

## 스팀 가열 및 자외선, 감마선 조사 처리에 따른 고춧가루의 미생물 저감화 효과

최준봉<sup>1</sup> · 천희순<sup>2</sup> · 정명수<sup>3</sup> · 조원일<sup>4,\*</sup>

수원대학교 호텔관광대학원<sup>1</sup>, 서울향료(주) 기술연구소<sup>2</sup>,  
이화여자대학교 식품공학과<sup>3</sup>, 동원에프앤비(주) 식품과학연구원<sup>4</sup>

### Microbial reduction effect of steam heating, UV irradiation, and gamma irradiation on red pepper powder

Jun-Bong Choi<sup>1</sup>, Hee Soon Cheon<sup>2</sup>, Myong-Soo Chung<sup>3</sup>, and Won-Il Cho<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Hotel & Tourism, The University of Suwon

<sup>2</sup>R&D center, Seoul Perfumery Corporation

<sup>3</sup>Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University

<sup>4</sup>Research & Development Center, Dongwon F&B Corporation

**Abstract** This study evaluated the effect of steam heating, gamma irradiation, and ultraviolet (UV) irradiation on microorganism reduction in order to determine an effective sterilization method for red pepper powder. The effect of each treatment on the reduction of thermophilic bacteria and total aerobic bacteria in red pepper powder were as follows: 10 kGy gamma irradiation, reduction of 4 log and 6 log CFU/g, respectively; 12 mW/cm<sup>2</sup> UV irradiation (264 nm UV-C), reduction of less than 1 log CFU/g; steam heating at 120°C for 40 s, reduction of approximately 2 log CFU/g. High-temperature short-time processing at 110°C for 30 s reduced the total bacterial count in *Gochujang* solution from 5.70 log CFU/g to 2.26 log CFU/g; at 121°C, the solution was commercially sterile. Steam heating resulted in 1, 2, and 4 log microbial inactivation in garlic, onion, and pepper powder, respectively. Steam sterilization, which consumers prefer over other methods, may be an effective method for reducing microorganisms in spice powders, including those in red pepper powder.

**Keywords:** Red pepper powder, *Gochujang* sauce, thermophilic bacteria, sterilization, high-temperature short-time heating

## 서 론

가지과에 속하는 고추 또는 그 변종의 성숙한 열매를 건조한 후 분말상태로 만든 고춧가루는 우리 민족의 매운맛 기호에 부합하여 우리나라 식생활에서 중요한 필수 양념으로 예로부터 사용되어 왔다(Choi 등, 2018; Park과 Kwon, 2015). 고춧가루는 특히 전통 발효 식품인 김치와 고추장의 맛, 향, 색상 등의 관능품질에 큰 영향을 미치는 중요 향신료로 많이 사용되며, 그 외 매콤한 국, 탕, 찌개, 찜, 볶음 등의 요리에도 다양하게 활용되고 있다(Choi 등, 2018; Kang 등, 2012; Ku 등, 2014). 또한 전통식품 외에도 라면 스프, 소스, 양념장 등 다양한 가공식품에서도 매운맛 소재로 현재 많이 사용되고 있는 실정이다.

이와 같이 한국의 식생활에서 필수적인 향신료 및 가공식품용 조미원료로서 사용 빈도수가 높은 고춧가루는 항산화 및 압 예방 기능을 가진 천연 색소인 카로티노이드(carotenoid)와 항암, 고혈압 억제, 심폐 기능 강화, 비만 예방 효과가 있는 매운맛 성분

인 캡사이신(capsaicin)을 함유하고 있어 우수한 기능식품으로서도 지속적으로 관심이 있다(Kang 등, 2012; Ku 등, 2014; Park과 Kwon, 2015).

고춧가루의 중요한 품질인 맛과 색은 고추 원산지, 품종, 재배 환경에 의해 주로 영향을 받으며, 가장 중요한 매운맛은 고추의 캡사이신(capsaicin)과 디하이드로캡사이신(dihydrocapsaicin)으로 구성되어 있는 캡사이시노이드(capsaicinoid)에서 기인한다. 또한 고춧가루는 비타민 C, 유리당, 유기산 등에 의해 주요 맛이 좌우되며, 붉은색 색소인 캡산틴(capsanthin)을 주성분으로 베타카로틴( $\beta$ -carotene), 크립토헨틴(cryptoxanthin) 등에 의해 색상이 발현된다(Choi 등, 2018; Chun 등, 2009; Jung 등, 2011).

그러나 고추는 건조, 분쇄 및 유통, 저장 등의 가공저장 중에 미생물의 오염 가능성이 매우 높아 상품가치 및 식품위생상 문제가 제시되고 있다(Lee 등, 1997; Mok과 Jeon, 2012; Park과 Kwon, 2015). 구체적으로 고춧가루는 고추가 다른 과채류보다 재배기간이 길어 토양 유래 내열성균에 감염될 가능성이 높고 또한 분말화 하는 과정에서 작업장 및 설비 위생 상태에 따라 미생물에 교차 오염될 가능성이 높다(Song 등, 2012; Woo 등, 2012). 그 외에 고추 과피 내 함유되어 있는 당성분이 고춧가루 제조시 유출되어 유해 미생물의 증식 가능성이 높아 고춧가루의 미생물 안전성 확보는 무엇보다 중요한 필수 요소라고 할 수 있다(Kim 등, 2009; Lee 등, 2000; Song 등, 2012). 고춧가루에 대한 식품공전상 미생물 검출 기준을 살펴보면, 곰팡이수(%)는 20

\*Corresponding author: Won-Il Cho, Research & Development Center, Dongwon F&B Corporation, Seoul 06775, Korea  
Tel: +82-2-589-3517  
Fax: +82-2-589-3407

