

전자선 조사가 통후추 분말과 시판 선식의 미생물학적 안전성 및 품질에 미치는 영향

고종관 · 마유현 · 송경빈
충남대학교 식품공학과

Effect of Electron Beam Irradiation on Microbial Qualities of Whole Black Pepper Powder and Commercial *Sunsik*

Jongkwan Ko, Yuhyun Ma, and Kyung Bin Song*

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

Electron beam irradiation was applied to examine microbial safety and qualities of black pepper powder and commercial *Sunsik*. Whole black pepper powder and commercial *Sunsik* were irradiated at 2, 4, 8, 12, and 16 kGy. Microorganism contamination in black pepper powder and commercial *Sunsik* were significantly decreased by irradiation. Decimal reduction doses (D_{10} -values) of total bacteria count in black pepper powder and commercial *Sunsik* were 5.32 and 1.56 kGy, respectively. D_{10} -values of yeast and mold were 2.54 and 2.14 kGy for black pepper powder and commercial *Sunsik*, respectively. Electron beam irradiation caused negligible changes in Hunter color L, a, and b values. Sensory evaluations of black pepper powder and commercial *Sunsik* showed no significant changes among samples. These results indicate electron beam irradiation improves microbial safety and qualities of black pepper powder and commercial *Sunsik*.

Key words: electron beam, black pepper powder, *Sunsik*, D value

서 론

분말 식품은 가공 공정 중 다양한 미생물의 혼입으로 인해 대부분 살균 처리가 요구된다(1,2). 현재 산업적으로 많이 이용되고 있는 살균 처리 기술에는 가열 처리, 자외선 조사, 훈증제 처리, 화학 약품 처리, microwave 처리 등이 있다. 그러나 이러한 살균 처리 기술은 고온에 의한 휘발성 성분의 손실, 식품 성분의 변화, 화학 성분의 잔류 등의 문제점을 갖고 있다. 또한 미생물에 대한 살균 효과도 효율적이지 못해 효과적인 대체 기술 개발을 위해 많은 연구들을 하고 있다(3). 최근 여러 대체 기술 중 하나로 방사선 에너지의 이용이 효과적인 것으로 인식되고 있는데, 일반적으로 식품의 살균 처리를 위한 조사가 가능한 에너지는 방사선 동위원소(^{60}Co)에서 발생하는 감마선, 초전도 가속기에 의해 발생하는 전자선(10 MeV 이하), 그리고 기계적으로 발생하는 X선의 3가지가 있다(4). 식품 조사에 이용 가능한 방사선 에너지의 안전성에 대해서는 관련 국제 기구인 IAEA 및 FDA에서 승인하여 미국이나 캐나다, 이스라엘, 네덜란드 등에서는 이미 산업화하여 실용화 되고 있으

며 세계적으로 그 이용성이 확대되고 있다(5,6).

현재 국내에서도 향신료 및 분말 식품을 대상으로 방사선 이용에 관한 연구가 진행되고 있는데, 이 등(7)은 분말 고추에 감마선 조사와 오존 처리를 실시하여 살균 효과 및 품질에 미치는 영향을 연구하여, 감마선의 살균 효과가 우수한 것을 확인하였다. 또한 Lee 등(8-11)은 고추, 인삼, 생강 등의 분말에 전자선을 조사하여 이에 따른 살균 효과와 품질에 미치는 영향에 대해 실험하여 10kGy 이하에서 미생물학적 품질 개선이 가능하다고 보고하였다. 그러나 아직 통후추 분말이나 시판 선식에 대한 전자선 조사 연구가 보고되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 전자선의 미생물 살균 효과를 확인하기 위해 통후추 분말과 시판 선식에 전자선을 조사하여 미생물학적 안전성 확보의 가능성을 확인하고 또한 색도와 관능 평가를 통해 품질에 미치는 영향을 확인하여 이에 보고하는 바이다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 통후추(*Piper nigrum* L.)는 Malaysia에서 재배된 것으로 대전 소재 마트에서 구입한 후 마쇄하여 사용하였고, 선식은 대전 소재 마트에서 시판되고 있는 제품을 사용하였다. 통후추는 분쇄기(Model MCH600SI, Tong Magic Co., Seoul, Korea)를 사용하여 30 sec동안 분쇄하여 본 실험에 사용하였으며 선식의 경우는 시판 포장된 제품을 그대로 사용하였다.

