Journal of Radiation Industry 8(1) : 1~5(2014)

고춧가루 오염 미생물의 제어에서 방사선종별 조사 효과

박 경 숙*

장안대학교 식품영양학과

Comparison of Irradiation Effect of Different Radiation Types on Decontamination of Microorganisms in Red Pepper Powder

Kyung-Sook Park*

Department of Food and Nutrition, Jangan University, Hwasung 445-756, Korea

Abstract - This study investigated the reduction of microbial population and sensory properties in red pepper powders irradiated by gamma ray, electron beam, and X-ray. Populations of total aerobic bacteria and yeast & molds in red pepper powders were decreased by irradiation treatment in a dose-dependent manner. Gamma ray, electron beam, and X-ray at doses above 8 kGy caused 100% inhibition on growth of aerobic bacteria in red pepper powders. Inhibitory activity of X-ray on sterilization of red pepper powders was significantly equal to or higher compared to gamma ray and electron beam. Color and off flavor in red pepper powders were no significant difference among the control and samples irradiated with gamma ray, electron beam, and X-ray. As a result, the gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation can be used to sterilize the microbial growth in red pepper powders without quality loss.

Key words : Radiation sources, Decontamination, Quality properties, Red pepper powder

서 론

대표적인 향신료인 고추는 우리나라의 각종 고추장, 김치, 젓갈류 등에 널리 이용되고 있으며 한국인의 식생활에서 중요한 위치를 점하고 있다. 우리나라에서 생산된 고추 중 일부는 생식용으로 사용되고 있으며 대부분은 건조 후 고춧가루로 만들어져 식품첨가용 향신료로 이용되고 있다(Shin and Lee 1991). 국내외에서 고추의 품종, 부위별 성분 등에 관한 연구는 물론 고추의 건조 및 가공처리에 관한 연구가 행하여졌으며, 이 과정 중에 발현되는 품질 변화 등에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 현재, 고춧가루의 대량 생산화에 따라 건조, 가공, 저장, 유통 과정에서 미생물 오염과 같은 위생 및 안정성 문제가 중요시 되고 있다(Kwon *et al*. 1994; Byun *et al*. 1996). 따라서 고춧가루에 분포하는 위해 미생물의 효과적인 살균처리 기술 개발이 필요한 실정이다.

기존에는 식품 살균처리 기술 중 하나인 Ethylene oxide를 이용한 훈증법이 이용되어 왔으나 현재 환경문제 및 발암성 등의 문제로 사용이 금지된 상태이다(UNEP 2000). 그 밖에도 heating, 오존수 처리, 적외선, UV, LED 등의

* Corresponding author: Kyung-Sook Park, Tel. +82-31-299-3066, Fax. +82-31-299-3609, E-mail. pksook0730@jangan.ac.kr

방법이 이용되고 있지만, 이러한 살균 처리기술은 고온처리로 인한 식품의 품질변화 및 영양 손실을 가져오거나, 환경문제 및 유해성분 생성에 따른 부작용 등이 제기되고 있다(Chun *et al*. 2009; Jung *et al*. 2011; Song *et al*. 2012; Yun *et al*. 2012). 이에 따라 보다 친환경적이고 효과적인 대체방법이 필요한 실정이다. 방사선 조사는 상기 살균처리 기술과 비교하여 열이나 화학약품을 사용하지 않으며 식품의 영양성분, 관능 및 외관 품질변화도 적어서 화학적 살균처리의 대체법으로 외국에서 널리 실용화되고 있다. 안정성 측면에서도 식품 미생물의 살균처리 기술로서 USDA에 의해 승인되었다(APHIS 2006).

본 연구에서는 수확 후 건조 및 분쇄 과정을 거치면서 유해 미생물 오염에 노출이 많은 고춧가루에 대해 감마선, 전자선 및 X-선을 이용하여 방사선 선종에 따른 살균효과를 확인하고 색도 및 관능적 특성에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 시료로서 고추(*Capsicum annum* L.) 분말은 전라북도 정읍 S시장의 고추방앗간에서 2013년 산 통 고추를 꼭지와 종자를 제거한 후 분말화한 것을 사용하였다. 구입 후, Low density polyethylene (LDPE) bag에 3 cm 이하의 두께가 되도록 진공 및 함기포장하여 미생물 검사실험과 관능평가에 사용하였다.