E-mail: chowonil19@dongwon.com

Received March 1, 2020; revised April 5, 2020;

accepted April 7, 2020

이하(하워드 곰팡이 계수장치에 의한 곰팡이 양성비율), 대장균은  $n=5, c=2, m=0, M=10$ 으로 되어 있으며, 고춧가루가 주원료인 고추장은 대장균군이  $n=5, c=1, m=0, M=10$ 으로 되어 있다. 시판 고춧가루에 대한 미생물 오염에 대한 구체적인 분석결과를 살펴보면, 시판 고춧가루에는 일반세균이 3-6 log CFU/g 내외로 자생하고 있으며, 곰팡이는 1-4 log CFU/g, 대장균군 경우에는 0-4 log CFU/g 사이로 검출되어 미생물학적 위해 요소가 화학적, 물리적 위해 요소 보다 높아 철저한 관리가 필요한 것으로 나타났다(Song 등, 2012; Woo 등, 2012).

이와 같이 건조추와 같은 향신료는 저장 및 유통 중에 병원성 미생물, 곰팡이 및 해충 등의 발생이 우려되어 이를 방지하기 위한 살균, 살충법으로 에틸렌옥사이드(ethylene oxide), 에틸렌다이브로마이드(ethylene dibromide) 등의 훈증 및 적외선 처리가 사용되어 왔으나, 훈증제의 경우 잠재적 독성으로 인한 안전성 문제로 국제적으로 사용이 금지 되고 있는 추세이며, 적외선의 경우 표면살균 효과만 있어 적용에 한계가 있다(Jung 등, 2011; Kim 등, 2013; Lee 등, 1997).

이러한 기존 방법의 단점을 극복하기 위해 주로 방사성 물질을 사용하는 감마선(gamma) 조사, 전자선 가속기에서 발생하는 전자빔(electron beam) 조사, LED 처리, 자외선 영역인 UV-C 조사 등의 비가열 살균 방법을 통해 품질 손상 없이 고춧가루 내 식중독균 등을 저감화하는 방법에 대한 연구가 중점 수행되어 왔다(Chun 등, 2009; Kim 등, 2009; Kim 등, 2013; Lee 등, 1997). 방사선 조사는 열을 가하지 않고 식품 속의 세균, 기생충 등을 죽이거나 식물의 발아억제 및 숙도조절 등을 위해 방사선( $\gamma$ 선,  $\beta$ 선, X선 등)을 쬐는 방식을 일컫는데 현재 여러 국가에서 위생과 관련된 내열성균을 다량 함유한 후추, 고추, 양파, 마늘 등의 다양한 분말 형태의 향신료 살균에 상업적으로 적용되고 있다(Kim 등, 2009). 또한 파장 253.7 nm의 자외선 조사도 향신료 내의 병원성 균을 사멸시키는 대표적인 비가열 살균법으로 미생물에 대한 사멸 효과는 자외선량(조도×시간)이나 세균의 종류에 따라 차이가 난다. 자외선 조사는 식품 외에도 화장실이나 식품공장의 기구, 원료, 포장 재료 등의 살균에 이용되며, 특히 1차 살균 처리한 식품 또는 설비의 재오염을 막는 경우에 유효하다(Chun 등, 2009). 이러한 방법 중 감마선 및 전자빔 조사의 경우 세균 및 곰팡이 살균효과는 있으나 안전한 먹거리에 대한 소비자 선호도 증가에 따라 상업적 적용이 감소되고 있으며, 그 외 자외선 조사 등은 사멸효과가 떨어져 제한적으로 사용되고 있다.

최근에는 라디오파 가열(radio frequency thermal)과 비열 방전 플라즈마(non-thermal discharge plasma) 병합 처리를 통해 고춧가루내 식중독균 불활성화에 대한 연구가 진행되어 검출한계 미만까지 감균 되었으나 상업적 활용을 위해서는 설비 등에 대한 추가 연구가 필요한 사항이다(Choi 등, 2018). 이외에 스팀을 활용한 살균방법에 대해 살펴본 결과 채소류의 가열처리에 관한 연구 사례는 있으나 분말식품에 대한 미생물 저감화 연구는 거의 없었다(Cheigh 등, 2011). 이상과 같이 현재까지 고춧가루와 같은 다양한 건조 향신료 분말에 대한 효과적인 살균 방법은 확립되어 있지 않은 실정이다(Chun 등, 2009; Lee 등, 2012; Kim 등, 2009; Kim 등, 2013).

따라서 중요한 식자재 이지만 위생적인 처리방법에 대한 세부 연구가 수행되지 않은 고춧가루에 대한 상업적으로 활용 가능한 미생물 제어 방법에 대한 기반 연구가 필요한 사항이다. 본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 위생적인 고춧가루의 처리방법으로 실제 생산현장에서 사용되고 있지만 구체적인 살균효과에 대한 체계적인 연구, 분석이 많이 이루어 지지 않은 스팀 가열살균

방법에 대한 실험을 중점 진행하여 기반 데이터를 확보하였으며, 비교 방법으로 자외선 및 감마선 조사를 이용한 비가열 살균 효과도 병행 고찰하였다. 이러한 결과를 바탕으로 상업적으로 활용 가능한 고춧가루를 이용한 소스류의 구체적인 살균 방법에 대해서도 추가로 제시하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

상업적으로 제조된 고춧가루는 살균공정을 거치게 되므로 본 실험에서는 직접 국산 건조추를 서울 시내 대형마트에서 구입하여 꼭지를 완전히 제거한 후 분쇄기(Grinder, FM-909TC, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄하여 20 mesh 체에 통과시킨 후 폴리에틸렌(polyethylene, PE) 필름에 1,000 g 단위로 포장 후  $-18^{\circ}\text{C}$ 에 보관하여 신선 상태를 유지하면서 살균 실험에 사용하였다. 한편 고춧가루내 고유 자생 및 오염균에 대한 여러 살균방법의 미생물 저감 효과를 고찰하기 위해 별도의 특정균 접종 없이 자연적으로 존재하는 미생물을 초기균 상태로 설정하여 실험을 수행하였다. 또한 스팀가열 살균효과를 고찰한 후추, 양파, 마늘 분말 시료는 살균 처리하지 않은 통후추와 칩 형태의 건조 양파와 마늘을 구입하여 건조추 분쇄에 사용한 동일한 분쇄기로 각각 고운 분말상태로 갈아 직접 확보하였다.