*Corresponding author: Kyung Bin Song, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
Tel: 82-42-821-6723
Fax: 82-42-825-2664
E-mail: kbsong@cnu.ac.kr

Electron-beam irradiation

전자선 조사는 electron-beam accelerator (Model ELV-4, 1 MeV, Eb-Tech)를 이용하여 low density polyethylene (LDPE) bag에 시료 두께 5 mm 이하가 되도록 포장하고, 가속 전류 2-8 mA, beam dimension 600 mm (length) × 600 mm (width), velocity 5-10 m/min의 선량률로 총 흡수선량이 2-16 kGy가 되도록 조사 하였다. 이때의 흡수선량은 cellulose triacetate (CTA) dosimeter로 확인하였다.

미생물 배양 및 D-value

전자선 조사된 각 시료 5 g과 멸균 처리한 0.1% peptone water 45 mL을 멸균 bag에 넣고 3 min 동안 Stomacher (MIX 2, AES Laboratoire, France)를 이용하여 처리하고 cheese cloth를 이용하여 거른 다음 0.1% sterile peptone water를 이용하여 희석한 후 각각의 배지에 분주하였다. 시료들의 미생물 검사는 American Public Health Association (APHA) 표준 방법 (12)에 따라 실시하고 형성된 colony를 계수하여 colony forming unit (CFU)로 표기하였다. 호기성 세균은 plate count agar (PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 2일 동안 배양한 후 colony 수를 계수 하였고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (PDA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 35°C에서 3일 동안 배양한 후 colony 수를 계수 하였다. 각 시료에 대한 조사선량에 따른 생존 곡선을 그래프로 나타내어 이들에 대한 decimal reduction dose (D_{10} -value, kGy)를 계산하였다.

색도 측정

전자선 조사된 시료 및 대조구에 대한 색도는 색차계 (CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter 색차계의 L, a, b 값을 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 여기에서 L value는 0 (black) -100 (White), a value는 -80 (greenness) -100 (redness), b value는 -80 (blueness) -70 (yellowness)을 나타내며, 이때 사용된 표준 백판의 L, a, b 값은 각각 L=97.47, a=-0.02, b=1.67이었다.

관능 검사

전자선 조사가 통후추 분말 및 시판 선식의 품질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 선발된 panel 요원 10명에 의해 조사된 통후추 분말 및 시판 선식의 색 (color), 냄새 (odor), 맛 (test) 및 종합적 기호도를 관능검사 하였다. 이 때 각 조사된 시료에 대한 평점은 선정된 기준에 의거하여 5단계 평점으로 관능 검사를 실시 하였으며 조사되지 않은 시료를 대조구로 하여 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

시료의 초기 미생물 분석

시료에 대한 초기 미생물 수는 통후추 분말의 경우 총 호기성 세균, 효모와 곰팡이가 각각 7.85, 3.29 log CFU/g이었고, 시판 선식의 경우 각각 3.12, 3.87 log CFU/g이었다. 국내 식품 제조업체에서 통용되고 있는 미생물 규격은 총 세균 수 5×10^4 /g 이하이고, 효모와 곰팡이는 음성으로 국내 식품 공전에 규정되어 있다 (13). 본 실험 결과 통후추 분말과 시판 선식의 초기 미생물 수를 감안할 때, 살균 처리의 필요성을 확인하였다.

