Journal of Radiation Industry 8(2) : 83~88(2014)

건조 향신료 3종에 대한 방사선종별 조사효과 비교

박 경 숙*

장안대학교 식품영양학과

Comparison of Three Radiation Sources on Quality Properties of Three Dried Condiments

Kyung-Sook Park*

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

Abstract - Application of X-ray irradiation of dried condiments was studied using commercially prepared dried garlic, onion and welsh onion flakes as model samples. Total load of aerobic microbes (TAM), color differences, and generation of off-flavor were quantified for samples individually irradiated with gamma rays, electrons, or X-rays. TAM load was decreased by irradiation in a dose-dependent manner. The three types of radiation did not differ in the extent of TAM reduction ($P>0.05$). The samples did not differ in color. Off-flavor was detected from 6 kGy-irradiated samples, regardless of radiation sources. The results indicated that X-ray irradiation could be used for irradiation of dried condiments with the same effects as gamma rays and an electron beam.

Key words : Radiation sources, Dried condiments, Reduction of microorganisms, Sensory properties

서 론

식품조사는 방사성 물질(cobalt-60 or cesium-137)에서 나오는 감마선이나 고에너지 전자빔에서 발생시킨 전자선과 전자를 탈탈륨과 같은 높은 원자번호를 가진 금속판에 충돌시켜 발생시킨 X-선 등 3종의 이온화 방사선을 사용하여 수행할 수 있다(Gregoire *et al*. 2003). 고에너지 이온화 방사선의 이용은 방사선의 출력 이용율을 개선하고, 처리시간을 단축시키고 선량 분포도를 개선시킨다는 기술적 이익이 있다. 또한, 생산성 향상과 비용절감, 제품의 최종 품질 개선 등의 실용적 이익을 얻을 수 있다(Cleland and Stichelbaut 2013).

식품조사에 이용하는 방사선종은 향후 소비자 수용성 등의 이유로 인하여 방사성 물질을 사용하는 감마선 조사에서 전자선 가속기에서 발생하는 전자선이나 X-선으로 대체될 것으로 기대되고 있다(Byun *et al*. 2009). 감마선원과 비교하였을 때, 전자선 가속기의 사용이 주는 이점 중 하나는 전자선 조사와 X-선 조사가 쉽게 전환할 수 있어 넓은 범위의 선량률을 제공할 수 있다는 것이다(Miller 2003). 이 전의 보고들에 의하면 식품이나 농산물을 조사할 때 사용하는 방사선종의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다(Van Calenberg *et al*. 1998; Van

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

Calenberg *et al*. 1999; Palou *et al*. 2007). X-선 조사를 위해 사용하는 전자선 가속기는 7.5 MeV 이하의 에너지 출력 조건에서는 조사 대상물에서도 어떠한 방사화가 없어 안전하다고 보고하고 있어 고출력 X-선 조사의 활용이 더욱 증가할 것으로 기대된다(FAO/IAEA 1995; FDA 2008). 고에너지 X-선은 전자선에 비해 투과력이 좋기 때문에 상업적 콘베이어 시스템에 도입하여 전자선이 투과할 수 없는 두께의 제품에 적절히 사용할 수 있다. 또한, 방사성 물질의 사용이 제한될 경우의 대체 방법으로서도 사용할 수 있다(McLaughlin 1999). 그러나, X-선 조사의 큰 단점은 감마선과 비교하여 낮은 에너지 효율성과 선량 분포율을 들 수 있다(Sadat 2004; Lazurik *et al*. 2007).

방사선종간 조사효과에 대한 비교 연구가 일부 수행되었는데 대부분이 감마선과 전자선 조사와의 비교였다(Choi *et al*. 2009; Kim *et al*. 2010; Park *et al*. 2010). 그러나, 세가지 방사선종에 대한 비교연구는 거의 없어 산업적 이용이나 연구 목적으로 방사선종을 선택하기 위한 정보제공에서 매우 제한적이다. 이 연구에서는 대표적으로 방사선 조사가 많이 되는 건조 향신료 3종(건조 양파, 건조 마늘, 건조 파)에 대한 미생물 감균효과와 제품 특성에 대한 비교를 통하여 감마선, 전자선, X-선 조사의 실용적 적용을 위한 기초자료를 확보하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 건조 향신료인 건조 양파, 건조 파, 건조 마늘은 태경농산(Korea)에서 공급받아 사용하였다. 공급받은 시료들은 Low density polyethylene (LDPE) bag에 2 cm 이하의 두께가 되도록 진공포장하고 방사선 조사를 실시하였다.