### 고춧가루 감마선 조사

고춧가루에 대한 감마선 조사를 위해 먼저 나일론과 폴리에틸렌 재질로 구성된 다층 접합 포장재(Nylon, NY 15  $\mu\text{m}$ /PE 100  $\mu\text{m}$ : 투습도, 4.7 g/m<sup>2</sup>/24 hrs: 산소투과도, 22.5 cc/m<sup>2</sup>/24 hrs)에 500 g 단위로 합기 포장한 시료를 준비하였다. 포장된 고춧가루의 감마선 조사는 선원 60만 Ci의 Co 상업용 다목적 조사시설(GREENPIA, Yeosu-si, Gyeonggi-do, Korea)을 이용하여 1 kGy/hr의 선량률로 각각 5, 7.5, 10 kGy의 흡수선량을 얻도록 처리하여 고춧가루에 대한 미생물 사멸효과를 무처리구와 대비하여 분석하였다(Kim 등, 2009; Lee 등, 1997).

### 고춧가루 자외선 조사

고춧가루에 대한 자외선 조사에 사용된 광원은 살균력이 가장 우수한 264 nm 파장의 UV-C 램프(Clean Light XL, Philips Co., Amsterdam, Netherland)를 이용하였다. UV-C 광원의 방사조도는 60×12×9 cm (길이×폭×높이)의 램프를 설치하여 각각 3, 6 12 mW/cm<sup>2</sup> 강도로 조절한 다음 고춧가루 시료에 조사하여 살균효과를 세부 고찰하였다. 고춧가루 시료는 30×20×1 cm (가로×세로×높이)의 멸균된 트레이와 유리막대를 이용하여 분말 입자를 균일하게 퍼준 후에 자외선을 조사하였으며, 미생물의 광활성(photoreactivation)을 최소화하기 위해 어두운 상태에서 실시하였다. 이때 조사한 UV-C 강도는 트레이 위에서 UV light meter(UV-340, Lutron Electronic Co., Taipei, Taiwan)를 이용하여 3회 반복, 측정 하였다(Chun 등, 2009; Park과 Kwon, 2015).

### 고춧가루 스팀 가열

향신료, 복합조미료와 같은 분체형 건조식품의 살균에 사용되는 고온순간 스팀살균기(HTST, high temperature short time sterilizer)를 이용하여 고춧가루의 미생물 제어 실험을 진행하였다. 분말 원료를 일정하게 흘려 보내면서 120°C 이상의 고온증기를 순간적으로 분사하는 스팀살균기는 설비 형태에 따라 가열시간이 8 s에서 40 s 내외인 드립형과 4 s에서 24 s인 튜브형으로 나눌 수

있는데 본 연구에서는 드럼형 스팀살균기(HTST-A600, Kawasaki Kiko Co. Ltd., Kakegawa, Japan)를 이용하였다(Cheigh 등, 2011; Choi 등, 2015). 본 실험에서 고춧가루 미생물 제어를 위한 적용한 과열증기 살균 및 냉각 방법을 구체적으로 살펴보면 먼저 120°C의 온도에서 10, 25, 40 s간 고온 스팀으로 각각 살균된 고춧가루는 배출될 때 온도가 상승한 만큼 2-3%의 습기가 부착되므로 이를 신속히 열풍으로 건조시키고, 흡인사이클론을 이용하여 이송 과정에 실온으로 냉각시키는 과정으로 구성되어 있다.

### 고추장 용액 고온 단시간 가열

고춧가루를 이용한 다양한 한식소스류의 효과적인 미생물 제어 방법을 개발하기 위한 기초 연구로서 고춧가루가 주원료인 고추장을 10배 희석한 고추장 용액을 이용하여 가열살균 방법에 대한 실험을 수행하였다. 가열에 의한 품질 열화를 최소화하기 위해 본 연구에서는 레토르트와 같은 회분식 살균(batch system) 대신 연속식 살균(continuous system) 방식인 고온 순간 살균(high-temperature short time, HTST)을 이용하였다. 세부적으로 전열면 외부의 고온의 열수 또는 증기를 이용하여 내부의 저온 유체형 식품류를 열전도로 가열하는 이중체 형태의 열교환기(heat exchanger)의 구조에 따라 판형(plate-type) 및 관형(tubular-type) 열교환기로 나눌 수 있는데, 우유, 간장 등의 점도가 낮고 원물 입자가 없는 식품의 살균에 많이 이용되는 판형 대신 본 연구에서는 펄프나 입자가 있는 고점도의 소스류의 살균 등에 많이 사용되는 관형 타입 연속식 살균기를 이용하여 85, 110, 121°C의 온도에서 30 s간 가열살균을 실시하였다(Cho와 Kang, 2015; Kim과 Yo, 2017).

### 미생물 분석

각 살균 방법을 적용한 고춧가루의 미생물 분석을 위해 시료 10 g과 멸균 처리한 0.1% 펄프수 90 mL를 분쇄기(Model MCH600SI, Tong Magic Co., Seoul, Korea)에서 30 s 동안 분쇄한 다음 멸균백에 넣고 3 min 동안 stomacher (MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 처리 하였다. 이것을 cheese cloth로 거르고 0.1% 멸균 펄프수로 희석한 후 각각의 배지에 분주하였다.

