

Comparison of the effects of gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation to improve safety of black pepper powder

Jae-Nam Park, Koo Jung, Young-Min Yoon, Soo-Jeong Choi, Jae-Hun Kim, Ju-Woon Lee, Beom-Seok Song*

Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongseup 580-185, Korea

후춧가루의 위생화를 위한 감마선, 전자선 및 X-선 조사 효과 비교

박재남 · 정구 · 윤영민 · 최수정 · 김재훈 · 이주운 · 송범석*
한국원자력연구원 첨단방사선연구소 방사선식품생명공학연구팀

Abstract

This study evaluated the effects of a gamma ray (GR), electron beam (EB), and X-ray (XR) to improve the safety of black pepper powder. The black pepper powder was irradiated by GR, EB, and XR at 2, 4, 6, 8, and 10 kGy. The results of the total bacterial populations in the black pepper powder sample showed a similar effect on microbial decontamination for radiation sources. Radiation sensitivity (D_{10} value) on the initial bacteria loads in the sample was 2.24 kGy in GR, 2.37 kGy in EB, and 2.75 kGy in XR. In addition, there were no differences among the radiation sources. The color values, such as L (lightness), a (redness), and b (yellowness), were not changed significantly. The sensory characteristics of GR, EB, and XR irradiated black pepper powder were decreased when the radiation dose increased, but there was no significant changes among the radiation sources. The results can be applied to investigate the effects of radiation sources on the microbiological and sensory characteristics of black pepper powder.

Key words : gamma ray, electron beam, X-ray, black pepper powder, safety

서 론

후추나무(*Piper nigrum*) 식물 열매를 건조·분쇄하여 얻어진 후춧가루는 독특한 향과 맛을 지니고 있어서 향미(풍미), 식미 등을 강화시켜 식욕증진 등의 목적으로 활용되고 있다. 후춧가루의 이러한 기능적 이점으로 전 세계인의 식생활에 중요한 위치를 차지하고 있으며, 다양한 편의가공식품의 증가와 외식기회가 늘어남에 따라 사용량이 점차 증가되고 있는 추세이다(1,2). 후춧가루는 건조분말 식품으로 대부분 수확 후 세척, 정선 후 건조, 최종적으로 분쇄 과정을 거치는 특성상 가공 공정 중 다양한 곰팡이류, 세균 및 포자를 형성하는 세균 등이 혼입될 수 있으므로 대부분 살균 처리가 요구된다(3-4). 일반적으로 향신료의 살균 방법으로는 가열살균, 자외선 조사, microwave 처리, 훈증제 처리

등이 대부분 이용되고 있으나 살균 효과의 불충분, 고온에 의한 풍미 및 외관 변화, 재포장에 따른 2차 오염 가능성, 약제성분의 잔류 등 많은 문제점을 내포하고 있다(5,6). 우리나라의 경우 훈증처리(ethylene oxide) 방법 등이 대부분 이용되어 왔으나 그 사용이 금지된 이래 감마선 조사기술이 대체 살균방법으로 인식되었으며 다양한 연구가 진행되었다(7-10).

식품조사(food irradiation)에 사용될 수 있는 방사선으로는 감마선(Cobalt-60, Cesium-137), 전자선(10 MeV 이하) 및 X-선(5 MeV 이하)이다(11,12). 현재까지 방사선 식품조사 연구는 위에서 언급했듯이 대부분 감마선을 이용하여 수행되어왔다(7-10,13). 그러나 투과력이 우수한 장점을 갖는 감마선은 구소련의 체르노빌, 일본 원전사고 등으로 인한 소비자 수용(acceptability)에 많은 문제점이 지적되고 있다. 또한 방사성 물질로부터 발생하는 감마선은 전자선과 X-선에 비해 식품의 상업적 처리량에 적합하지 않다. 때문에 감마선 조사기술의 활용 증대를 위한 연구와 더불어

*Corresponding author. E-mail : sbs0110@kaeri.re.kr
Phone : 82-63-570-3211, Fax : 82-63-570-3207