2. 방사선 조사 처리

감마선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소(정읍) 내 선원 11.1 PBq, ^{60}Co감마선 조사시설(Point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Canada)을 이용하여 시간당 10 kGy의 선량률로 고춧가루에 대하여 2, 4, 6, 8, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량 확인은 Alanine dosimeter (Bruker Instruments, Germany)를 사용하였다. Dosimetry 시스템은 국제원자력기구(IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 후 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 5% 이내였다. 전자선 조사는 LINAC Electron Accelerator (Model ELV-8, 10 MeV, Eb-Tech, Korea)를 이용하여 총 흡수선량이 2, 4, 6, 8, 10 kGy가 되도록 조사하였다. X-선 조사는 LINAC Electron Accelerator (Model ELV-8, 7.5 MeV, Eb-Tech, Korea)에 X-선 컨버터를 부착하여 총 흡수선량이 2, 4, 6, 8, 10 kGy가 되도록 조사하였다. 전자선과 X-선의 흡수선량은 cellulose triacetate dosimeter system을 이용하여 확인하였다.

3. 미생물 오염도 평가

감마선, 전자선 및 X-선 조사한 향신료의 미생물 오염도를 측정하기 위하여 시료 1 g에 멸균된 0.8% Nutrient Broth (Beef extract 3 g l^{-1}, peptone 5 g l^{-1})용액 9 ml를 첨가한 다음 혼합하여 10진 희석법으로 희석한 희석액을 Total plate count agar (PCA), Potato dextrose agar (PDA), Eosin methylene blue agar (EMB) 배지에 도말 하였다. 미생물의 증식은 표준한천배양법에 준하여 PCA와 EMB 배지는 35℃에서 48시간, PDA배지는 25℃에서 72시간 배양한 후 30～300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 CFU g^{-1}로 나타내었다. PCA, PDA, EMB 배지와 Nutrient Broth 등의 시약은 Becton, Dickinson and company, USA 제품을 구입하여 사용하였다.

4. 색도 측정 및 관능적 품질 평가

고춧가루의 색도는 색도계(Minolta, Japan)를 이용하여 10회 반복 측정하였으며, Hunter's value에 의한 명도(L값), 적색도(a값), 황색도(b값)로 나타내었다. 고춧가루의 살균에 사용된 감마선, 전자선 및 X-선 조사가 시료의 관능적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 차이식별 능력에 따라 선발된 10명의 검사요원에게 실험의 목적과 방법을 주지시킨 다음, 살균 처리된 고춧가루의 이취(조사취)에 중점을 두어 관능적 품질 평가를 실시하였다. 시료에 대한 등급은 7단계로 평가하였다.

5. 통계 분석

모든 미생물 오염실험은 3회 반복 실시하였으며, 관능적 품질평과와 색도측정은 10회 실시하였다. 얻어진 결과들은 SPSS software (2000)에서 프로그램에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석을 한 후 Duncan의 다중위검정 ($P<0.05$)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 미생물 살균효과 평가

본 실험에서는 시판 유통 중인 고춧가루를 대상으로 하여 감마선, 전자선 및 X-선 조사의 살균효과를 비교 확인하였다. 시판 고춧가루의 포장별로 검출된 미생물 농도를 Table 1에 나타내었다. 미생물 오염도의 실험 결과, 고춧가루에 혼입된 초기 호기성 균수는 진공과 함기

Table 1. Comparative effects of gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation on microbial populations of red pepper powders