호기성 총세균은 PCA (plate count agar, Difco Co., Detroit, MI, USA) 배지를 사용하여 35±1°C에서 24-48 h 배양한 후 각 plate에서 15-300개의 colony가 보이는 것을 계수하였다. 동일한 방법으로 계수 실험을 3회 반복하여 총균의 평균치를 CFU/g으로 표시하였으며 미생물의 검출한계(detection limit)는 0.5 log CFU/g로 설정하였다. 또한 바실러스세레우스(*Bacillus cereus*)는 mannitol egg yolk polymyxin (MYP, Oxoid, Basingstoke, Hampshire, UK)를 사용하여 30°C에서 2일 동안 배양 후 계수하였으며, 내열성 균인 바실러스 계통 균수 측정은 멸균 증류수에 혼합한 분쇄 시료를 100°C, 10 min 가열한 후 MYP (mannitol salt egg yolk polymixin B agar, Difco Lab., Detroit, MI, USA) 배지에서 바실러스 포자만 별도로 배양해서 측정하지 않고 총균수 분석을 통해 측정하였다.

그리고 대장균군(coliform group)은 단계별로 희석한 시료 1 mL씩을 건조필름 배지(coliform count plate/petrifilm™ *E. coli*, 3M™, St. Paul, MN, USA)에 접종한 후, 35~37°C에서 24±2 h 배양하여 붉은 집락 중 주위에 기포를 형성한 집락수를 대장균군으로 계수하였다. 이어 클로스트리디움 퍼프린젠스(*Clostridium perfringens*)는 고춧가루 25 g과 0.1% 멸균 펄프수 225 mL를 혼합하여 TSC (tryptose sulphite cycloserine agar, Detroit, MI, USA)

와 잘 혼합하고 응고시킨 후, 35°C에서 20 h 동안 혐기 조건하에 배양하여 전형적인 검은색 집락 평판을 선별한 다음 집락수를 계수하였는데 바실러스 계통 균수 측정과 마찬가지로 포자만 배양해서 측정하지는 않았다(Oh 등, 2009; Song 등, 2012; Woo 등, 2012).

### 색도 측정

감마선, 자외선으로 조사된 시료와 스팀가열한 고춧가루의 색도 측정은 표준백판(L=97.47, a=-0.02, b=1.67)으로 보정된 colorimeter (CR-300 Minolta Chromameter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter L, a 및 b 값을 측정하였다. 각 시료는 3회 반복하여 측정하였다.

### 통계처리

3회 반복 실험한 데이터에 대해서는 통계패키지 SAS (Statistical Analysis System Ver. 9.0, SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 통계 처리하였으며, 두 실험 군 간 유의성 검정은 t-test 방법을 실시하여 평균값을 비교하였다. 그리고, 3개 이상의 실험 군 간의 유의성 검정은 분산분석(ANOVA), Duncan 다중범위검정(multiple range test,  $p < 0.05$ )을 이용하여 비교, 분석하였다.

## 결과 및 고찰

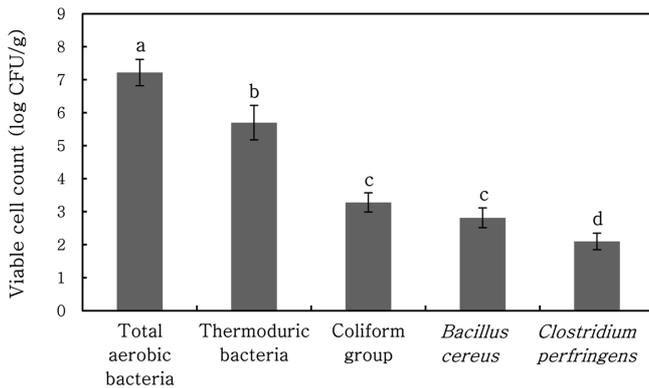
### 고춧가루 미생물 현황

일반적으로 고춧가루는 롤밀 분쇄 과정에서 견고추와 분쇄기의 스테인레스나 철 재질과의 마찰에 의해 발생하는 쇳가루를 제거하는 공정을 먼저 거친 다음 고춧가루 자체에 자생하고 있는 위생적 유해 미생물이나 작업자, 설비로부터 교차 오염되는 병원성균을 감균시키는 살균공정을 적용하여 상업적으로 제조한다(Park과 Kwon, 2015; Song 등, 2012). 통상적으로 현재 많이 사용되고 있는 살균 방법은 60 s 내외의 자외선 단시간 조사 또는 120°C, 40 s 내의 고온스팀 순간 가열법이다. 마지막 단계는 금속 검출 및 포장 공정으로, 제조설비 및 도구 등에 의해 발생하는 금속조각이나 나사, 너트 등의 금속성 이물을 검출한 다음 파우치 등의 포장재에 투입하는 공정으로 구성되어 있다(Park과 Kwon, 2015; Song 등, 2012).

고춧가루의 미생물 제어 방법에 관한 본 실험을 진행하기 전에 먼저 고춧가루 내에 자생하고 있는 미생물 현황에 대해 분석을 실시하였다. 분석 결과는 Fig. 1에서와 같이 호기성 일반세균(total aerobic bacteria)은 7.23 log CFU/g, 바실러스 계통의 내열성균(thermoduric bacteria)은 5.70 log CFU/g로 나타나 고춧가루내 대부분의 균이 내열성을 가진 바실러스균으로 판명되었다.

식중독 등의 위생과 관련된 미생물 분석 결과, 고춧가루에는 대장균군이 3.28 log CFU/g, 바실러스세레우스가 2.81 log CFU/g, 클로스트리디움 퍼프린젠스는 2.11 log CFU/g 내외로 나타나 미생물 제어를 위한 살균공정이 필수적임을 알 수 있었다. 특히 포자를 형성하는 병원성균인 바실러스세레우스 및 클로스트리디움 퍼프린젠스와 같은 내열성균에 대한 살균처리가 무엇보다 중요하다.

