 성분을 파괴하고 조직감 및 색의 변화 그리고 향미 성분 손실 등

의 식품의 품질을 저하시키는 문제가 있고(12), 증기를 사용하여 식품을 처리하기 때문에 식품의 수분함량이 증가하여 품질과 저장성이 저하될 가능성도 있다(13). 자외선 조사는 자외선이 식품 내부까지 침투가 어렵고, 플라스틱 재질에 흡수될 가능성이 있어(14,15), 살균 효과가 떨어질 수 있다. 또한, 식품 보존제 첨가와 같은 화학적 방법은 처리 후에 독성 물질이 잔존 할 가능성이 높기 때문에(16) 일부 국가들에서는 선호되지 않고 있다(17).

따라서 양파 분말에 대한 기존의 살균 기술을 대체 할 새로운 살균 기술 개발이 요구되고 있다. 그중 콜드 플라즈마는 식품 과학 분야에서 비가열 살균 기술로서 전 세계적으로 활발히 연구가 진행되고 있다(16). 콜드 플라즈마 내부에는 오존, 전자, 자유라디칼, 양이온과 음이온, 그리고 자외선 광자 등이 포함되어 있고 이러한 화학적 활성종 집합체는 미생물의 세포막 및 세포 내 구성 성분을 손상시키며, 궁극적으로는 미생물 사멸에 영향을 준다(18). 일반적으로 플라즈마 형성 방식에는 펄스 코로나 방전(corona discharge)과 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge, DBD), 마이크로웨이브 방전(microwave discharge), 아크방전(arc discharge) 등의 기술이 있다(19). Kim 등(18)은 헬륨(He)을 플라즈마 형성 가스로 이용한 마이크로웨이브 방전 콜드 플라즈마 처리를 이용하여 고춧가루에 접종된 *Aspergillus flavus*를 2.5 log 포자/g 정도 억제하였다고 보고하였고, Oh 등(20)은 He-산소(O₂) 혼합가스(99.8:0.2)를 사용하는 마이크로웨이브 방전 콜드 플라즈마 처리로 분유에 접종된 *Cronobacter sakazakii*를 약 90% 억제시켰다고 보고한 바 있다. 이를 통해 마이크로웨이브 방전 콜드 플라즈마가 분말 식품 살균에 적용될 수 있는 가능성이 확인되었다.

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

Tel: +82-2-970-5635

Fax: +82-2-970-5977

E-mail: smin@swu.ac.kr

Received July 23, 2016; revised August 4, 2016;

accepted August 5, 2016

또한 DBD 방식을 이용한 쿨드 플라즈마 처리 기술은 토마토(21), 딸기(22), 치즈(23) 등 다양한 식품의 식중독균 억제에 적용된 바 있고, 식품 포장 소재의 기능성을 향상시키기 위한 처리 기술로도 활용된 바 있다(24). 하지만 DBD 방식의 쿨드 플라즈마 처리를 이용한 분말 식품 살균과 관련된 연구 결과는 아직 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 DBD 방식의 쿨드 플라즈마 기술을 이용하여 양파 분말에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, 그리고 *L. monocytogenes*를 억제시키고 쿨드 플라즈마 처리에 따른 양파 분말의 비타민 C, 퀴세틴 함량, 그리고 색도 등의 이화학적 특성을 분석함으로써 DBD 쿨드 플라즈마 처리의 분말 살균 방법으로서의 가능성을 연구하였다.

재료 및 방법

시료 준비

본 실험에 사용된 양파 분말은 시중 마트에서 구매한 양파 (*Allium cepa* L.)를 탈피한 후 12×12 cm 크기로 절단하고 5 kPa, 63°C에서 8-10시간 동안 진공 건조(Fisher Isotemp Vacuum Oven Model 281, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA)시켜 준비하였다. 건조된 양파(수분 함량: 40±2%)를 편칭기(5 mm, Francheville Co. Ltd., Preston, Victoria, Australia)를 이용하여 사각 형태, 0.5×0.5 cm (0.3 cm²), 0.8×0.8 cm (0.6 cm²), 또는 1.0×1.0 cm (1.0 cm²) 크기로 분말화하였다. 건조된 양파의 수분 함량은 수분 함량 측정기(i-Thermo 163 L, Bel Engineering Srl., Milan, Italy)를 이용해 측정하였다.