Packing type	Microorganism	Sources	Irradiation dose (kGy)					
			0	2	4	6	8	10
Vacuum	Total bacteria	Gamma ray	3.4×10^6	3.5×10^5	1.5×10^5	1.5×10^4	0	0
		Electron beam	3.7×10^6	2.5×10^5	0.5×10^5	0.5×10^4	0	0
		X-ray	3.7×10^6	4.0×10^5	0.5×10^5	0.5×10^4	0	0
	Yeast & Molds	Gamma ray	2.1×10^6	2.5×10^5	0	0	0	0
		Electron beam	2.1×10^6	2.5×10^5	0	0	0	0
		X-ray	2.1×10^6	1.5×10^5	0	0	0	0
	Coli forms	Gamma ray	0	0	0	0	0	0
		Electron beam	0	0	0	0	0	0
		X-ray	0	0	0	0	0	0
Air containing	Total bacteria	Gamma ray	3.7×10^6	3.0×10^5	1.0×10^5	1.0×10^4	0	0
		Electron beam	3.7×10^6	2.5×10^5	0.5×10^5	1.0×10^4	0	0
		X-ray	3.7×10^6	3.0×10^5	1.0×10^5	1.0×10^4	0	0
	Yeast & Molds	Gamma ray	1.4×10^6	4.5×10^5	0	0	0	0
		Electron beam	1.4×10^6	3.0×10^5	0	0	0	0
		X-ray	1.4×10^6	3.0×10^5	0	0	0	0
	Coli forms	Gamma ray	0	0	0	0	0	0
		Electron beam	0	0	0	0	0	0
		X-ray	0	0	0	0	0	0

*Unit: CFU g^{-1}
*n=3

포장에서 평균 3.7×10^6 CFU g^{-1}수준이었다. 위생지표 미생물인 대장균군은 진공포장에서 평균 2.1×10^6 CFU g^{-1}, 함기포장에서 1.4×10^6 CFU g^{-1}가 검출되었으며 효모와 곰팡이류는 검출되지 않았다. 방사선 3종(감마선, 전자선, X-선)을 이용한 고춧가루의 오염 미생물에 대한 미생물실험 결과, 모든 선종은 8 kGy 이상의 선량에서 호기성 총균에 대하여 100% 살균을 나타내었으며, 4 kGy 이상의 선량에서 대장균군에 대하여 100% 살균을 나타내었다(Table 1). 또한 조사선량에 따라 감마선, 전자선 및 X-선 6 kGy 이상의 선량에서 10^4 CFU g^{-1}수준으로 호기성균의 살균이 가능하였다(Table 1). 방사선 3종의 살균효과를 비교하기 위하여 초기 오염 총세균의 농도를 90% 사멸시키는 데 필요한 조사선량(D_{10}value)을 계산하여 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타난 바와 같이 진공과 함기포장에서 감마선은 1.34～1.39 kGy, 전자선은 1.41～1.42 kGy, X-선은 1.40～1.39 kGy 범위의 D_{10}value를 나타내었으며, 선종과 포장 조건에 따른 살균효과의 유의차는 나타나지 않았다(Table 2). 국내 식품공전에는 고춧가루에 대한 곰팡이수만 규정되어 있을 뿐 대장균군 및 호기성 균수에 대한 기준은 규정되어 있지 않다(한국식품산업협회 2012). 기존 논문에 의하면 시판 고춧가루에서 호기성 균수는 $1.1\sim5.8\times10^6$ CFU g^{-1}을 나타내었다고 보고되었으며, 이는 본 실험결과와 유사한 수치를 나타내었다. 또한 조사선량에 따라 감마선 및 전자선 8 kGy 이상의 선량에서 미생물을 완전 사멸할 수 있으며, 6 kGy 이상의 선량에서 10^4 CFU g^{-1}수준으로 호기성 균수의 조절이 가능하다고 보고되었다(Byun *et al*. 1996; Lee *et al*. 1997; Lee *et al*. 2000; Jeong *et al*. 2013).

Table 2. Radiosensitivity of total bacteria contaminated in red pepper powders

Packing type	Sources	D_{10}value (kGy)
Vacuum	Gamma ray	1.40 a
	Electron beam	1.41 a
	X-ray	1.40 a
Air containing	Gamma ray	1.39 a
	Electron beam	1.42 a
	X-ray	1.39 a

*Values followed by same letters in column are not significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test (n=3).