2. 방사선 조사

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 감균효과 시험

미생물 감균효과는 Park (2014)의 방법을 사용하여 실시하였다. 즉, 감마선, 전자선 및 X-선 조사한 건조 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 도말하였다. 미생물의 증식은 표준한천배양법에 준하여 PCA와 EMB배지는 35°C에서 48시간, PDA배지는 25°C에서 72시간 배양한 후 30～300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 CFU g^{-1}로 나타내었다. PCA, PDA, EMB 배지와 Nutrient Broth 등의 시약은 Difco Laboratories (USA) 제품을 구입하여 사용하였다. 또한, 방사선종별 미생물 감균효과는 D_{10} 값을 산출하여 비교하였다.

4. 색도 측정 및 관능적 품질 평가

방사선종별 건조 향신료 3종의 색도와 관능 품질 특성의 변화는 Park (2014)의 방법을 준용하여 실시하였다. 즉, 세 가지 선종으로 각각 방사선 조사된 건조 향신료 3종의 색도는 색도계 (Minolta, Japan)를 이용하여 10회 반복 측정하였으며, Hunter's value에 의한 명도(L값), 적색도(a값), 황색도(b값)로 나타내었다.

감마선, 전자선 및 X-선 조사가 건조 향신료 3종의 관능적 품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 차이식별 능력에 따라 선발된 10명의 검사요원에게 실험의 목적과 방법을 주지시킨 다음, 방사선 조사한 건조 향신료 3종의 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 SAS SPSS software (2008)에서 프로그램에 의한

Table 1. Comparative effects of gamma ray, electron beam and X-ray irradiations on total aerobic bacteria contaminated in three dried condiments

Condiment	Radiation sources	Irradiation dose (kGy)					
		0	2	4	6	8	10
Dried garlic	Gamma ray	3.28^{c}	2.30^{b}	1.00^{a}	ND*	ND	ND
	Electron beam		2.00^{b}	1.00^{a}	ND	ND	ND
	X-ray		2.40^{b}	1.26^{a}	ND	ND	ND
Dried onion	Gamma ray	4.93^{c}	3.57^{b}	2.18^{ab}	1.60^{a}	ND	ND
	Electron beam		3.32^{b}	1.90^{ab}	1.47^{a}	ND	ND
	X-ray		3.63^{b}	2.15^{ab}	1.54^{a}	ND	ND
Dried welsh onion	Gamma ray	2.63^{b}	0.95^{a}	ND	ND	ND	ND
	Electron beam		1.64^{ab}	ND	ND	ND	ND
	X-ray		1.49^{ab}	ND	ND	ND	ND

Unit: CFU g^{-1}

$^{a-c}$Values followed by different letters in dried onion are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test (n=5).

*ND: Not detected on plates.

ANOVA test를 이용하여 분산분석을 한 후 Duncan의 다중위검정 ($P<0.05$)을 실시하였다.

결과 및 논의

1. 미생물 살균효과 평가

가공식품의 부원료로 많이 이용되는 건조 향신료 중 건파, 건양파 건마늘에 대한 감마선, 전자선 및 X-선 조사의 살균효과를 비교 확인하였다 (Table 1). 초기 미생물 오염도는 건마늘의 경우 3.28 Log CFU g^{-1} 수준이었고, 건양파는 4.93 Log CFU g^{-1}, 건파는 2.63 Log CFU g^{-1} 수준이었다. 위생지표 미생물인 대장균군과 효모 및 곰팡이의 생육은 관찰되지 않았다. 방사선 3종 (감마선, 전자선, X-선)의 조사에서 이들 3종의 향신료에 오염된 미생물수는 감소하였다. 건마늘과 건파의 경우는 각각 6 kGy와 4 kGy 이상의 선량에서 조사되었을 때 생육이 관찰되지 않았고, 건양파는 8 kGy 이상의 선량에서 오염 미생물이 사멸되는 것으로 나타났다. 방사선 선종간의 차이를 비교하였을 때, 2 kGy 감마선 조사된 건파 시료에서 통계학적 유의성을 갖는 살균효과가 더 높게 나타났으나 ($P<0.05$), 다른 선량에서는 유의성이 발견되지 않았다. 따라서, 방사선종간 살균효과를 좀더 정확히 비교하기 위하여 초기 오염 세균의 농도를 90% 사멸시키는 데 필요한 조사선량 (D_{10} value)을 계산하여 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타난 바와 같이 건마늘은 1.51～1.59 kGy, 건양파는 1.93～2.10 kGy, 건파는 1.52～1.56 kGy 범위의 D_{10} 값을 나타내었다. 선종간 차이는 건마늘 시료의 경우 전자선이 1.51 kGy로 가장 낮았으며, 감마선이 1.59 kGy로 가장 높았으나, 통계학적 유의성은 발견되지 않았다. 건양파는 높은 초기 미생물 오염 수준과 건조 상태로 인하여 다른 향신료보다 다소 높은 선량을 요구하는 것으로 나타났다. 감마선이 살균효과가 가장 좋았으며, X-선 조사가 다소 낮은 것으로 나타났다. 건파에서는 선종간 차이가 나타나지 않았다. 기존 연구들에 의하면 시판 고춧가루 등 향신료 감균시험 등에서 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, 2000; Jeong *et al*. 2013;). 또한, 전자선과 X-선 조사 비교 연구에서도 거의 동일한 조사효과가 있다고 보고되어 있어 (Woods and Pikaev 1994; Van Calenberg *et al*. 1998), 미생물 감균효과에 대한 방사선 조사선종간 차이는 없는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 건조향신료의 위생화를 위한 방사선종의 선택은 시료의 상태, 작업 생산성 및 경제성과 법규 등을 고려하여 조사선종을 선택할 수 있을 것이다