유전체 장벽 방전 쿨드 플라즈마 처리 시스템(SWU-3)

DBD 쿨드 플라즈마 처리를 위한 시스템은 SWU-3 (Seoul Women's University, Seoul, Korea)를 이용하였다. SWU-3는 전극이 부착된 반응기(reactor), 전원 공급기, 유속 조절 장치(Kro-4000, Seahwa Co. Ltd., Bucheon, Korea), 그리고 공압용 피스톤 타입의 진동기(Sevita-1500, Daekyung Unit Co. Ltd., Incheon, Korea)로 구성되었다(Fig. 1). 지름 13.5 mm, 길이 410 mm의 원기둥 형태인 파이렉스 유리튜브(Pyrex glass tube) 반응기 외부에 얇은 구리 동판을 감싸 전극을 구성하였고 각 전극 간의 간격은 15 mm이었다. 쿨드 플라즈마 형성 가스로 고순도 He이 사용되었고 가스 흐름 속도는 25 L/min이었다. 양파 분말이 반응기 내부에서 플라즈마에 효과적으로 노출되도록 초당 10회 상하운동을 하는 진동기(Sevita-1500, Daekyung Unit Co. Ltd.)를 이용하여 양파 분말을 부유시켰다. 본 연구에서 사용된 처리 전압은 25 kHz에서 7, 8, 9, 그리고 10 kV였고, 처리 시간은 5, 10, 12, 15, 그리고 20분이었다.

접종원 준비 및 접종

E. coli O157:H7 (ATCC 43890), *L. monocytogenes* (KCTC 3569)는 서울대학교 농업생명공학부 연구실(Agricultural Biotechnology Culture Collection, Seoul, Korea)로부터 제공받았고, *S. Enteritidis* (CCARM 8040)는 서울여자대학교 항생제 내성 균주 은행(Culture Collection of Antimicrobial Resistant Microbes, Seoul, Korea)으로부터 받았다. *E. coli* O157:H7 (ATCC 43890), *S. Enteritidis* (CCARM 8040), *L. monocytogenes* (KCTC 3569) stock을 tryptic soy agar (TSA, Difco, Sparks, MD, USA)와 tryptic soy broth

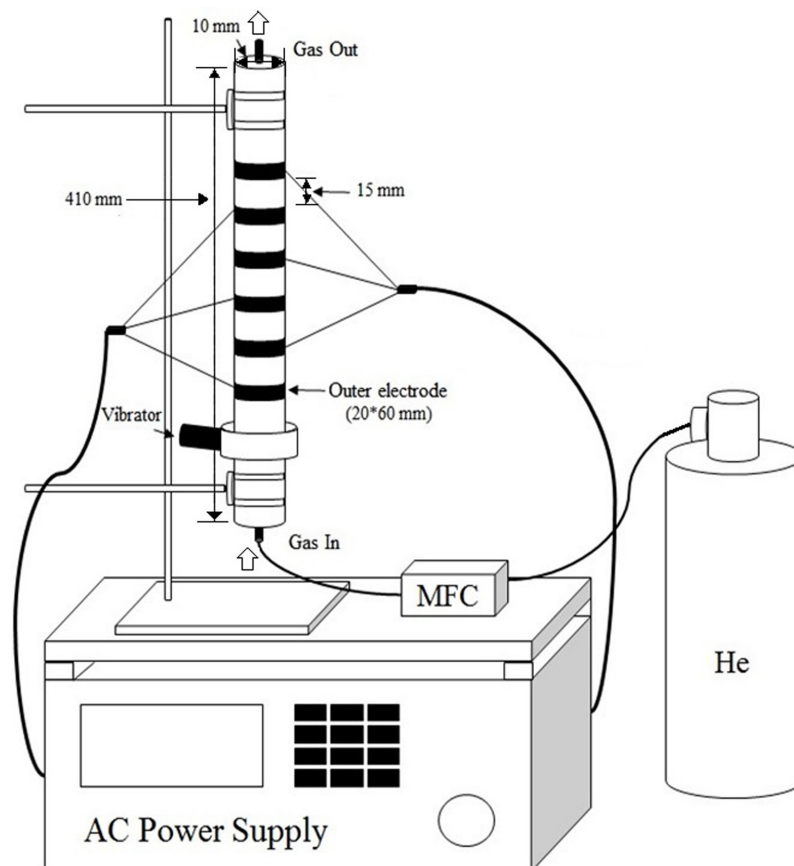


Fig. 1. Schematic diagram of the cold plasma treatment system.

(TSB, Difco)를 이용하여 3회 계대 배양시키고, 활성화된 균이 자란 TSB를 일정량 취하여 원심분리기(Gyrosin, Gyrozen Co. Ltd., Seoul, Korea)로 원심분리(4,000×g, 15분, 22°C)한 후 0.1% 펩톤수(pepton water)로 세척하였다. 최종적으로 얻어진 *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, 그리고 *L. monocytogenes*의 현탁액(약 10^9 log CFU/mL)을 0.1% 펩톤수로 희석하여 최종 접종원 농도를 약 10^7 log CFU/mL로 맞춰주었다. 접종전 양과 분말 시료는 자외선에 노출(320 W, 20분)시켰다. 살균된 양과 분말은 접종원에 1분간 침지접종 한 후 클린 벤치(Hb-402, Hanbaek Co. Ltd., Bucheon, Korea) 내에서 60분간 건조시켜 준비하였다.