Electron-beam irradiation에 의한 살균 효과

전자선 조사된 통후추 분말과 시판 선식의 각 선량에 따른

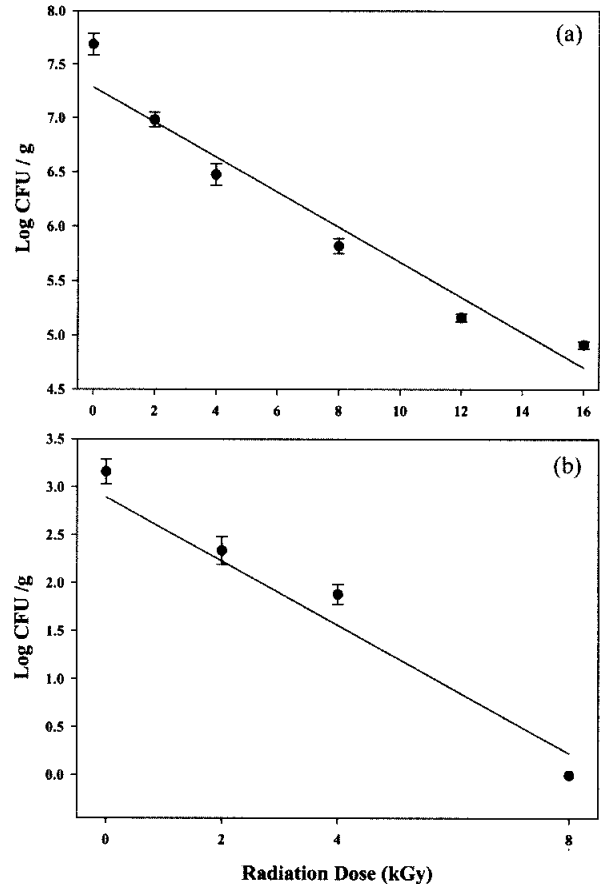


Fig. 1. Effect of electron beam irradiation on the survival of microorganisms in black pepper.

a: total aerobic bacteria b: yeast and mold.

미생물의 살균 효과를 확인한 결과, 통후추 분말에 존재하는 총 호기성 세균과 효모와 곰팡이는 조사선량이 증가함에 따라 미생물의 survival plot이 전형적인 1st order 유형을 나타내었고 (Fig. 1), 시판 선식 또한 유의적으로 감소하였다 (Fig. 2). 통후추 분말과 시판 선식에 존재하는 총 호기성 세균과 효모와 곰팡이를 비교했을 때, 시판 선식에 비해 통후추 분말에 존재하는 미생물의 감소 비율이 낮은 것을 확인할 수 있었다. 전자선에 의한 미생물의 사멸에 관한 연구 결과를 살펴보면, Louise 등 (14)은 전자선 조사에 의해 미생물 세포 내 에너지가 증가하여 세포의 항상성 불균형이 발생하게 되어 DNA repair 반응을 방해하여 미생물의 사멸을 일으키게 된다고 보고하였다. 또한 이 등 (7)은 시료의 종류에 따라 미생물의 사멸률이 달라진다고 보고하였다. 따라서 전자선의 살균 효과가 시료의 종류에 따라 미생물의 사멸률의 차이가 있어 미생물의 감소 비율이 다르게 나타난 것으로 판단된다.

본 연구에서 미생물의 사멸된 정도를 확인한 결과, 통후추 분말의 경우 8 kGy의 전자선에 의해 2-3 log 정도의 감균 효과를 가져왔는데, 특히 효모와 곰팡이는 8 kGy의 전자선에 의해 멸균시킬 수 있었다 (Fig. 1-b). 시판 선식 또한 8 kGy의 전자선 조사에 의해 2-3 log 정도의 감균 효과를 가져왔으며 (Fig. 2), 특히 총 호기성 세균의 경우 2 kGy 조사 시 멸균되는 것을 보였다 (Fig. 2-a). 이러한 결과는 Calenberg 등 (15)의 연구에서 향신료에 존재하는 미생물이 5 kGy에서 2 log 정도 감소한 실험 결과와 비교할 때 비슷한 감균 효과를 보인 것이다. 현재 IAEA