Table 2. Radiosensitivity of total bacteria contaminated in three dried condiments

Condiment	Radiation sources	D_{10} value (kGy)
Dried garlic	Gamma ray	1.59
	Electron beam	1.51
	X-ray	1.57
Dried onion	Gamma ray	1.93^{a}
	Electron beam	1.98^{ab}
	X-ray	2.10^{b}
Dried welsh onion	Gamma ray	1.52
	Electron beam	1.52
	X-ray	1.56

$^{a-b}$Values followed by different letters in dried onion are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test (n=5).

Table 3. Comparative effects of gamma-ray, electron beam and X-ray irradiation on the Hunter's color values of dried condiments

Condiment	Parameters	Sources	Dose (kGy)					
			0	2	4	6	8	10
Dried welsh onion	*L*-value	GR	64.1	66.1	66.9	64.8	67.3	65.3
		EB		66.0	63.3	64.0	66.4	66.0
		XR		64.1	64.4	64.6	66.5	65.4
	a-value	GR	5.2	5.7	5.6	5.7	5.3	5.6
		EB		5.2	5.0	5.3	5.5	5.3
		XR		5.6	5.9	5.5	5.7	5.4
	b-value	GR	15.7	16.3	16.8	15.4	16.4	16.5
		EB		16.2	16.3	14.7	16.8	16.7
		XR		15.9	16.3	16.2	16.8	16.4
Dried onion	*L*-value	GR	79.4	79.6	76.5	77.1	80.4	76.5
		EB		76.1	78.1	77.8	80.0	79.5
		XR		81.1	79.9	77.9	78.1	79.5
	a-value	GR	5.5^{b}	4.9^{b}	3.5^{a}	3.3^{a}	3.0^{a}	2.9^{a}
		EB		5.1^{b}	3.5^{a}	3.4^{a}	3.4^{a}	2.7^{a}
		XR		4.9^{b}	4.3^{ab}	4.0^{ab}	3.7^{ab}	3.3^{a}
	b-value	GR	26.1	23.9	24.1	24.9	23.6	24.0
		EB		25.6	23.7	25.7	24.0	24.8
		XR		22.6	24.2	27.4	24.0	23.9
Dried garlic	*L*-value	GR	90.6	88.2	87.3	88.2	88.5	88.7
		EB		91.5	91.2	91.3	90.6	91.2
		XR		90.8	90.0	90.8	90.4	90.9
	a-value	GR	1.2	1.4	1.5	1.4	1.2	1.5
		EB		1.2	1.3	1.3	1.5	1.4
		XR		1.4	1.6	1.5	1.5	1.5
	b-value	GR	15.8	16.2	16.1	16.0	16.0	16.6
		EB		15.6	15.3	14.6	15.8	14.8
		XR		15.9	16.0	15.8	16.9	15.3

$^{a-b}$Values followed by different letters in *a*-value of dried onion are 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)

(Cleland and Stichelbaut 2013).