미생물 억제 효과

콜드 플라즈마 처리된 분말 또는 처리되지 않은 양과 분말 10개(총 ~0.2 g)를 14 mL 시험관(SPL life science, Pocheon, Korea)에 넣고 2 mL의 0.1% 펩톤수를 부은 후 볼텍스믹서(voltex mixer)(Genie 2, Scientific Industries, Inc., Bohemia, NY, USA)로 3분간 혼합하였다. 혼합된 시료는 단계별 희석 후 고체배지에 도말하였다. MacConkey agar (Difco)와 xylose deoxycholate agar (XLD, Difco)는 각각 *E. coli* O157:H7와 *S. Enteritidis*를 선택적으로 검출하기 위해 사용하였고, TSA는 *L. monocytogenes*를 검출하기 위해 사용하였다. 배지는 모두 37°C에서 24-36시간 동안 배양하였다.

양과 분말의 수분활성도 및 크기에 따른 미생물 억제 효과

양과 분말의 수분활성도 대비 콜드 플라즈마 처리에 따른 식중독균 억제 효과를 측정하기 위해 약 0.4의 수분활성도를 갖는 양과 분말을 아질산 나트륨 포화용액과 황산 암모늄 포화용액이 각각 담긴 데시케이터 안에 3일 동안 보관하여 양과 분말의 수분활성도를 각각 0.6과 0.8로 맞추었다(25). 또한, 양과 분말의 크기에 따른 콜드 플라즈마 처리의 식중독균 억제 효과를 연구하기 위하여 멸균된 칼로 양과 시료의 상부 표면적을 0.3, 0.6, 그리고 1.0 cm^2 크기로 준비하였다. 처리되는 시료의 전체 상부 표면적을 1.0 cm^2 로 맞추기 위해 0.3, 0.6, 그리고 1.0 cm^2 크기의 양과 분말을 각각 4, 2, 그리고 1개씩 반응기에 넣고 처리하였다. 콜드 플라즈마 처리 전압은 9 kV, 처리 시간은 20분으로 설정하였다.

콜드 플라즈마 처리 동안의 온도 변화

콜드 플라즈마 처리 전후의 양과 분말 표면의 온도를 IR 온도계(DT 44L, Dias Infrared GmbH, Dresden, Germany)을 이용하여 측정하였다.

비타민 C 함량

양과 분말의 비타민 C 함량을 측정하기 위하여 양과 분말(0.3 g)에 100% 메탄올(3 mL)을 첨가한 후 900 rpm으로 30분간 반응시켜 추출물을 얻었다(26). 양과 분말 추출물을 20분 동안 초음파 분쇄한 후 $1,006\times\text{g}$ 에서 20분간 원심분리하였다. 이후 상층액을 취해 $0.45\ \mu\text{m}$ 주사기 필터(6750-2504, Whatman Inc., Piscataway, NJ, USA)로 여과하였으며, 이를 통해 얻은 시료는 고속액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography, HPLC, LC-10ATvp, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 분석하였다(26). 검출기 파장은 $254\ \text{nm}$ 이었고, 사용한 컬럼은 Symmetry® C18 ($5\ \mu\text{m}$, $4.6\times 250\ \text{mm}$ I.D., Waters Co., Milford, MA, USA)이었다. 이동상은 100% 메탄올이었고, 이동상의 유속, 컬럼 온도, 그리고 주입 시료 양은 각각 $1.0\ \text{mL/min}$, $23\pm 2^\circ\text{C}$, 그리고 $20\ \mu\text{L}$ 였다. 비타민

C 표준물질은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구매하였다.

퀴세틴 함량

양과 분말의 퀴세틴 함량(mg/100 g)은 Hamazu 등(27)의 방법을 이용하여 HPLC로 측정하였다. 양과 분말 시료(1 g)에 증류수(30 mL)를 첨가한 후 100°C 에서 30분간 반응시켜 얻어진 추출물을 초음파 발생기를 이용하여 10분간 처리하고, 이후 원심분리($252\times\text{g}$, 20분)하여 상층액을 취하였다. 총 3회의 추출 과정을 통해 얻은 상층액은 회전 진공 농축기로 40°C 에서 농축시켰고 증류수를 이용하여 최종 부피가 15 mL이 되도록 희석하였다. 희석된 상층액을 주사기 필터(6750-2504, Whatman Inc.)로 여과하여 분석시료로 준비하였다. HPLC 분석의 이동상으로는 0.1% (v/v) 트라이플루오로아세트산(trifluoroacetic acid)가 들어있는 아세토나이트릴(acetonitrile) 용액을 사용하였고, 이동상 유속은 $1.0\ \text{mL/min}$ 이었다. 이동상에 분석 시료 $20\ \mu\text{L}$ 를 주입하여 350 nm의 파장에서 분석하였다. 퀴세틴 측정에 사용된 컬럼은 Symmetry® C18 ($5\ \mu\text{m}$, $4.6\times 250\ \text{mm}$)이었고, 컬럼 오븐의 온도는 $40\pm 2^\circ\text{C}$ 이었다.