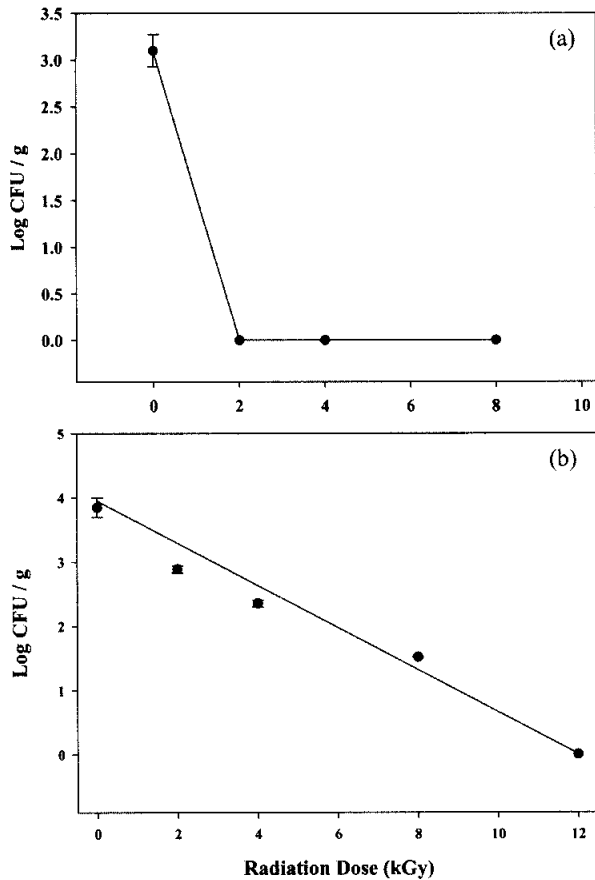


Fig. 2. Effect of electron beam irradiation on the survival of microorganisms in commercial *Sunsik*. a: total aerobic bacteria b: yeast and mold.

및 FDA에서 승인된 전자선 조사는 식품의 안전성이 확보된 10 kGy 이하로 조사 선량을 규정하고 있는데, 본 실험의 결과 전자선 조사에 의해 통후추 분말과 시판 선식에 존재하는 미생물의 감소는 8 kGy의 전자선에서 2-3 log 정도의 살균 효과를 나타내어 미생물학적 안전성을 확보할 수 있었다.

D_{10} value

미생물 생존 곡선을 이용하여 미생물 수가 1 log 감소하는 전자선의 조사선량을 각 미생물 균의 방사선 감수성 (D_{10} value)으로 계산하였다. 통후추 분말과 시판 선식에 존재하는 호기성 세균의 D_{10} value는 각각 5.32 kGy와 1.56 kGy이었고, 곰팡이와 효모의 D_{10} value는 각각 2.54 kGy와 2.14 kGy로 나타났다. 본

연구 결과, 통후추 분말의 경우 Kwon 등(10)과 Calenberg 등(15)의 향신료에 대한 D_{10} value에 비해 높게 나타났고, 시판 선식의 경우에는 유사한 측정 결과를 나타내었다. 미생물의 D_{10} value는 조사 시료의 두께에 의해서 차이가 발생할 수 있고, 또한 시료에 존재하는 초기 미생물의 농도, 시료의 물리 화학적 상태, 매개체의 이화학적 성질, 조사 환경 및 조사 후 저장 조건, 조사 선원 등에 따라 달라진다고 알려져 있다(16). 또한 미생물의 방사선에 의한 감수성이나 저항성이 주변 환경, 특히 수분 활성도에 의해 크게 영향을 받는 것으로 보고 되어 있다(17). 따라서 통후추 분말의 D_{10} value가 높게 측정된 결과는 주변 환경에 의한 미생물의 오염도, 즉 초기 미생물 수, 조사 시료의 물리 화학적 상태, 조사 선원 등이 달라서 나타난 결과로 판단된다(16,18).

본 연구를 통해 통후추 분말과 시판 선식 제품의 미생물 분포와 전자선 조사에 의한 살균 및 방사선 감수성을 확인한 결과, 전자선의 조사로 인해 분말 제품의 미생물학적 안전성의 확보가 가능할 것으로 판단된다.