본 연구 결과 외에도 시판 고춧가루 10종에 대한 미생물 분석 연구 사례에서도 총 호기성 균수가 6.38-6.57 log CFU/g으로, 효모 및 곰팡이는 6.15 log CFU/g 그리고 대장균군은 2.45 log CFU/g 수준으로 오염되어 있는 것으로 나타나 가정에서 조리시 또는 식품가공용 원료로 사용시 식품 위생상 여러 문제를 발생시킬 수 있으므로 적절한 살균이 필요함을 재확인할 수 있었다(Park과 Kwon, 2015; Woo 등, 2012).



**Fig. 1. The analysis results on the status of native and contaminating microorganisms in red pepper powder.** Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

### 고춧가루 비가열 살균효과

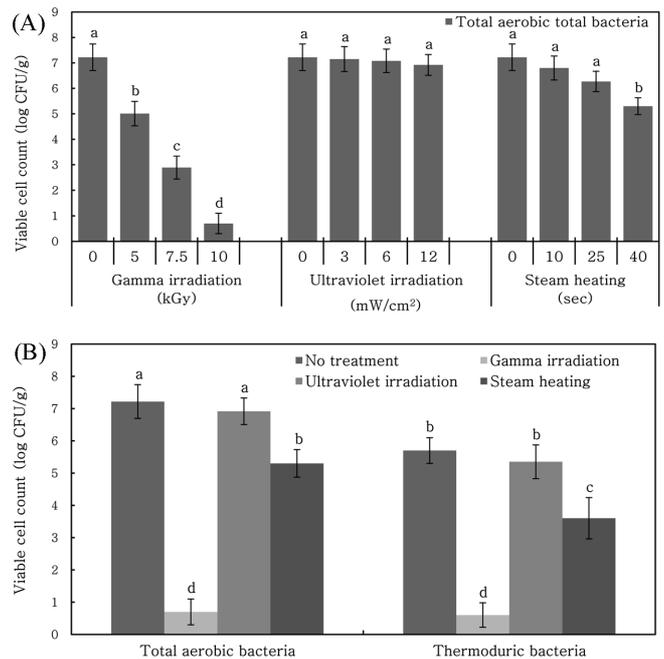
고춧가루의 위생 확보를 위한 대표적인 비가열 살균 방법인 방사선 및 자외선 조사 효과를 세부 고찰하였다. 실험결과 Fig. 2A 및 2B에서와 같이 감마선 살균의 경우, 조사강도 5 kGy 및 7 kGy에서는 2 log 및 4 log CFU/g 내외의 총균이 감소되었으며, 10 kGy에서는 7.23 log CFU/g의 호기성 총균이 1 log CFU/g 미만 평균 수준으로 현저히 감소하여 6 log CFU/g 내외의 우수한 미생물 감균 효과를 나타내었다. 또한 내열성균도 5.70 log CFU/g에서 0.60 log CFU/g 내외로 감균되어 바실루스 계통 내열성 미생물의 사멸에도 감마선이 효과적임을 알 수 있었다. 감마선의 직접적인 살균 효과는 방사선이 미생물 DNA 분자의 원자 또는 구성 성분과 반응을 하여 손상을 일으키는데, 구체적으로 전리에 의한 DNA 분자 내의 한가닥 절단(single strand break)과 양가닥 절단(double strand break)과 같은 DNA의 나선 절단 현상이 그 예이다. 또한 간접 영향으로 방사선이 물과 반응하여 과산화수소(hydrogen peroxide,  $H_2O_2$ )와 같은 독성을 지닌 화합물을 구성하여 DNA 나선 절단을 일으켜 미생물을 사멸시킬 수 있다(Kim 등, 2009).

그에 반해 자외선 살균 경우 총균 및 내열성균 모두에서 조사 강도를 3-12 mW/cm<sup>2</sup> 수준으로 처리시 1 log CFU/g 미만의 감균 효과를 보여 살균률이 감마선 대비 현저히 떨어졌다(Fig. 2A 및 2B). 자외선 조사를 이용한 비가열 살균 경우 DNA의 피리미딘(pyrimidine) 염기 간에 생기는 시클로부탄(cyclobutane)형 피리미딘 이합체에 의한 DNA 구조 손상으로 미생물이 사멸되는데 에너지원 특성상 표면살균이 주로 일어나기 때문에 살균효과에 한계가 있다고 할 수 있다(Chun 등, 2009).

이상의 결과에서 10 kGy 이하의 감마선 조사가 고춧가루의 위생 확보를 위한 살균에 있어 효과적인 방법으로 확인되었으나 방사선 조사 경우 식품 법규상 식품 포장제에 의무적으로 표기해야 함에 따라 처리 제품에 대한 소비자의 구매 선호도가 저하될 여지가 있어 대안에 대한 과학적인 연구가 필요하다고 할 수 있다.