색도 측정

콜드 플라즈마 처리 전후의 양과 분말의 색도는 색차계(Minolta Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan)를 이용하여 CIE Lab 명도(L^*), 적색도(a^*), 그리고 황색도(b^*) 값으로 측정되었다. 콜드 플라즈마 처리 전후의 양과 분말은 백색 표준판(Illuminate C, 2° standard observer) 위에 놓고 각각 5회씩 측정하였다.

통계 처리

콜드 플라즈마 처리에 따른 식중독균 억제 효과 분석 실험은 3회 반복되었고, 콜드 플라즈마 처리에 따른 양과 분말의 비타민 C, 퀴세틴 함량, 그리고 색도 등의 이화학적 특성 분석 실험은 2회 반복되었다. 매 회 미생물 억제 실험과 이화학적 특성 실험에서는 처리 군마다 3개와 2개 이상의 시료가 사용되었다. 각 실험을 통해 얻은 데이터들은 PASW Statistics 18 (IBM Co., Ver. 18.0.0, Armonk, NY, USA)를 이용하여 일원 분산분석(one-way Analysis of variance)되었다. 유의차가 있는 경우 던칸(Duncan)의 다범위검증(multiple range test)을 하였고, 유의차는 5% 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

콜드 플라즈마에 의한 식중독균 억제 효과

플라즈마 형성 전압에 따른 양과 분말에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, 그리고 *L. monocytogenes* 억제 효과를 알아보기 위해 7, 8, 9, 그리고 10 kV 전압에서 10분간 콜드 플라즈마 처리하였다(Fig. 2). 처리 전압이 7, 8, 9, 그리고 10 kV였을 때 양과 분말의 *E. coli* O157:H7 수는 7.3 ± 0.1 log CFU/cm²에서 각각 1.0 ± 0.4 , 0.8 ± 0.3 , 0.9 ± 0.1 , 그리고 1.4 ± 0.5 log CFU/cm²만큼 감소되었다. 모든 처리 전압에서 *E. coli* O157:H7은 유의적으로 억제되었으나($p<0.05$), 콜드 플라즈마 전압과 *E. coli* O157:H7 억제 간의 뚜렷한 비례관계는 보이지 않았다.

S. Enteritidis (초기 수: 5.1 ± 0.4 log CFU/cm²)의 경우에는 처리 전압이 7, 8, 9, 그리고 10 kV로 증가했을 때 그 수가 각각 0.7 ± 0.4 , 1.1 ± 0.2 , 1.2 ± 0.3 , 그리고 1.4 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 감소하여($p<0.05$) 전압 증가에 따른 억제 증가의 경향이 나타났다.

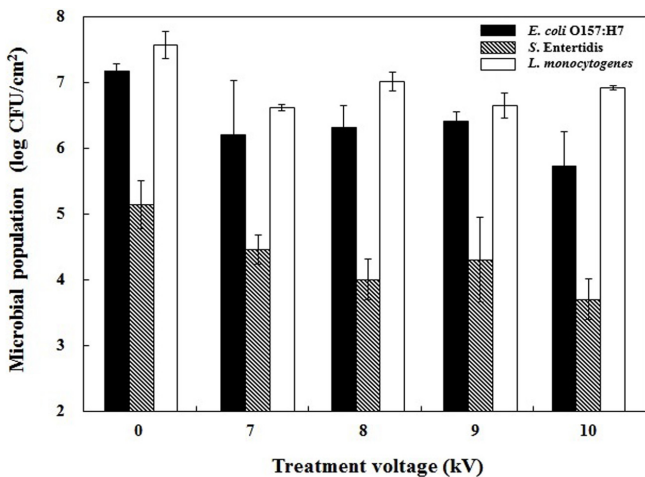


Fig. 2. Effects of treatment voltage on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment for 10 min.

양파 분말에 접종된 *L. monocytogenes*은 7, 8, 9, 그리고 10 kV 전압의 쿨드 플라즈마 처리에 의하여 0.9±0.0, 0.5±0.1, 0.9±0.3, 그리고 0.6±0.3 log CFU/cm²만큼 억제되어($p < 0.05$), 모든 처리 전압에서 1 log CFU/cm² 미만의 억제 효과를 보였다(초기 농도: 7.4±0.2 log CFU/cm²). Yong 등(23)의 연구에서도 DBD 방식 쿨드 플라즈마 시스템을 이용한 공기 플라즈마 처리(250 W, 15 kHz)가 평판 배지에 접종된 7-8 log CFU/mL의 *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, 그리고 *L. monocytogenes*를 억제시켰고, 각각을 사멸시키는데 90초, 60초, 그리고 10분이 소요되어 *L. monocytogenes*이 상대적으로 다른 미생물보다 쿨드 플라즈마 처리에 대해 저항성이 높다고 보고하였다. 이것은 *L. monocytogenes*의 세포벽이 플라즈마 내 다양한 활성종들의 세포 내부로의 확산을 상대적으로 어렵게 만드는 특성을 가지고 있기 때문으로 설명된다(28,29).