어, 주요 선진국은 물론 국내에서도 Cobalt-60 조사선종 대신 전기를 이용한 전자선 이용 식품의 살균효과 연구가 활발히 추진되어 왔다(13-15). 감마선과 전자선에 대한 연구가 다양한 반면 X-선은 대부분 흉부촬영 및 환자치료 등에 사용되어 질 뿐 식품에 적용한 사례가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 새로운 조사선종의 이용 가능성을 검토하고자 향신료인 후춧가루를 모델식품으로 하여 X-선, 감마선 및 전자선 조사에 따른 후춧가루의 살균효과와 관능적 품질변화를 비교 평가하였다. 아울러 조사 선종별 식품 품질에 미치는 영향에 대한 기초자료를 제공 하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 후춧가루는 2013년 생산/가공된 것으로 전라북도 정읍 소재 지역 마트에서 구매하여 사용하였다. 구입한 시료는 100 g씩 0.1 mm 두께의 포장지(aluminium-laminated low-density polyethylene, Sunkyung Co., Seoul, Korea)에 담아 진공포장 후 방사선을 조사하였다.

방사선 조사

시료의 감마선 조사는 11.1 PBq, Co-60 감마선 조사시설(IR-221 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 실온(20±2℃)에서 시간당 10 kGy의 선량률로 흡수선량이 각각 2, 4, 6, 8 및 10 kGy가 되도록 조사하였으며 흡수선량의 확인은 방사선 선량계(Ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다. Dosimeter 시스템은 국제 원자력 기구(IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 후 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 ±2% 이내였다. 시료의 전자선 조사는 LINAC Electron Accelerator(ELV-8, 10 MeV, Eb-Tech, Daejeon, Korea)를 이용하여 총 흡수선량이 2, 4, 6, 8 및 10 kGy가 되도록 조사하였다. 시료의 X-선 조사는 LINAC Electron Accelerator(ELV-8, 7.5 MeV, Eb-Tech, Daejeon, Korea)에 X-선 컨버터를 부착하여 총 흡수선량이 2, 4, 6, 8 및 10 kGy가 되도록 조사하였다. 전자선과 X-선의 흡수선량 확인은 cellulose triacetate dosimeter system을 이용하여 확인하였다.

미생물 평가

시료의 미생물을 분석하기 위해 후춧가루와 시료무게의 10배에 해당하는 멸균 Nutrient Broth(0.8%, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 멸균 bag에 넣고, stomacer lab blender(Mark II Lab Blender, Tekmar Teledyne Technologies

Inc., Mason, OH, USA)에서 1분간 균질화 하였다. 각 미생물군의 선택배지 배양온도 및 측정은 다음과 같다. 총균수는 PCA배지(Plate Count Agar, Difco Co.)를 사용하여 35℃, 48시간 배양 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만 선택하여 계수하였다. 곰팡이 및 효모는 PDA배지(Potato Dextrose Agar, Difco Co.)를 사용하여 25℃, 48~72시간 배양 후 계수하였다. 대장균군은 EMB배지(Eosin methylene blue agar, Difco Co.)를 사용하여 35℃, 48시간 배양 후 계수하였다. 시료 1 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈으며, 총균수, 곰팡이 및 효모의 검출을 위한 최소 한계치는 1 log CFU/g 이었다.

색도측정

시료의 색도 변화를 관찰하기 위해 시료 10 g을 지름 50 mm의 투명 용기에 넣은 후 color/color differencemeter (CM-3500d, Minolta Co., Ltd. Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L-value), 적색도(redness, a-value) 및 황색도(yellowness, b-value)를 측정하였다. 이 때 표준색은 L-value 90.5, a-value 0.4 및 b-value 11.0인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

관능평가

방사선 조사된 후춧가루의 관능적 품질을 평가하기 위한 panel은 미리 훈련된 10인을 대상으로 하였다. 나이·성별 등을 기록하고 각 시료는 물컵, 시료를 뺀 컵, 정수기에서 받은 물을 시료 사이에 제공하였으며, 검사 중의 영향을 최소화하기 위해 total session은 15~20분으로 정하였다. 이때의 평가항목은 외관(Appearance), 향(Flavor), 종합적인 기호도(Overall acceptability) 및 이취(Off-flavor)에 대한 강도를 7점 척도법으로 평가하였다(13,15). 이때 매우 좋아한다(강하다) : 7점, 좋지도 싫지도 않다 : 4점, 매우 싫어한다(약하다) : 1점이었다.