### 고춧가루 가열 살균효과

대표적인 가열 살균 방법으로 스팀 살균법을 선정하여 고춧가루에 대한 미생물 제어효과를 세부 고찰하였다. 실험 결과 Fig. 2A 및 2B에서와 같이 120°C, 10-40 s 고온 스팀으로 순간 가열시 25 s 가열시 부터 호기성 총균이 1 log CFU/g 내외 감소하기 시작하여 40 s 가열시 7.23 log에서 5.12 log로 2 log CFU/g 내외

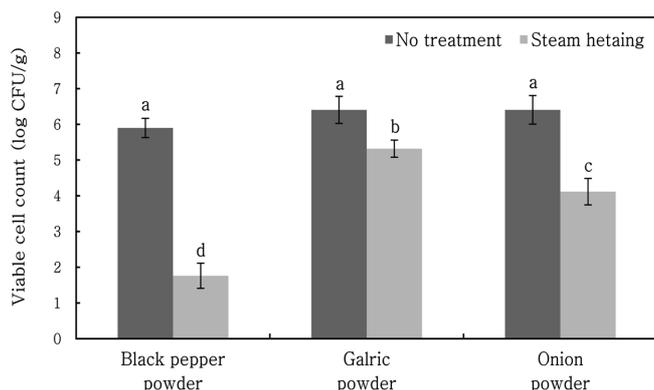


**Fig. 2. The comparison of the microbial reduction effects of non-thermal treatment as 10 kGy dose gamma rays, 12 mW/cm<sup>2</sup> dose ultraviolet irradiation and HTST using 120°C steam for 40 sec on aerobic total bacteria and thermoduric bacteria in red pepper powder.** (A) microbial reduction effects by treatment intensity, (B) microbial reduction effects under optimum treatment conditions. Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

저감화 되었다. 바실루스 계통의 내열성균도 5.70 log에서 3.60 log CFU/g 수준으로 감균되어 총균과 유사하게 2 log CFU/g 내외의 미생물 사멸효과가 나타났다. 고춧가루에 대한 식품공전상 미생물 검출 기준은 곰팡이수와 대장균에 관한 것으로 80-85°C 가열에 의해 멸균되므로 120°C 스팀가열시 미생물 관리규격을 만족하는 것으로 나타났다. 감마선 조사 방법에 비해 사멸효과는 떨어지지만 2 log CFU/g의 유효적인( $p < 0.05$ ) 감균 효과를 나타내므로 가열온도 및 처리시간 등의 살균공정 조건을 최적화하면 효과적으로 고춧가루 내 바실루스 계통의 내열성균을 제어할 수 있는 방법으로 나타났다.

본 실험 외 전기저항열로 고춧가루의 살균효과를 고찰한 타 연구사례를 살펴보면, 전계강도를 700 V/m으로 하여 가열온도를 90°C로 고정하고 40 min ohmic heating으로 열처리하였을 때 색도 변화가 거의 없이 초기 생균수가 6.93 log CFU/g에서 2.32 log CFU/g으로 4.78 log CFU/g 내외 감소하여 적용 가능성이 입증되어 가열 살균 방법이 고춧가루의 미생물 제어에 효과적임을 알 수 있었다(Jo 등, 2014; Lee 등, 2000).

스팀 가열방법이 고춧가루의 미생물 저감화에 효과 있는 것으로 나타나 유사한 균종과 성상을 가진 후후추, 마늘 및 양파 분말에 대한 살균효과도 추가로 고찰하였다. 구체적으로 후후추, 마늘, 양파 분말에는 일반세균이 6-7 log CFU/g, 내열성 바실루스 균이 3-5 log CFU/g 수준으로 자생하고 있는 것으로 알려져 있다. 실험 결과 Fig. 3에서와 같이 후후추 분말은 4 log CFU/g, 양파 분말은 2 log CFU/g, 그리고 마늘 분말은 1 log CFU/g 내외의 호기성 총균이 감소하였다. 향신야채 건조 분말 별로 살균 효과가 차이 나는 것은 바실루스 계통의 내열성균의 자생 및 오염



**Fig. 3.** The comparison of the microbial reduction effects of HTST using steam on aerobic total bacteria in various spicy vegetable powder of black pepper, garlic and onion, respectively. Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

를이 소재별로 다르기 때문으로 사료되며, 이상의 결과에서 스팀 가열살균이 분말상태의 향신료의 위생 확보에 있어 효과적인 미생물 저감 방법으로 판명되었다.

**살균 방법별 고춧가루 색상변화**

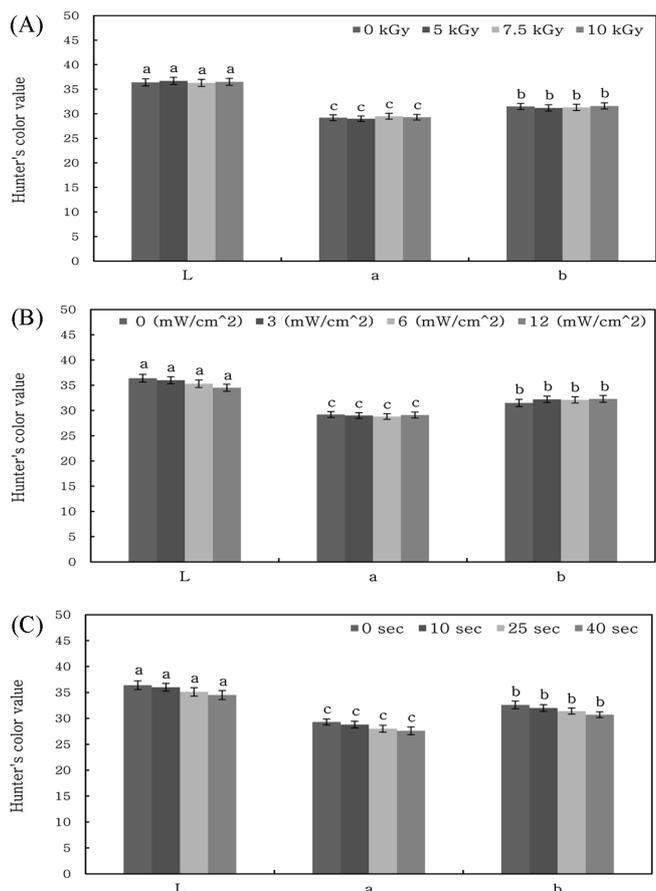
고춧가루의 경우 유효한 미생물 저감화 효과를 나타내더라도 중요한 품질지표인 색상 변화가 심하게 발생하면 실제 적용하기가 쉽지 않으므로 비가열 및 가열 처리 전후의 색도 변화를 무처리구와 비교하여 분석하였다. 실험 결과 Fig. 4에서와 같이 감마선 및 자외선 조사와 같은 비가열 살균에서는 L, a, b 값의 변화가 유의적 차이가 없는 수준( $p < 0.05$ )으로 나타나 색상변화가 살균 처리 전후에 없는 것으로 나타났다.