플라즈마 처리 시간에 따른 양파 분말에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, 그리고 *L. monocytogenes* 억제 효과를 알아보기 위해 5, 10, 15, 그리고 20분간 쿨드 플라즈마 처리하였다(Fig. 3). *E. coli* O157:H7가 접종된 양파 분말을 5, 10, 15, 그리고 20분간 처리하였을 때 각각 0.4±0.1, 0.8±0.3, 0.9±0.1, 그리고 1.4±0.5 log CFU/cm²만큼 억제되었고, 15분 이상 처리에서 유의적으로 억제가 이루어졌다($p < 0.05$). *S. Enteritidis*의 경우에는 처리 시간이 5, 10, 15, 그리고 20분이었을 때 각각 0.2±0.2, 0.9±0.6, 1.6±0.3, 그리고 2.3±0.3 log CFU/cm²의 저해율을 보였고, 10분 이상의 처리를 통해 유의적인 억제 효과를 얻을 수 있었다($p < 0.05$). *L. monocytogenes*의 경우에는 5, 10, 15, 그리고 20분 처리를 통해 각각 0.0±0.2, 0.9±0.2, 0.9±0.2, 그리고 1.2±0.0 log CFU/cm²의 억제 효과를 보였고, 20분 처리에서만 유의적인 억제를 확인할 수 있었다($p < 0.05$). 플라즈마 처리 시간이 길 때 더 높은 억제 효과를 볼 수 있었는데 이는 처리 시간이 길 때 그만큼 미생물이 플라즈마 내 활성종들에 노출되는 시간이 길기 때문으로 판단된다(20,28). 또한, 처리 전압을 변수로 한 실험결과에서도 확인된 바와 같이 *L. monocytogenes*가 쿨드 플라즈마 처리에 상대적으로 덜 민감한 것을 알 수 있었다.

쿨드 플라즈마 처리 후의 양파 분말 표면의 온도는 최대 37.5°C (초기 양파 분말의 표면 온도: 25.0°C)로 미생물 억제는 열처리에

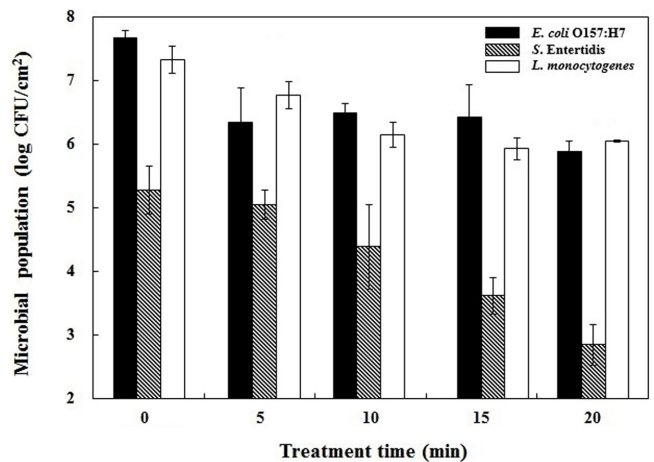


Fig. 3. Effects of treatment time on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment at 9 kV.

의한 것이 아닌(30), 비가열 플라즈마에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

양파 분말의 수분활성도 및 크기에 따른 식중독균 억제 효과

양파 분말의 수분활성도에 따른 미생물 억제에 대한 영향을 Fig. 4에 나타내었다. 양파 분말의 수분활성도가 0.4, 0.6, 그리고 0.8이었을 때, *E. coli* O157:H7의 저해율은 각각 1.4±0.2, 1.7±0.3, 그리고 2.2±0.1 log CFU/cm²이었고($p < 0.05$), *S. Enteritidis*의 저해율은 2.2±0.1, 2.6±0.3, 그리고 2.5±0.1 log CFU/cm²이었다($p < 0.05$). 또한, *L. monocytogenes*도 수분활성도가 0.4에서 0.6, 그리고 0.8로 증가했을 때 0.7±0.2에서 1.5±0.6, 그리고 1.9±0.3 log CFU/cm²의 저해율을 보여 양파 분말의 수분활성도 증가가 미생물 억제 향상에 도움이 되는 것을 알 수 있었다. 쿨드 플라즈마 처리에 의한 미생물 억제 정도는 식품 시료의 수분활성도, pH, 구성 성분(예, 지방 함량), 그리고 표면 구조 등에 영향을 받는다(29). 미생물 세포벽은 수분활성도가 0.2-0.6으로 낮을 때 단백질 상호 결합이 안정화되어 쿨드 플라즈마 처리에 대해 저항성이 생길 수 있다(31). Lee 등(31)도 건무화과의 수분활성도가 0.7에서 0.9로 증가할 때 쿨드 플라즈마 처리에 의한 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* 저해율이 각각 0.5에서 1.3 log CFU/g으로 그리고 1.0에서 1.6 log CFU/g으로 증가하여 처리 시료의 수분활성도가 높을 때 억제 정도도 증가한다는 결과를 보고하였다.