통계분석

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences(SPSS, Inc., Ver 10.0, Chicago, IL, USA) (16)를 이용하여 One Way ANOVA 분석을 하였으며, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 p<0.05 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

방사선 선종에 따른 후춧가루의 미생물평가

후춧가루에 감마선, 전자선 및 X-선을 각각 조사한 후 일반호기성미생물, 곰팡이/효모 및 대장균군의 변화와 일반호기성 미생물의 D10 value 변화 측정 결과를 Table 1,2에

나타내었다. 후춧가루 분말에는 Table 1과 같이 미생물의 혼입도가 6.5 log CFU/g 수준이었다. 위생지표 미생물인 대장균군의 경우 검출한계 (< 1 log CFU/g)이하로 나타났으며 곰팡이/효모 역시 검출한계 이하인 것으로 확인되어 본 실험에 사용된 후춧가루는 매우 위생적으로 제조되어 판매되는 것으로 판단하였다. 감마선, 전자선 및 X-선의 각 선종에 따른 일반호기성미생물의 살균 효과를 확인한 결과, 선종에 관계없이 흡수선량이 증가할수록 미생물 감균 효과가 증가하는 것으로 확인되었다. 즉, 감마선의 경우 초기 6.5 log CFU/g에서 10 kGy로 조사할 경우 1 log CFU/g으로 전자선의 경우 2 log CFU/g으로 X-선의 경우 2.6 log CFU/g 각각 감균 효과가 나타나 전자선과 X-선에 비해 감마선의 감균 효과가 다소 효과적인 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 식품에 감마선 및 전자선을 조사할 경우 미생물 세포 내 에너지가 증가하여 세포의 항상성 불균형이 발생하게 되어 DNA repair 반응을 방해하여 미생물의 사멸을 일으키게 된다고 보고하였다(17). 또한 Calenberg 등(18)의 연구에서 건조향신료에 존재하는 미생물이 5 kGy에서 2 log CFU/g 정도 감소한 실험결과와 비교할 때 비슷한 감균 효과를 보인 것으로 판단하였다. 통후추에 전자선 조사한 Ko 등(2)의 연구에서도 6 kGy 수준에서 약 2 log CFU/g 감균 효과를 보여 본 실험 결과와 유사하였다. 후춧가루의

위생화를 위해 X-선을 적용한 연구는 없지만 본 연구결과에서는 감마선 및 전자선과 유사한 미생물 감균 효과를 보여 상업적 이용가능성이 있는 것으로 판단하였다. 일반 호기성 미생물 생존 수를 곡선으로 나타내어 미생물 수가 1 log CFU/g 감소하는 수치를 감마선, 전자선 및 X-선 선종에 따라 방사선 감수성(D10 value)을 평가한 결과 감마선(2.24 kGy), 전자선(2.37 kGy) 및 X-선(2.75 kGy)으로 각각 확인되었고(Table 2) 선종별 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. 미생물의 방사선감수성은 미생물의 종류, 농도, 매개체의 화학적 조성 및 물리적 상태, 조사 시의 환경과 조사 후 저장조건 등에 따라 달라지는데(19) 선종에 따라 2.24~2.75 kGy 범위를 보여 다소 다른 값을 보이는 것으로 판단하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 후춧가루에 오염된 미생물을 위생화 하는데 감마선, 전자선 및 X-선 선종에 관계없이 유사한 효과가 있는 것으로 판단하였으며, 이상의 결과는 X-선의 상업적 이용 가능성을 제시할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되었다.

방사선 선종에 따른 후춧가루의 색도변화

후춧가루에 감마선, 전자선 및 X-선을 조사한 후 시료의 색도를 color/color difference meter로 측정된 Hunter's color

Table 1. Comparative effects of gamma-ray (GR), electron beam (EB), and X-ray (XR) irradiation on microbial populations of black pepper powder

Microorganism	Sources	Dose (kGy)					
		0	2	4	6	8	10
Total bacteria population	GR	6.5±0.5 ¹⁾	5.6±0.9	5.0±0.3	3.7±0.8	3.2±0.7	1.0±0.4
	EB	6.5±0.4	5.6±0.9	4.7±0.1	4.5±0.3	3.4±0.3	2.0±0.5
	XR	6.5±0.4	5.5±0.1	4.7±0.4	4.7±0.2	3.6±0.9	2.6±0.6
Coli forms	GR	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	EB	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	XR	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yeast & Molds	GR	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	EB	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	XR	ND	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾Values are means ± standard deviation (n=5).