2. 색도에 미치는 영향 평가

세가지 건조 향신료(건마늘, 건양파, 건파)의 방사선종별 색도에 미치는 효과는 Table 3과 같다. 비조사된 건마늘의 평균 *L*값은 90.67, 평균 *a*값은 1.2, 평균 *b*값은 15.8로 나타났고, 방사선 조사에 의해 큰 변화를 나타내지 않았으며, 선종간 차이도 없었다. 건양파의 경우 평균 *L*값은 79.4, 평균 *a*값은 5.5, 평균 *b*값은 26.1로 나타났는데, *a*값에서 조사선량에 의한 차이가 발견되었다. 조사선량이 높아질수록 *a*값의 감소가 발견되었으며, 흡수선량에 의존적이었다($P<0.05$). 그러나, 선종간의 차이는 나타나지 않았다. 건파의 색도는 비조사구에서 평균 *L*값이 64.1, 평균 *a*값이 5.2, 평균 *b*값이 15.7로 나타났다. 건마늘 시료와 같이 조사선량 및 방사선종에 의한 차이는 발견되지 않았다. 이온화 방사선에 의한 식품의 색택은 변화될 수 있으나(Clarke and Richards 1971; Lee *et al*. 1997), 건조 향신료에서 방사선 조사에 의한 색택의 변화가 발생한다는 결과는 보고되지 않고 있다. 그러나, 색택의 변화는 저장 온도나 시료의 수분함량 등에 의해 발생할 수 있다고 보고되었다(Kwon *et al*. 1984; Byun 1985).

3. 이취 (방사선 조사취) 생성에 미치는 영향 평가

감마선, 전자선 및 X-선 조사된 건마늘, 건양파, 건파의 이취생성에 대한 결과는 Table 4에 나타내었다. 일반적으로 황함유 단백질들은 방사선 조사시 발생하는 강한 산화력을 가진 Radical들에 의해 방사선 분해되어 불쾌취를 발생할 수 있다(Thayer 1994). 모든 시험구에서 조사선량이 증가함에 따라 이취 발생이 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 6 kGy 이상의 선량에서 통계적 유의상이 관찰되기 시작하였는데, 건마늘의 경우 6 kGy 전자선 조사시료에서, 건양파의 경우 6 kGy 감마선 및 전자선 조사시료에서, 건파의 경우 6 kGy 전자선 및 X-선 조사시료에서 다소 높게 나타났다. 선종간 유의적인 차이는 발견

Table 4. Off-flavor tests of dried garlic, dried onion and dried welsh onion individually irradiated with gamma-ray, electron beam, and X-ray

Condiment	Radiation sources	Irradiation dose (kGy)					
		0	2	4	6	8	10
Dried garlic	Gamma ray	1.1^{a}	1.1^{a}	1.2^{a}	1.5^{a}	1.9^{ab}	1.8^{ab}
	Electron beam		1.0^{a}	1.1^{a}	1.6^{ab}	1.8^{ab}	2.1^{b}
	X-ray		1.2^{a}	1.1^{a}	1.5^{a}	1.9^{ab}	1.9^{ab}
Dried onion	Gamma ray	1.1^{a}	1.2^{a}	1.2^{a}	1.6^{ab}	1.9^{ab}	2.3^{a}
	Electron beam		1.1^{a}	1.3^{a}	1.7^{ab}	2.1^{b}	2.1^{a}
	X-ray		1.0^{a}	1.2^{a}	1.5^{a}	1.9^{ab}	2.2^{a}
Dried welsh onion	Gamma ray	1.0^{a}	1.1^{a}	1.3^{a}	1.5^{a}	1.8^{ab}	1.9^{ab}
	Electron beam		1.1^{a}	1.2^{a}	1.6^{ab}	2.1^{b}	2.0^{b}
	X-ray		1.2^{a}	1.3^{a}	1.6^{ab}	1.9^{ab}	2.1^{b}

$^{a-b}$Values followed by different letters in same condiment are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test (n=10).
*1: weak, 7: strong

되지 않았다. 결과적으로 6 kGy 이하의 감마선, 전자선 및 X-선 조사된 건조 향신료 3종에 대한 이취 생성의 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 유사한 것으로 사료된다 (Byun *et al*. 1996; Lee *et al*. 1997; Lee *et al*. 2000).

결 론

본 연구에서는 방사선 조사가 많이 이용되는 건조 향신료인 건마늘, 건양파, 건파 3종에 대한 감마선, 전자선 및 X-선 조사에 따른 오염 미생물의 살균효과와 관능적 품질특성을 비교하였다. 방사선 3종의 조사는 건조 향신료 3종에서 동일한 살균효과를 나타내었고, 색도 및 관능적 품질 특성에 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 건조 향신료의 위생화를 위한 살균처리 방법으로서 기존의 감마선, 전자선을 포함 X-선 조사도 효율적임을 알 수 있었다.

