

Electron Beam 조사가 고추분말의 이화학적 품질에 미치는 영향

이정은 · 이무하* · 권중호

경북대학교 식품공학과, *서울대학교 농업생명과학대학

Effects of Electron Beam Irradiation on Physicochemical Qualities of Red Pepper Powder

Jungeun Lee, Moo-Ha Lee* and Joong-Ho Kwon

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

*College of Agriculture and Life Science, Seoul National University

Abstract

Electron beam (EB) irradiation was compared with gamma ray (GR) in terms of their effects on physicochemical qualities of microbial-decontaminated red pepper powder. The pH and soluble solid of the samples were relatively constant when exposed to EB and GR up to 15 kGy, which also did not induce significant changes in total and reducing sugars. The water soluble pigment and capsanthin content of red pepper powder showed a decreasing tendency as the irradiation dose increased. However, the pungent components, capsaicin and dihydrocapsaicin were shown resistant to irradiation doses applied. Based upon the results, EB was similar to GR in its effect on the physicochemical attributes of the samples, and the irradiation doses required for microbial control were not detrimental to the quality attributes of red pepper powder.

Key words : red pepper powder, physicochemical qualities, electron beam, gamma irradiation

서 론

고추(*Capsicum annum* L.)는 가지과에 속하는 1년생 초본으로서 한국인의 식생활에서 필수적인 향신료로서 대부분이 건조 보관되면서 연중 소비되고 있으며, 식품제조용 및 조미료로서 광범위하게 활용되고 있다^(1,2). 일반적으로 고추의 품질은 주로 외관의 색깔에 의해서 평가되고 있기 때문에 고추의 저장 중 색깔의 변화는 소비자의 기호나 상품가치 측면에서 큰 중요성을 띠고 있다. 또한 고추의 이용 형태는 주로 건조 후 분말화시킨 고춧가루 형태로, 이는 건조 및 제조과정 중 미생물의 오염이 심하여 미생물학적 품질관리에 큰 어려움을 겪고 있다^(3,4).

감마선, 전자선(electron beam)과 같은 전리방사선은 독특한 생물학적 작용을 지니고 있어서 식품에 오염

된 미생물이나 해충을 사멸시키고 생체 식품의 생장을 지연시킬 수 있는 효과적인 저장 기술로 인식되고 있다⁽⁵⁻⁹⁾. 국제적으로 식품조사(food irradiation)에 이용되고 있는 방사선으로는 ⁶⁰Co과 ¹³⁷Cs에서 방출되는 감마선, 전자가속기에서 발생하는 10 MeV 이하의 전자선 및 기계적으로 발생하는 5 MeV 이하의 X선으로 규정되어 있다^(10,11). 방사선 조사식품의 안전성은 관련 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 공식 인정되었고, 조사식품에 대한 Codex 일반 규격이 채택됨으로써 식품의 방사선조사 기술은 한국을 포함한 40여개국에서 230여 품목이 각 국의 보건당국에 의해 허가되어 실용화되고 있다^(10,12). 또한 지금까지 식품조사연구에서는 대부분 감마선을 이용하여 수행되었으나⁽¹³⁻¹⁵⁾, 최근에는 선진국 및 국내에서도 전기적으로 에너지 발생을 조절할 수 있고, 처리속도에 있어서도 장점을 지니고 있는 전자선 이용 연구가 활발히 시도되고 있다⁽¹⁶⁻¹⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 전자선 에너지를 이용한 고추분말의 살균기법 연구의 일환으로, 살균에 필요한 전자선 조사가 고추분말의 품질에 관련된 이화학적 특성에 미치는 영향을 감마선 조사와 비교 평가하였다.

Corresponding author : Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
Tel : 82-53-950-5775
Fax : 82-53-950-6772
E-mail : jhkwon@knu.ac.kr

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 고추(*Capsicum annum* L.) 분말은 시중에 유통되고 있는 분말고추(96년 산 600 g, PE포장)를 사용하였다. 고추분말의 일반성분을 분석해 본 결과, 수분 18.11%, 조단백질 14.64%, 조지방 12.57%, 조회분 5.40%, 탄수화물 49.28% 등으로 나타났다.