가열살균법인 스팀가열에 있어서도 가열 전, 후 고춧가루 색상 변화가 유의적 차이( $p < 0.05$ )가 없는 것으로 나타나(Fig. 4) 미생물 저감화 효과, 상업적 설비, 처리비용 및 소비자 선호도 등을 종합 감안시 스팀 가열이 고춧가루의 품질 손상 없이 효과적으로 고춧가루내 바실러스 계통의 내열성균을 제어할 수 있는 최적의 방법으로 사료된다. 또한 고춧가루 품질 특성의 또다른 중요 지표인 매운맛 강도와 관련된 캡사이신(capsaicin) 성분의 스팀가열후 잔존량에 대한 분석 및 고찰도 향후 수행하여 스팀가열의 상업적 활용도 향상에 대한 연구를 보강할 예정이다.

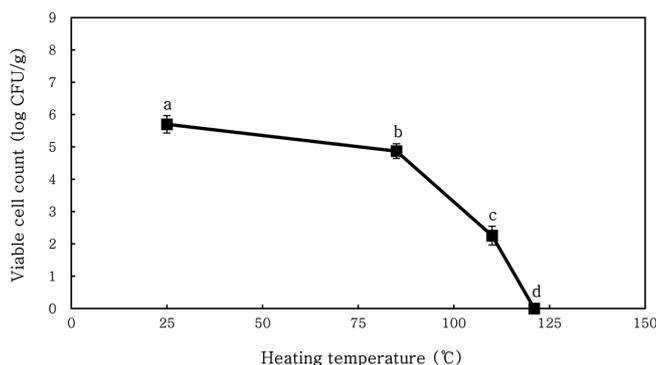
**고추장 용액 가열 살균 효과**

고춧가루로 제조한 고추장을 함유한 한식용 매운맛 소스는 내열성균 함유로 위생 리스크가 잠재하고 있어 효과적인 살균방법의 확보, 적용이 중요하다. 세부적으로 고추장 소스의 주원료인 고추장은 찹쌀, 멥쌀 등의 녹말질과 고춧가루, 콩, 물엿, 소금 등을 재료로 하여 종국을 가해 숙성시킨 대표적인 전통 발효 조미식품으로 7-8 log CFU/g의 총균이 자생하고 있으며, 특히 다량 존재하고 있는 바실러스 계통의 내열성균에 의해 가스 발생, 변색 등의 품질 저하가 일어 나므로 저감화 방법이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 고추장 소스의 모델 식품으로 고추장 용액을 시료로 하여 가열살균 효과에 대한 세부 고찰을 실시하였다(Kim과 Moon, 2014; Lee 등, 2012).

현재 고추장 소스의 살균방법으로 많이 사용되고 있는 방법이 밀봉 후 고온에서 장시간 가열하는 레토르트 처리이다. 레토르트는 121°C에서 20 min 내외 처리하여 상업적 멸균에 도달하는 방



**Fig. 4.** The comparison of the color value of red pepper powder by various non-thermal treatment as (A) gamma rays, (B) ultraviolet irradiation and (C) HTST at 120°C. L: Degree of lightness (white +100 ↔ 0 black), a: Degree of redness (red +100 ↔ -80 green), b: Degree of yellowness (yellow +70 ↔ -80 blue). Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .



**Fig. 5.** The comparison of the microbial reduction effects (detection limit: 0.5 log CFU/g) of HTST using steam with various heating temperature (85, 110, and 121°C for 30 sec) on aerobic total bacteria in Gochujang (red pepper paste) solution. Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

법으로 고춧가루내 바실러스 계통의 내열성 포자균까지 사멸시킬 수 있지만 과도한 열처리에 의해 매운맛, 향 및 고유 색상 등의 관능품질이 저하되어 상품력 측면에서 여러 불리한 점이 많

다. 따라서 본 연구에서는 고추장 소스의 효과적인 상업적 미생물 제어 방법으로 기존 레토르트를 대체할 수 있는 고온 순간 가열 방식인 HTST를 적용하여 실험하였다. 고추장을 정제수에 10 배 희석한 고추장 용액을 이용한 살균 실험 결과, Fig. 5에서와 같이 110°C, 30 s의 가열 조건에서 부터 호기성 총균수가 무처리 5 log CFU/g에서 2.26 log CFU/g로 효과적으로 감소하기 시작하였으며, 121°C, 30 s 처리에서는 상업적 멸균상태로 나타나 고온 순간 가열법이 고춧가루 및 고추장을 함유한 매운맛 소스의 효과적인 살균방법으로 판명되었다.