색도 및 관능 검사

전자선 조사된 시료 및 대조구에 대한 색도를 색차계를 사용하여 Hunter 색차계의 L, a, b 값을 측정된 결과, 전자선 조사된 통후추 분말과 시판 선식의 미생물학적 품질 개선이 가능한 8-12 kGy 범위의 전자선 조사에 따른 색도의 변화는 Jaczynski 등(19)과 Lee 등(20)의 실험 결과와 같이 whiteness, redness, yellowness에 있어서 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 1). 일반적으로 현재 살균 처리에 주로 이용되고 있는 훈증제 처리나 고선량의 감마선 조사는 whiteness를 저하시키거나 yellowness를 증가시키는 것으로 알려져 있다(20-23). 본 연구 결과, 전자선 조사는 훈증제(ethylene oxide) 처리나 고선량의 감마선 조사에 비해 색도의 변화에 있어서 안정한 것으로 확인 되었다. 또한 전자선 조사된 통후추 분말 및 시판 선식의 관능적 품질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 관능 검사를 실시한 결과, 각 조사선량으로 조사된 시료와 대조구 사이의 색, 냄새, 맛, 및 종합적 기호도에 있어서 유의적 차이가 없었다(Table 2).

현재 주요한 살균 처리 기술로 이용되고 있는 훈증제 처리나 고선량의 감마선 처리는 식품 성분의 변화 등이 있는데(3), 본 연구 결과로 볼 때 전자선 조사는 식품 성분의 변화가 없고, 국제적으로 식품에 안전하다고 승인된 전자선 허용 범위인 10 kGy 이하에서 미생물학적 안전성을 보장할 수 있기에 살균 처리에 대한 대체 기술로 전자선 조사의 산업적 이용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 1. Changes in Hunter color values of electron beam irradiated black pepper powder and commercial *Sunsik*

Sample	Color parameter ¹⁾	Irradiation doses (kGy)					
		Control	2	4	8	12	16
Black pepper powder	L	48.476	49.352	48.546	48.454	48.978	50.154
	a	-1.132	-1.296	-1.37	-1.304	-1.38	-1.446
	b	17.748	17.616	17.814	17.836	18.148	18.234
Commercial <i>Sunsik</i>	L	76.994	74.12	74.746	74.208	75.698	75.452
	a	-8.216	-8.036	-7.942	-7.446	-7.548	-7.234
	b	26.73	25.502	26.016	24.9	24.618	24.934

¹⁾L; degree of whiteness (0 black-100 White), a; degree of redness(-80 greenness-100 redness), b; degree of yellowness (-80 blue-70 yellowness).

Table 2. Sensory evaluation of electron beam irradiated black pepper powder and commercial *Sunsik*

	Irradiation does (kGy)	Color	Odor	Taste	Overall acceptability
Black pepper powder	0	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	2	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	4	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	8	4.67±0.52	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	12	4.67±0.52	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	16	4.67±0.52	4.67±0.52	4.67±0.52	4.67±0.52
Commercial <i>Sunsik</i>	0	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	2	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	4	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	8	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	12	4.67±0.52	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	16	4.67±0.52	5.00±0.00	4.67±0.52	4.67±0.52

요 약

전자선 조사가 통후추 분말과 시판 선식의 미생물학적 안전성과 품질에 미치는 영향을 확인하였다. 전자선은 통후추 분말과 시판 선식에 2-16 kGy의 선량으로 각각 조사하였다. 실험 결과 전자선에 의해 통후추 분말과 시판 선식에 오염된 미생물 수가 유의적으로 감소하는 것을 확인 하였다. 통후추 분말과 시판 선식에 존재하는 호기성 세균의 D_{10} value는 각각 5.32 kGy와 1.56 kGy로 나타났고, 곰팡이와 효모의 D_{10} value는 각각 2.54 kGy와 2.14 kGy로 나타났다. 전자선 조사된 시료 및 대조구에 대한 Hunter 색차계의 L, a, b 값을 측정된 결과 큰 변화는 없는 것으로 나타났고, 관능 검사의 경우도 조사된 시료와 대조구와의 유의적 차이는 나타나지 않았다. 따라서 전자선 조사로 인해 통후추 분말과 시판 선식의 미생물학적 안전성과 품질 개선의 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 지원으로 이루어진 것이며 이에 감사를 드립니다.