ND: Not detected within the detection limit < 1 log CFU/g.

Table 2. Radiation sensitivity (D₁₀ value) of total bacteria population by different sources of black pepper powder

Sources	D10 value (kGy)
Gamma ray	2.24 ^{NS}
Electron beam	2.37
X-ray	2.75

NS: Non-significantly.

value 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 후춧가루에 감마선, 전자선 및 X-선을 각각 10 kGy 수준으로 조사하여도 방사선 조사에 따른 색도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. Lee 등(20)의 연구결과에서도 후춧가루의 미생물학적 품질 개선이 가능한 10 kGy 수준으로 전자선을 조사하여도 본 연구 결과와 같이 명도(lightness), 적색도(redness) 및 황색도(yellowness)에 있어서 유의적 차이가 없다고 보

고하였다. 또한 Jaczynski 등(21)역시 가열 및 전자선 조사에 따라 후춧가루의 색변화가 거의 없다고 보고된 바 있다. 일반적으로 가열처리나 고선량 감마선 조사는 식품고유의 색소에 영향이 미치는 것으로 알려져 있으나 후춧가루의 경우 감마선, 전자선 및 X-선을 10 kGy 수준으로 조사하여도 고유의 색 품질에 영향이 없는 것으로 판단하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 방사선 선종에 따른 후춧가루의 색 품질변화는 없는 것으로 사료되었으며, 감마선

및 전자선과 같이 X-선의 상업적 이용이 가능할 것으로 판단되었다.

방사선 선종에 따른 후춧가루의 관능품질 변화

후춧가루에 감마선, 전자선 및 X-선을 조사한 후 시료의 관능적 품질변화 결과를 Table 4에 나타내었다. 외관가 없는 것으로 나타났다. 풍미(flavor)와 전체적 기호도(overall acceptance)의 경우 방사선 선종에 관계없이 흡수선

Table 3. Comparative effects of gamm-ray (GR), electron beam (EB), and X-ray (XR) irradiation on the Hunter's color values of black pepper powder

Color values	Sources	Dose (kGy)					
		0	2	4	6	8	10
L-value	GR	45.4±2.0 ^{1)NS}	45.4±1.3 ^{NS}	45.6±2.3 ^{NS}	45.4±1.3 ^{NS}	45.5±1.8 ^{NS}	45.6±1.2 ^{NS}
	EB	45.4±2.0	45.5±1.2	45.4±2.7	45.6±2.2	45.4±1.7	45.5±1.9
	XR	45.4±2.0	45.3±2.2	45.7±2.1	45.4±2.3	45.3±1.3	45.5±1.8
a-value	GR	2.0±0.7 ^{NS}	2.2±0.7 ^{NS}	2.0±0.6 ^{NS}	2.0±0.4 ^{NS}	2.1±0.5 ^{NS}	2.2±0.5 ^{NS}
	EB	2.0±0.7	2.1±0.1	2.1±0.4	2.0±0.5	2.0±0.2	1.9±0.2
	XR	2.0±0.7	2.0±0.5	2.0±0.5	1.9±0.4	2.0±0.7	2.1±0.5
b-value	GR	13.7±1.3 ^{NS}	12.8±3.3 ^{NS}	11.7±3.4 ^{NS}	13.1±2.4 ^{NS}	11.6±4.6 ^S	13.2±2.8 ^{NS}
	EB	13.7±1.3	13.8±2.5	13.4±2.5	13.5±2.8	13.2±2.1	13.8±2.5
	XR	13.7±1.3	13.3±2.5	12.8±2.9	12.7±2.4	12.9±2.4	12.3±2.3

¹⁾Values are mean ± standard deviation (n=5). NS: Non-significantly

Table 4. Comparative effects of gamm-ray (GR), electron beam (EB), and X-ray (XR) irradiation on sensory properties of black pepper powder