2. 색도 및 관능적 품질에 미치는 영향 평가

고춧가루의 품질 안정성과 저장성을 보존하기 위한 방법으로 두 가지의 포장법(진공, 함기)을 이용하여 실험을 실시하였다. 시판 고춧가루의 기계적 색도를 측정한 결과, 비 조사 처리구의 색도 값은 다음과 같다. 진공포장 처리구의 평균 L값은 45.27, 평균 a값은 17.33, 평균 b값은 10.10로 나타났고, 함기포장 처리구의 평균 L값은 45.16, 평균 a값은 17.20, 평균 b값은 9.82로 나타났다

(Table 3). 고춧가루의 붉은 색 정도를 나타내는 a값의 경우 비조사 처리구와 비교하여 진공 및 함기포장 처리구에서 선량에 따른 유의차는 나타나지 않았다. 전자선 10 kGy 조사된 진공과 함기포장 처리구의 고춧가루에서는 약간의 적색도가 더 높아지는 경향을 나타내었다 (Table 3). 그 외 L값과 b값의 결과 또한 비조사 처리구와 비교해서 전자선 10 kGy의 진공포장 시료를 제외한 모든 처리 선량에서 유의차는 나타나지 않았다. 감마선, 전자선 및 X-선 조사 처리된 고춧가루의 관능평가 결과는 Table 4에 나타내었다. 관능평가의 측정 항목으로는 이취(조사취)를 중점으로 평가하였다. 본 실험 결과, 함기포장된 전자선 처리구를 제외한 모든 처리구에서 8 kGy 이상의 방사선을 조사할 경우 관능평가의 유의차를 나타내었다(Table 4). 결과적으로 8 kGy 이하의 감마선, 전자선 및 X-선이 조사 처리된 고춧가루는 대조구와 비교하여 이취의 관능적 측면에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 감마선 및 전자선 조사된 고춧가루가 대조구와 비교해서 색도나 관능 측면에서 유의적인 차이를 보이지 않았다는 기존의 보고와 일치하는 것이다(Byun *et al*. 1996; Lee *et al*. 1997; Lee *et al*. 2000).

Table 3. Comparative effects of gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation on Hunter's color value of red pepper powders

Packing type	Sources	kGy	L*	a*	b*
		0	45.27 abc	17.33 a	10.10 a
Vacuum	Gamma ray	2	45.31 ab	17.66 a	10.32 a
		4	45.69 abcd	18.15 a	10.74 abc
		6	45.42 abc	17.55 a	10.33 ab
		8	45.27 abcd	17.71 a	10.37 ab
		10	45.49 abc	18.05 a	10.72 ab
	Electron beam	2	45.55 abc	18.18 a	10.64 ab
		4	45.42 abc	17.61 ab	10.18 a
		6	45.55 abcd	17.92 a	10.53 abc
		8	45.42 abcd	17.53 a	10.13 abc
		10	45.53 d	18.04 b	10.49 c
	X-ray	2	45.31 ab	17.66 a	10.32 abc
		4	45.69 bcd	18.15 ab	10.74 ab
		6	45.42 cd	17.55 a	10.33 ab
		8	45.27 abcd	17.71 a	10.37 ab
		10	45.49 a	18.05 a	10.72 ab
Air contaning		0	45.16 a	17.20 a	9.82 a
	Gamma ray	2	45.11 a	17.64 ab	10.36 a
		4	45.45 a	17.56 ab	10.20 a
		6	45.57 a	17.93 ab	10.68 a
		8	45.37 a	17.60 ab	10.25 a
		10	45.04 a	17.22 ab	9.78 a
	Electron beam	2	45.16 a	17.37 ab	10.04 a
		4	45.23 a	17.18 ab	9.89 a
		6	45.35 a	17.78 ab	10.29 a
		8	45.37 a	17.66 ab	10.31 a
		10	45.69 a	18.48 b	10.97 a
	X-ray	2	45.11 a	17.64 ab	10.36 a
		4	45.45 a	17.56 ab	10.20 a
		6	45.57 a	17.93 ab	10.68 a
		8	45.37 a	17.60 ab	10.25 a
		10	45.04 a	17.22 ab	9.78 a

*Values followed by same letters in column are not significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test (n=10).
*L: lightness (1 ~ 100), a: green (−60) ~ red (60), b: blue (−60) ~ yellow (60)

결 론

본 연구에서는 시판 유통 중인 고춧가루의 효과적인 살균방법 개발을 목적으로 감마선, 전자선 및 X-선 조사에 따른 오염 미생물의 살균효과와 관능적 품질특성을 비교 검토하였다. 본 연구에서 검토된 X-선 조사는 기존의 감마선, 전자선과 비교하여 동일한 살균효과를 나타내었다. 본 연구에서 검토된 3종류의 방사선 선원 모두 8 kGy 이상의 선량에서 100%의 살균효과를 나타내었으며, 색도 및 관능적 평가에서 유의차를 나타내지 않았다. 따라서 고춧가루의 위생화를 위한 살균처리 방법으로서 기존의 감마선, 전자선을 포함 X-선 조사가 효율적임을 알 수 있었다.