문 헌

1. Watada AE, Kim SD, Kim KS, Harris TC. Quality of green beans, bell pepper and spinach stored in polyethylene bag. *J. Food Sci.* 52: 1637-1640 (1987)
2. Kwon JH, Byun MW, Cho HO. Quality evaluation of ground garlic and onions treated with chemical fumigants and ionizing radiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 19: 107-112 (1987)
3. Van Calenberg S, Vanhaelewyn G, Van Cleemput O, Callens F, Mondelaers W, Huyghebaert A. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spices. *Lebensm.-Wiss. u. -Technol.* 31: 252-258 (1998)
4. Jongen Y, Abs M, Genin F, Nguyen A, Capdevila JM, Defrise D. The Rhodotron, a new 10 MeV, 100 Kw, cw metric wave electron accelerator. *Nuclear Instru. Meth.* 79: 865-870 (1993)
5. Byun MW. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. and Industry.* 30: 89-100 (1997)
6. Kilcast D. Food irradiation: current problems and future potential. *Int. Biodeterio. Biodegrad.* 36: 279-296 (1996)
7. 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)
8. Lee JE, Kwon OJ, Kwon JH. Effect of electron beam irradiation

- on microbiological and organoleptic qualities of powdered red pepper and ginger. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 380-386 (2000)
9. Lee JE, Lee MH, Kwon JH. Effect of electron beam irradiation on physicochemical qualities of red pepper powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 271-276 (2000)
10. Kwon H, Lee JE, Kim JS, Kwon JH. Effect of electron beam irradiation on the quality of Kochujang powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 655-662 (2000)
11. Lee MK, Kwon JH, Do JH. Effect of electron-beam irradiation on color and organoleptic qualities of ginseng. *J. Ginseng Res.* 22: 252-259 (1998)
12. APHA. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. American Public Health Association, Washington DC, USA (2001)
13. Ministry of Health and Welfare. Food Code. Seoul, Korea. 39: 507-550 (1997)
14. Louise MF, Paul EC, Alistair SG. The effect of electron beam irradiation, combined with acetic acid, on the survival and recovery of *Escherichia coli* and *Lactobacillus curvatus*. *Int. J. Food Microbiol.* 35: 259-265 (1997)
15. Van Calenberg S, Vanhaelewyn G, Van Cleemput O, Callens F, Mondelaers W, Huyghebaert A. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spice. *Lebensm.-Wiss. u. -Technol.* 31: 252-258 (1998)
16. Lee MK, Lee MH, Kwon JH. Sterilizing effect of electron beam on ginseng powders. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 1362-1366 (1998)
17. Ma K, Maxcy RB. Factors influencing radiation resistance of vegetative bacteria and spores associated with radappertization of meat. *J. Food Sci.* 46: 612-616 (1981)
18. Chung SS, Han YS. Consumer's recognition, nutrient composition, and safety evaluation of commercial *Sunsik* and *Saengsik*. *Korean J. Food Culture* 18: 235-243 (2003)
19. Janczynski J, Park JW. Physicochemical properties of surimi seafood as affected by electron beam and heat. *J. Food Sci.* 68: 1626-1630 (2003)
20. Lee JH, Sung TH, Lee KT, Kim MR. Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. *J. Food Sci.* 69: 585-592 (2004)
21. Wetzel K, Huebner G, Baer M. International symposium on food irradiation processing. IAEA/FAO. p. 13. Washington, DC, USA (1985)
22. Lee JE. Effect of electron-beam irradiation on quality attributes of powdered red pepper and ginger. MS thesis, Kyungpook National University, Taegu, Korea (1997)
23. Cho HO, Kwon JH, Byun, MW, Kim YJ, Yang JS. Effect of ethylene oxide fumigation and gamma irradiation on the quality of ground red and black peppers. *Korean J. Food Sci. Technol.* 18: 294-300 (1986)