Dose (kGy)	Sources	Attributes			
		Appearance	Flavor	Overall acceptance	Off-flavor
0	Control	6.2±0.8 ¹⁾	5.6±0.5	6.0±0.7	1.0±0.1
	GR	6.0±0.4 ^{NS}	5.5±0.5 ^{NS}	6.2±0.8 ^{NS}	1.0±0.1 ^{NS}
2	EB	6.0±0.6	5.6±0.4	6.0±0.8	1.0±0.1
	XR	6.0±0.5	5.6±0.6	5.8±0.3	1.0±0.1
4	GR	6.0±0.4 ^{NS}	5.8±0.8 ^{NS}	5.2±0.8 ^{NS}	1.0±0.7 ^{NS}
	EB	6.0±1.0	5.0±0.7	5.2±0.8	1.0±0.5
6	XR	6.0±1.2	5.0±0.7	5.2±0.4	1.0±0.4
	GR	6.1±0.6 ^{NS}	5.4±0.5 ^{NS}	5.0±0.4 ^{NS}	1.3±0.3 ^{NS}
8	EB	5.9±0.4	4.8±0.4	5.0±0.4	1.1±0.3
	XR	6.1±0.6	5.3±0.7	5.0±0.6	1.1±0.2
10	GR	6.0±0.3 ^{NS}	5.0±0.4 ^{NS}	5.0±0.6 ^{NS}	1.3±0.6 ^{NS}
	EB	6.0±0.4	4.5±0.3	4.6±0.7	1.5±0.4
10	XR	6.1±0.3	5.0±0.5	4.8±0.7	1.3±0.4
	GR	5.8±0.7 ^{NS}	4.8±0.8 ^{NS}	4.8±0.4 ^{NS}	1.5±0.8 ^{NS}
10	EB	5.8±1.3	4.5±0.5	4.8±0.4	1.8±0.7
	XR	6.0±0.8	4.8±0.8	4.8±0.8	1.6±0.6

¹⁾Values are mean ± standard deviation (n=10). NS: Non-significantly

(appearance)의 경우 방사선 선종 및 흡수선량에 따른 차이가 증가할수록 관능점수가 낮아지는 것으로 나타났다. 즉, 풍미의 경우 대조구 5.6 점수에서 10 kGy 수준으로 감마선, 전자선 및 X-선을 조사할 때 각각 4.8, 4.5 및 4.8 점수로 낮아졌으며, 전체적기호도 역시 대조구 6.0 점수에서 감마선, 전자선 및 X-선을 조사할 때 각각 4.8 수준으로 낮아지는 것으로 나타났다. 이취(off-flavor) 강도 역시 선종에 관계없이 흡수선량에 따라 품질이 다소 저하되는 것으로 나타났다. 현재까지 후춧가루에 X-선을 조사하여 관능적 품질에 관한 연구는 보고되지 않았지만, 감마선 및 전자선을 조사한 경우와 관능적 품질 저하 정도가 비슷한 경향을 보여 건조분말 제품에 X-선을 조사한 후 품질개선 연구 역시 병용처리 방법으로 개선이 가능한 것을 암시하였다. 즉, 일반적으로 식품에 일정한 선량 이상으로 감마선 및 전자선을 조사할 경우 식품의 관능적 품질을 저하시킬 수 있으며, 이러한 현상은 방사선 조사선량이 증가할수록 더욱 커지는 것으로 보고되고 있다(22). 방사선 조사에 의한 품질저하의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 진공 또는 가스치환포장, 냉동온도에서의 방사선조사, Vitamin C와 같은 항산화제의 병용처리 등이 효과적인 것으로 보고되고 있다(23,24). 따라서 X-선의 상업적 이용을 위해 감마선 및 전자선의 품질개선 방법이 적용될 수 있을 것으로 사료되었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 후춧가루에 감마선, 전자선 및 X-선을 조사할 때 선종에 관계없이 흡수선량에 따른 품질저하가 발생하는 것으로 판단되었으며, X-선의 상업적 이용을 위해 여러 식품가공 병용처리를 통해 품질을 개선할 수 있을 것으로 판단하였다.

요 약

본 연구에서는 후춧가루의 위생화를 위해 감마선, 전자선 및 X-선을 조사한 후 이에 따른 미생물학적 및 관능적 품질변화를 평가하였다. 후춧가루에 감마선, 전자선 및 X-선을 2, 4, 6, 8 및 10 kGy로 각각 조사한 후 미생물 변화와 관능품질 변화를 평가한 결과, 미생물의 경우 선종에 관계없이 흡수선량이 증가할수록 미생물 제어 효과가 증가하는 것으로 나타났으며, 선종별 D10값의 경우 2.24-2.75 kGy 범위를 보였으며 방사선 선종에 따른 유의차가 없는 것으로 나타났다. 색도의 경우 명도, 적색도 및 황색도 모두 방사선 선종에 따른 변화가 없는 것으로 판단하였다. 관능적 품질 역시 방사선 선종에 관계없이 흡수선량에 따라 품질저하가 발생하는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 방사선 선종에 따른 후춧가루의 품질변화 차이가 없는 것으로 판단하였으며, 이상의 결과는 X-선의 상업적 이용을 위한 기초 연구 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되었다.