Table 4. Off flavor test of red pepper powders irradiated with gamma ray, electron beam and X-ray

Packing type	Sources	Irradiation doses (kGy)					
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
Vacuum	Gamma ray	1.5 a	2.1 a	2.5 ab	2.8 ab	3.0 bc	3.4 c
	E-beam	1.5 a	1.8 a	2.0 a	2.3 ab	2.9 bc	3.3 c
	X-ray	1.5 a	2.0 ab	2.6 ab	2.6 ab	3.3 c	3.1 bc
Air contaning	Gamma ray	1.6 a	2.4 ab	2.3 ab	2.2 ab	3.4 b	3.3 b
	E-beam	1.6 a	2.0 ab	1.5 a	2.6 ab	2.3 ab	3.7 b
	X-ray	1.6 a	2.0 a	2.4 ab	2.3 ab	2.9 bc	3.1 c

*Values followed by same letters in row are not significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test (n=10).
*1: weak, 7: strong

사 사

본 연구는 장안대학교 교내연구비 지원사업의 일환으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

한국식품산업협회. 2012. 제5장 식품별 기준 및 규격. pp. 153-154. *In*: 식품공전, 문영사, 서울.

Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), 2006. Treatments for fruits and vegetables. *Fed. Regist.* **71**(18): 4451-4464.

Byun MW, Yook HS, Kwon JH and Kim JO. 1996. Improvement of hygienic quality and long-term storage of dried red pepper by gamma irradiation. *J. Food Sci. Technol.* **28**(3): 482-489.

Chun HY, Kim JY, Kim HJ and Song KB. 2009. Effect of UV-C irradiation on the quality of red pepper powder during Storage. *Korean J. Food Preserv.* **16**(3):454-458.

Jeong MS, Ahn JJ, Akram K, Kim GR, Im JG and Kwon JH. 2013. Microbiological and physicochemical quality characterization of commercial red pepper powders. *J. Fd Hyg. Safety* **28**(1):1-6.

Jung JJ, Choi EJ, Lee Y and Kang ST. 2011. Effects of Infrared Pasteurization on Quality of Red Pepper Powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* **43**(2):156-160.

Kwon JH, Byun MW, Cho HO and Han BH. 1994. Comparative effects of gamma irradiation and ethylene oxide fumigation on some chemical quality of white ginseng powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* **26**:278-282.

Lee JL, Kwon OJ and Kwon JH. 2000. Effects of electron beam irradiation on microbiological and organoleptic qualities of powdered red pepper and ginger. *Korean J. Food Sci. Technol.* **32**(2):380-386.

Lee SH, Lee HJ and Byun MW. 1997. Effects of ozone treatment and gamma irradiation on the microbial decontamination and physicochemical properties of red pepper powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **26**(3):462-467.

Shin HH and Lee SR. 1991. Attempts to estimate the use level of red pepper in kimchi and gochujang (hot soy paste). *Korean J. Food Sci. Technol.* **23**:301-305.

Song YJ, Park SW, Chun SC, Choi MJ, Chung KC and Lee SK. 2012. Efficient Treatment Methods for Reducing Escherichia coli Populations in Commercially-Available Red Pepper Powder in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **41**(6): 875-880.

UNEP. 2000. The Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Secretariat for the Vienna convention for the protection of the ozone layer & the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Nairobi. Kenya.

Yun H, Park K, Ryu KY, Kim SR, Yun JC and Kim BS. 2012. Effects of LED treatment on microbial reduction and quality characteristics of red pepper powder. *J. Fd Hyg. Safety.* **27**(4):442-448.

Manuscript Received: January 2, 2014
Revised: January 23, 2014
Revision Accepted: January 30, 2014