양파 분말의 입자 크기에 따른 미생물 억제에 대한 영향을 Fig. 5에 나타내었다. 본 연구에서 양파 분말의 입자 크기가 0.3 cm²에서 0.6 cm², 그리고 1.0 cm²로 증가하였을 때, *E. coli* O157:H7의 저해율도 1.2±0.3 log CFU/cm²에서 1.6±0.2 log CFU/cm², 그리고 2.3±0.4 log CFU/cm²로 증가하는 경향을 보였다($p < 0.05$). 양파 분말의 입자 크기가 0.3 cm²에서 0.6 cm², 그리고 1.0 cm²로 증가하였을 때 *S. Enteritidis*와 *L. monocytogenes*의 저해율은 각각 1.5±0.2 log CFU/cm², 1.9±0.2 log CFU/cm², 그리고 2.1±0.1 log CFU/cm²의 저해율과 0.5±0.1, 1.3±0.2, 그리고 1.6±0.1 log CFU/cm²의 저해율을 보여 양파 분말의 크기가 클수록 억제가 잘 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 표면적 대 부피의 비율이 적은 큰 시료에서 그 비율이 큰 작은 시료에 비해 표면처리 특성을 지닌 쿨드 플라즈마 처리 효과가 높았기 때문으로 사료되었다(32).

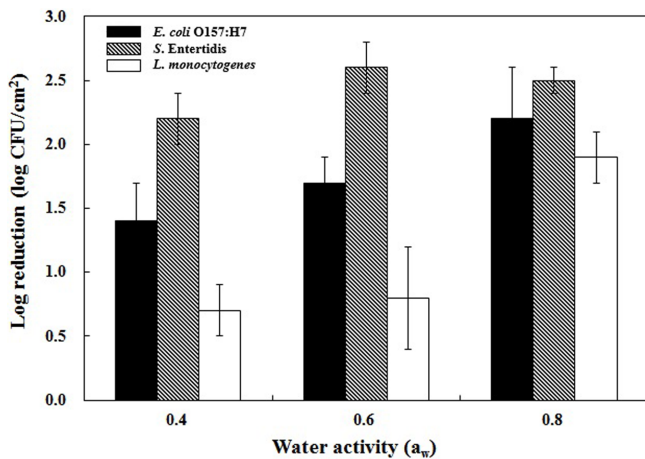


Fig. 4. Effects of water activity on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment at 9 kV for 10 min.

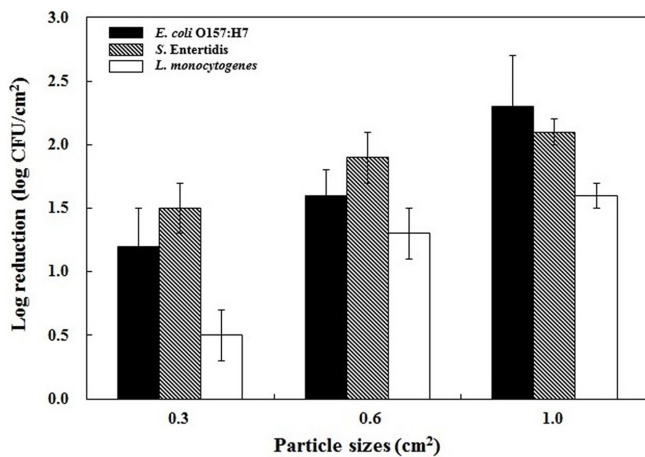


Fig. 5. Effects of particle sizes of onion powder on the inhibition of microorganisms by helium cold plasma treatment at 9 kV for 10 min.

비타민 C와 퀴세틴 농도

콜드 플라즈마 처리 여부와 처리 시간에 관계없이 양파 분말의 비타민 C 농도는 1.3 ± 0.6 - 1.5 ± 0.8 mg/g의 범위에서 유의적인 차이가 나지 않았다($p > 0.05$). 양파 분말의 퀴세틴 농도도 콜드 플라즈마 처리 여부와 처리 시간에 영향을 받지 않아(0.9 ± 0.2 - 1.2 ± 0.0 mg/g) 비타민 C처럼 콜드 플라즈마 처리에 의해 영향을 받지 않음을 알 수 있었다($p < 0.05$). 플라즈마 내 존재하는 자외선 광자와 강한 반응성 물질들에 의해 비타민 C와 퀴세틴이 파괴될 수 있을 것으로 사료되었으나(33), 본 연구에서 사용된 조건의 플라즈마 처리는 그들의 농도에 유의적인 변화를 가져오지 않았다. Ramazzina 등(34)도 키위에 DBD를 이용하여 공기로 플라즈마를 형성시켜 40분간 처리하였을 때, 콜드 플라즈마 처리의 여부와 관계없이 키위의 비타민 C 함량에 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고하였다.