## 요 약

본 연구에서는 위생적인 고춧가루 및 고추장 소스의 효과적인 살균방법을 확립하기 위한 기반 연구로서 감마선, 자외선 조사를 이용한 비가열 살균 및 스팀을 이용한 직,간접 가열살균에 의한 미생물 저감화 효과에 대한 세부 고찰을 실시하였다. 실험 결과 호기성 총균 및 내열성균이 10 kGy 선량 감마선 조사에서는 각각 5-6 log CFU/g, 방사조도 12 mW/cm<sup>2</sup> 자외선 조사는 1 log CFU/g 내외, 그리고 120°C, 40 s 스팀가열 살균시는 2 log CFU/g 내외의 감균 효과를 나타내었다. 스팀 가열살균 방법은 감마선 조사 대비 사멸효과는 떨어지지만 2 log CFU/g의 유효적인( $p < 0.05$ ) 미생물 저감화 효과를 나타내므로 가열온도 및 처리시간 등의 살균공정 조건을 최적화하면 살균효과, 상업적 설비, 처리비용 및 소비자 선호도 등을 종합 검토시 색상 품질 손상 없이 효과적으로 고춧가루내 바실루스 계통의 내열성균을 제어할 수 있는 방법으로 사료된다. 또한 120°C 스팀 순간 가열살균시 흑후추 분말은 4 log CFU/g, 양파 분말은 2 log CFU/g, 그리고 마늘 분말은 1 log CFU/g 내외의 호기성 총균이 감소하여 다양한 향신야채 건조분말의 미생물 제어에도 유효한 방법으로 판명되었다. 그리고 고추장 용액 경우도 고온 순간 가열방식인 HTST 적용시 110°C에서 부터 호기성 총균수가 무처리 5 log CFU/g에서 2.26 log CFU/g로 효과적으로 감소하기 시작하여, 121°C 처리에서는 상업적 멸균상태로 나타나 고춧가루 및 고추장을 함유한 매운맛 소스의 효과적인 살균방법으로 판명되었다.

## References

- Cheigh CI, Lee JH, Chung MS. Quality Characteristics of vegetables by different steam treatments. *Korean J. Food Nutr.* 24: 464-470 (2011)
- Cho KH, Kang SA. Effects quality characteristics and development of global sauce using traditional *Gochujang*. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 16: 8089-8095 (2015)
- Choi JB, Cho WI, Jung JY, Chung MS. Sterilization of *Gochujang* sauce with continuous ohmic heating. *Korean J. Food Sci. Technol.* 47: 474-479 (2015)
- Choi JI, Oh HI, Cho MS, Oh JE. Change in the quality characteristics of red pepper powder according to the storage method. *J. Korean Soc. Food Cult.* 33: 125-132 (2018)
- Choi EJ, Yang HS, Park HW, Chun HH. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* in red pepper powder using a combination of radio frequency thermal and indirect dielectric barrier discharge plasma non-thermal treatments. *LWT-Food Sci. Technol.* 93: 477-484 (2018)
- Chun HH, Kim JY, Kim HJ, Song KB. Effect of UV-C irradiation on the quality of red pepper powder during storage. *Korean J. Food Preserv.* 16: 454-458 (2009)
- Jo EJ, Oh SW, Hur BS, Hong SP. Effect of joule heating and hydrostatic pressure on reduction of total aerobes and spores of *Bacillus cereus* in sauces prepared with traditional Korean fermented foods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1619-1626 (2014)
- Jung JJ, Choi EJ, Lee YJ, Kang ST. Effects of infrared pasteurization on quality of red pepper powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 156-160 (2011)
- Kang YR, Lee SH, Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Hwang Y, Yoo SM, Kim HR, Kim HY, Lee JS, Jeong HS. Bulk properties of red pepper powder by drying method and variety. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1320-1325 (2012)
- Kim JE, Kim IH, Min SC. Microbial decontamination of vegetables and spices using cold plasma treatments. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 735-741 (2013)
- Kim YS, Moon HK. Microbiological quality evaluation of foods (*Ojingeochaesomoochim* : vegetable salad with blanched squid) that went through cooking process after heating treatment in school food services. *Korean J. Food Cook. Sci.* 30: 51-63 (2014)
- Kim SI, Park JN, Cho WJ, Song BS, Kim JH, Byun MW, Sohn HS, Lee JW. Microbiological and sensory qualities of *Musaengchae* (Radish Salad) with gamma-irradiated red pepper powder added prior to storage. *Korean J. Food Preserv.* 16: 160-165 (2009)
- Kim JY, Yo EY. Study on Korean fermented sauce applied to western cuisine-Focused on red pepper paste, soybean paste, soy sauce and vinegar-. *J. East Asian Soc. Diet. Life* 27: 223-234 (2017)
- Ku KH, Lee KA, Koo MS. Comparison of physicochemical and microorganism characteristics between the air-dried and sun-dried red pepper in South Korea. *Korean J. Food Preserv.* 21: 451-459 (2014)
- Lee NH, Jo EJ, Oh SW, Hong SP. Study on the hurdle technique for the reduction of *Bacillus cereus* spores in *Doenjang* and *Gochujang*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1842-1846 (2012)
- Lee SH, Lee HJ, Byun MW. Effect of ozone treatment and gamma irradiation on the microbial decontamination and physicochemical properties of red pepper powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 462-467 (1997)
- Lee HS, Lee WD, Koh BH, Lee MS. Preparation of squid-*Jeotkal* with pasteurized red pepper I. Pasteurization of red pepper powder by ohmic heating. *J. Fd. Hyg. Saf.* 15: 13-17 (2000)
- Mok CK, Jeon HJ. Reduction of microorganisms in red pepper powder by low pressure discharge plasma. *Food Eng. Prog.* 16: 107-112 (2012)
- Oh YJ, Park GD, Lee IS, Kweon SH, Jeong YH. Analysis of microbial contamination in commercial *Saengshik* products. *J. East Asian Soc. Diet. Life* 19: 798-802 (2009)
- Park SB, Kwon SC. Microbiological hazard analysis for HACCP system application to red pepper powder. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 16: 2602-2608 (2015)
- Song YJ, Psrk SW, Chun SC, Choi MJ, Chung KC, Lee SK. Efficient treatment methods for reducing *Escherichia coli* populations in commercially-available red pepper powder in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 875-880 (2012)
- 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. Fd. Hyg. Saf.* 27: 427-431 (2012)