사 사

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

참 고 문 헌

Byun MW. 1985. Radurization and radicidation of spices. *Korean J. Food Sci. Technol.* **17**:311-318.

Byun MW, Oh SH, Kim JH, Yoon YH, Park SK, Kim HS, Kim SB, Hand SB and Lee JW. 2009. Information channel effects on women intention to purchase irradiated food in Korea. *Radiat. Phys. Chem.* **78**:675-677.

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**:482-489.

Choi JI, Kim JK, Srinivasan P, Kim JH, Park HJ, Byun MW and Lee JW. Comparison of gamma ray and electron beam irradiation on extraction yield, morphological and antioxidant properties of polysaccharides from tamarind seed. *Radiat. Phys. Chem.* **78**:605-609.

Clarke R and Richards JF. 1971. Effect of γ-irradiation on beef myoglobin. *J. Agr. Food Chem.* **19**:170-174.

Cleland MR and Stichelbaut F. 2013. Radiation processing with high-energy X-rays. *Radiat. Phys. Chem.* **84**:91-99.

FAO/IAEA. 1995. FAO/IAEA consultant meeting on the development of X-ray machines for food irradiation, Vienna, Austria.

Food and Drug Administration. 2008. Department of Health and Human Services, Irradiation in the production, processing and handling of food, 21 CFR Part **179**:49593-49603.

Gregoire O, Cleland MR, Mittendorfer J, Dababneh S, Ehlermann DAE, Fan X, Kappeler F, Logar J, Meissner J, Mullier B, Stichelbaut F and Thayer DW. 2003. Radiological safety of food irradiation with high energy X-rays: theoretical expectations and experimental evidence. *Radiat. Phys. Chem.* **67**:169-183.

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**:1-6.

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**:156-160.

Kim BH, Kim HJ, Yoon Y, Shin MG and Lee JW. 2010. Comparison of the effects of gamma ray and electron beam irradiation to improve safety of spices for meat processing. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **30**:124-132.

Kwon JH, Byun MW and Cho HO. 1984. Sterilization of garlic powder by irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* **16**:139-142.

Lazurik VT, Pismenesky SA, Popov DV, Rudychev DV and Rudychev VG. 2007. An increase of utilization efficiency of X-ray beam. *Radiat. Phys. Chem.* **76**:1787-1791.

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**: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**:462-467.

McLaughlin WL. 1999. Gamma-ray sources vs. X-ray or electron beams for quarantine treatment: In: Proceedings of the Workshop on the Use of Irradiation as Quarantine Treatment of Food and Agricultural Commodities. Moy, J.H. and Wong, L. (eds), Hi, pp. 78-89.

Miller RB. Food irradiation using bremsstrahlung X-rays. 2003. *Radiat. Phys. Chem.* **68**:963-974.

Palou L, Marcilla A, Rojas-Argudo C, Alonso M, Jacas JA and del Rio MA. 2007. Effects of X-ray irradiation and sodium carbonate treatments on postharvest *Penicillium* decay and quality attributes of clementine mandarins. *Post. Bio. Technol.* **46**:252-261.

Park JG, Yoon Y, Park JN, Han IJ, Song BS, Kim JH, Kim WG, Hwang HJ, Han SB and Lee JW. 2010. Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties. *Meat Sci.* **85**:368-372.

Park KS 2014. Comparison of irradiation effect of different radiation types on decontamination of microorganisms in red pepper powder. *J. Radiation Ind.* **8**:225-229.

Sadat T. 2004. Do we need X-rays? *Radiat. Phys. Chem.* **71**:543-547.

SAS. 2008. SAS/STAT Software for PC. Release 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.* **48**:58-67.

Van Calenberg S, Vanhaelewyn G, Van Creemput O, Callens F, Mondelaers W and Huyghebaert A. 1998. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spices. *Lebensm. Wiss. Technol.* **31**:252-258.

Van Calenberg S, Van Cleempu O, Mondelaers W and Huyghebaert A. 1999. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on the microbiological quality of foodstuffs. *Lebenesm. Wiss. Technol.* **32**:372-376.

Woods RJ and Pikaev AK. 1994. Applied radiation processing: radiation processing. John Wiley & Sons, Inc., NY, pp. 535-537.

Manuscript Received: July 18, 2014
Revised: September 25, 2014
Revision Accepted: September 29, 2014