색도

콜드 플라즈마 처리 시간에 따른 양파 분말의 색도를 Table 1에 나타내었다. 콜드 플라즈마 처리 시간에 따른 양파 분말의 명도(L*), 적색도(a*), 그리고 황색도(b*) 값은 각각 61.7-65.7, 3.1-

Table 1. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatments (helium gas, 9 kV) on the color (CIE Lab) of the onion powder

Treatment time (min)	Color (CIE Lab)		
	L*	a*	b*
0	$65.4 \pm 2.5^{a1)}$	5.6 ± 0.8^a	23.8 ± 1.3^a
5	61.7 ± 3.2^a	5.4 ± 1.1^a	21.0 ± 1.7^a
12	65.7 ± 1.1^a	5.0 ± 0.1^a	22.0 ± 1.6^a
20	64.0 ± 5.0^a	5.0 ± 0.7^a	19.6 ± 1.8^a

¹⁾Different letters within a row are significantly different ($p < 0.05$).

5.0, 그리고 19.6-23.8이었고 콜드 플라즈마 처리 여부, 처리 시간과 관계없이 유의적 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 헬륨 가스를 플라즈마 형성 가스로 사용하여 고춧가루를 처리(900 W, 20분)했을 때에도 고춧가루의 색도는 변하지 않았다(18). 그러므로 분말 식품을 고온 살균하면 분말 표면을 어둡게 하여 품질을 떨어뜨릴 수 있는(35) 단점을 콜드 플라즈마 살균 처리를 적용하여 해결할 수 있을 것이다. 본 연구 결과를 통해 콜드 플라즈마 처리는 양파 분말 식품의 색에 영향을 주지 않으면서 미생물 안전성을 높이는 기술로서의 가능성을 보여주었다.

요 약

DBD 방식의 콜드 플라즈마 처리는 양파 분말에 접종된 *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, *L. monocytogenes*를 효과적으로 저해시켰다. 콜드 플라즈마 처리에 의한 식중독균 억제 효과는 콜드 플라즈마 전압 증가에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 콜드 플라즈마 처리 시간에 따라 억제 효과가 유의적으로 증가함을 알 수 있었다. 또한, 양파 분말의 수분활성도가 높은 것과 입자 크기가 큰 것이 콜드 플라즈마를 이용하여 미생물을 억제 시키는 데 유리하다는 것을 규명하였다. 본 연구에서 사용된 처리 조건에서의 DBD-CPT는 처리 시간과 관계없이 양파 분말의 비타민 C 함량, 퀴세틴 함량, 그리고 색도에 영향을 주지 않았다. 따라서 DBD-CPT는 양파 분말의 이화학적 특성에 영향을 미치지 않으면서 CP 처리 시간, 양파 분말의 수분활성도와 크기 조절을 통해 식중독균을 효과적으로 억제시킬 수 있음을 알 수 있었고 이로써 DBD-CPT가 양파 분말 식중독균 저감화에 사용될 수 있는 비가열 살균 기술임을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(313031-03).

References

- Jung HA, Jung HS, Joo NM. Quality characteristics of whole and peeled garlic *jangachi* (korean pickle) by aging period. Korean J. Food Cook. Sci. 23: 940-946 (2007)
- Kang NS, Kim JH, Kim JK. Quality characteristics of onion *jangaji* during aging. Korean J. Food Preserv. 15: 796-803 (2008)
- Park SY, Yoo SS, Shim JH, Chin KB. Physicochemical properties, and antioxidant and antimicrobial effects of garlic and onion powder in fresh pork belly and loin during refrigerated storage. J. Food Sci. 73: C577-C584 (2008)