감사의 글

본 연구는 2013년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 및 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발 사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

References

1. Risch SJ, Ho CT (1996) Spice, Flavor Chemistry and Antioxidant Properties, ACS Symposium Series 660, American Chemical Society, Washington, DC, USA
2. Ko JK, Ma YH, Song KB (2005) Effect of electron beam irradiation on microbial qualities of whole black pepper powder and commercial *Sunsik* Korean J Food Sci, 37, 308-311
3. Watada AE, Kim SD, Kim KS, Harris TC (1987) Quality of green beans, bell pepper and spinach stored in polyethylene bag. J Food Sci, 52, 1637-1640
4. Kim DJ, Ha SD, Ryu K, Park KH (2004) Hazard analysis and determination of CCPs for powdered raw grains and vegetables, *saengshik* Korean J Food Sci Technol, 36, 501-506
5. Choi SG (2002) Food and spice. J East Asian Soc Dietary Life, 12, 461-470
6. Kim BH, Kim HJ, Yoon YH, Shin MG, 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
7. Byun MW, Lee JW (2003) Application of irradiation technology for food safety and security. Food Sci Indus, 36, 25-41
8. Wang J, Yang JS (2005) The effect of gamma-ray irradiation on the drying characteristics and final quality of dried potato slices. Int J Food Sci Technol, 40, 75-82
9. Deschreider AR (1960) Changes in starch and its degradation products on irradiating wheat flour with gamma ray, Starch, 12, 197
10. Byun MW (1994) Application of irradiation techniques to food industry, Radioisotope News, 9, 32-37
11. WHO (1981) Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee, Technical Report Series 659, p 34
12. Codex Alimentarius Commission (1984) Codex general standard for irradiated food and recommended international code of practice for the operation of

- radiation facilities used for the treatment of foods, CAC/VOL, XV, FAO, Rome
13. Lee JE, Kwon OJ, 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
 14. Yi SD, Oh MJ, Yang JS (2001) Detection capability by change of amylograph characteristics of irradiated black pepper. *Korean J Food Sci Technol*, 32, 195-199
 15. Kwon HK, Lee JG, Kim JS, Kwon JH (2000) Effects of electron beam irradiation on the quality of *Kochujang* powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 29, 656-662
 16. SPSS (1999) SPSS for Windows. Rel. 10.05. SPSS Inc. Chicago, IL, USA
 17. Louise MF, Paul EC, Alistair SG (1997) The effect of electron beam irradiation, combined with acetic acid, on the survival and recover of *Escherichia coli* and *Lactobacillus curvatus*. *Int J Food Microbiol*, 35, 259-265
 18. Calenberg S, Vanhaelewyn G, Van Cleemput O, Callens F, Mondelaers W, Huyghebaert A (1998) Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spice. *Lebensm, Wiss U-Technol*, 31, 252-258
 19. Lee SH, Lee HJ, Byun MW (1997) 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
 20. Janczynski J, Park JW (2003) Physicochemical properties of surimi seafood as affected by electron beam and heat. *J Food Sci*, 68, 1626-1630
 21. Lee JH, Sung TH, Lee KT, Kim MR (2004) Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. *J Food Sci*, 69, 585-592
 22. Maxie EC, Abdel-Kader A (1996) Food irradiation-physiology of fruits as related to feasibility of the technology. *Adv Food Res*, 15, 105-138
 23. Lacroix M, Lafortune R (2004) Combined effects of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on bacterial resistance in grated carrots (*Daucus carota*). *Radiat Phys Chem*, 71, 77-80
 24. Park JN, Lee JW, Kim JH, Kim KS, Han KJ, Sul MS, Lee HJ, Byun MW (2007) Studies on the manufacturing of *Sujeonggwa* (Korean traditional cinnamon flavored persimmon punch) edible in severe environment by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 36, 609-615

(접수 2014년 2월 6일 수정 2014년 3월 3일 채택 2014년 3월 7일)