4. Pezzutti A, Matzkin MR, Croci CA. Gamma irradiation improved the quality of onion flakes used by Argentine consumers. *J. Food Process. Preserv.* 29: 120-131 (2005)
5. Rodríguez-Romo LA, Heredia NL, Labbé RG, García-Alvarado JS. Detection of enterotoxigenic *Clostridium perfringens* in spices used in Mexico by dot blotting using a DNA probe. *J. Food Prot.* 61: 201-204 (1998)
6. McKee L. Microbial contamination of spices and herbs: A review. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 1-11 (1995)
7. Woo HI, Kim JB, Choi JH, Kim EH, Kim DS, Park KS, Kim EJ, Eun JB, Om AS. Evaluation of the level of microbial contamination in the manufacturing and processing company of red pepper powder. *J. Food Hyg. Saf.* 27: 427-431 (2012)
8. Anto A, Bv K, Gc J, Hebbar HU. Recent developments in superheated steam processing of foods—a review. *Cr. Rev. Food Sci. Nutr.* 56: 2191-2208 (2016)
9. Kim SY, Sagong HG, Choi SH, Ryu SR, Kang DH. Radio-frequency heating to inactivate *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* O157: H7 on black and red pepper spice. *Int. J. Food Microbiol.* 153: 171-175 (2012)
10. Cheon HL, Shin JY, Park KH, Chung MS, Kang DH. 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)
11. Farkas J. Radiation Decontamination of spices, herbs, condiments and other dried food ingredients. pp. 291-312. In: *Food Irradiation: Principles and Applications*. Molins RA (ed). John Wiley & Sons, New York, NY, USA (2001)
12. Taechapairoj C, Dhuchakallaya I, Soponronnarit S, Wetchacama S, Prachayawarakorn S. Superheated steam fluidised bed paddy drying. *J. Food Eng.* 58: 67-73 (2003)
13. Rico CW, Kim GR, Ahn JJ, Kim HK, Furuta M, Kwon JH. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annuum L.*). *Food Chem.* 119: 1012-1016 (2010)
14. Fine F, Gervais P. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *J. Food Prot.* 67: 787-792 (2004)
15. Song HP, Kim B, Choe JH, Jung S, Moon SY, Choe WH, Jo CR. 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)
16. Misra N, Tiwari B, Raghavarao K, Cullen PJ. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Eng. Rev.* 3: 159-170 (2011)
17. Schweiggert U, Carle R, Schieber A. Conventional and alternative processes for spice production—a review. *Trends Food Sci. Technol.* 18: 260-268 (2007)
18. Kim JE, Lee DU, Min SC. Microbial decontamination of red pepper powder by cold plasma. *Food Microbiol.* 38: 128-136 (2014)
19. Laroussi M, Mendis D, Rosenberg M. Plasma interaction with microbes. *New J. Phys.* 5: 41 (2003)
20. Oh YJ, Lee HN, Kim JE, Lee SH, Cho HY, Min SC. Cold plasma treatment application to improve microbiological safety of infant milk powder and onion powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 47: 486-491 (2015)
21. Misra NN, Keener KM, Bourke P, Mosnier J, Cullen PJ. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *J. Biosci. Bioeng.* 118: 177-182 (2014)
22. Misra N, Patil S, Moiseev T, Bourke P, Mosnier J, Keener K, Cullen P. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *J. Food Eng.* 125: 131-138 (2014)
23. Yong HI, Kim HJ, Park SH, Alahakoon AU, Kim KJ, Choe WH, Jo C. Evaluation of pathogen inactivation on sliced cheese induced by encapsulated atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *Food Microbiol.* 46: 46-50 (2015)
24. Pankaj SK, Bueno-Ferrer C, Misra N, O'Neill L, Jiménez A, Bourke P, Cullen P. Characterization of polylactic acid films for food packaging as affected by dielectric barrier discharge atmospheric plasma. *Innov. Food Sci. Emerg.* 21: 107-113 (2014)
25. Winston PW, Bates DH. Saturated solutions for the control of humidity in biological research. *Ecology* 41: 232-237 (1960)
26. Elhassaneen Y, Sanad M. Phenolics, Selenium, Vitamin C, Amino acids and pungency levels and antioxidant activities of two Egyptian onion varieties. *Am. J. Food Technol.* 4: 241-254 (2009)
27. Hamazu Y, Nosaka T, Ito F, Suzuki T, Torisu S, Hashida M, Fukuzawa A, Ohguchi M, Yamanaka S. Physicochemical characteristics of rapidly dried onion powder and its anti-atherogenic effect on rats red high-fat diet. *Food Chem.* 129: 810-815 (2011)
28. Daeschlein G, Scholz S, Arnold A, von Podewils S, Haase H, Emmert S, von Woedtke T, Weltmann K, Jünger M. In vitro susceptibility of important skin and wound pathogens against low temperature atmospheric pressure plasma jet (APPJ) and dielectric barrier discharge plasma (DBD). *Plasma Process. Polym.* 9: 380-389 (2012)
29. Niemira BA. Cold plasma decontamination of foods. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 3: 125-142 (2012)
30. Baier M, JanBen T, Wieler LH, Ehlbeck J, Knorr D, Schlüter O. Inactivation of shiga toxin-producing *Escherichia coli* O104: H4 using cold atmospheric pressure plasma. *J. Biosci. Bioeng.* 120: 275-279 (2015)
31. Lee HN, Kim JE, Chung M, Min SC. Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. *Food Microbiol.* 51: 74-80 (2015)
32. Knorr D, Froehling A, Jaeger H, Reineke K, Schlueter O, Schoessler K. Emerging technologies in food processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2: 203-235 (2011)
33. Wang RX, Nian WF, Wu HY, Feng HQ, Zhang K, Zhang J, Zhu WD, Becker KH, Fang J. Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: Inactivation and physicochemical properties evaluation. *Eur. Phys. J. D.* 66: 1-7 (2012)
34. Ramazzina I, Berardinelli A, Rizzi F, Tappi S, Ragni L, Sacchetti G, Rocculi P. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biol. Technol.* 107: 55-65 (2015)
35. Almela L, Nieto-Sandoval JM, Fernández López JA. Microbial inactivation of paprika by a high-temperature short-x time treatment. Influence on color properties. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1435-1440 (2002)