살균처리 및 저장

고추분말의 살균에 필요한 전자선 조사는 electron beam processing facility(model ELV-4, 1 MeV, S중공업 중앙연구소)를 이용하여 low density polyethylene bag에 시료두께 4 mm 이하, 가속전류 3.13~9.40 mA, beam dimension 98 cm(length)×7.5 cm(width), table speed 10~20 m/min 등으로 하여 실온에서 0.63 Gy·sec⁻¹의 선량률로 총 흡수선량이 2.5~15 kGy가 되도록 하였으며, 흡수선량은 CTA dosimeter를 사용하여 확인하였다(±3.4%). 또한 감마선 조사는 ⁶⁰Co 감마선 조사시설 (KAERI)을 이용하여 실온에서 일정한 선량률로 2.5~15 kGy 범위의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때 시료의 감마선 조사시 흡수선량의 오차를 줄이기 위하여 원통형 PE 용기(Φ 5×H 8 cm)를 사용하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였다(±5.0%). 이상의 방사선 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 용기에 밀봉하여 실온에서 4개월간 저장하면서 이화학적 품질평가에 사용하였다.

pH 측정

살균처리 직후와 실온에서 4개월간 저장 후 분말시료의 pH 측정은 분말시료 2 g에 80 mL의 증류수(pH 7)를 가하고 상온에서 3시간 추출(200 rpm)한 후 4°C에서 8,000 rpm으로 20분 간 원심분리하여 얻은 상층액을 pH meter(Digital pH/ION meter, Model No. DMP 400)를 사용하여 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

가용성고형분 측정

살균처리 선량별 시료의 가용성고형분 함량은 시험용액 20 mL를 항량을 구한 수기에 취하여 105°C에서 증발 건조시킨 후 그 무게를 측정하였으며, 추출액 조제에 사용된 원료량(건물량)의 백분율로써 고형분 수율(%)을 나타내었다.

총당 및 환원당 정량

고추분말의 전자선 조사 후 총당 함량은 시료 일정량을 25% HCl로 가수분해시킨 다음 Somogyi 변법⁽¹⁹⁾으로 정량하였으며, 환원당 함량은 Somogyi 변법에 따라 실험하고 각각 glucose(%) 함량으로 나타내었다.

수용성색소 측정

고추분말의 수용성색소 측정은 시료 1 g에 80 mL의 증류수(pH 7)를 가하고 상온에서 3시간 추출(200 rpm)한 후 4°C에서 8,000 rpm으로 20분간 원심분리하여 얻은 상층액을 일정량(100 mL)으로 하여 UV-visible spectrophotometer(UV-160 PC, SHIMADZU)를 사용하여 420 nm⁽²⁰⁾에서 흡광도로써 측정하였다.

Capsanthin 측정

고추의 색깔을 나타내는 capsanthin 분석은 Rosebrook 등⁽²¹⁾의 방법에 따라 실시하였다. 즉, 시료 0.1 g을 취하여 100 mL의 삼각플라스크에 넣고 50 mL acetone을 가한 후 상온의 암소에서 30분간 추출(150 rpm), 여과한 후 잔사에 10 mL acetone을 가하여 추출, 여과하였다. 잔사에 동일한 조작을 3회 반복하여 부피를 일정량(100 mL)으로 하여 파장 460 nm에서 acetone을 blank로 하여 흡광도를 측정하였다.

Capsaicin 분석

고추의 매운맛 성분인 capsaicin의 전자선에 대한 안정성을 확인하기 위하여 시료 10 g을 칭량하여 진탕기에서 메탄올을 용매로 하여 추출하였다. 추출물은 진공농축기로 감압 건조하여 hexane 50 mL에 용해시키고 분액깔대기로 옮긴 뒤 80% methanol을 50 mL 가하여 진탕 추출하였다. 이 조작을 3회 반복하고 methanol을 회수하였다. 회수된 methanol은 다른 분액 깔대기에 옮기고 포화식염수 150 mL를 가한 후 dichloromethane을 50 mL씩 3회 가하여 진탕분리하여 정치한후 dichloromethane층을 회수하였다. 회수된 dichloromethane층에 무수황산나트륨을 가하여 탈수, 여과한 후 약 2 mL로 감압건조시킨 다음 gas chromatograph (HP 5890 series II)를 이용하여 분석⁽²⁰⁾하였다. GC 분석조건은 FID detector, BP-10 column, column temp. 150°C에서 250°C까지 5°C/min의 비율로 올린 후 15분 동안 유지하였고, 또한 carrier gas는 nitrogen(flow rate : 1.8 mL/min), injection temp. 280°C, detector temp. 300°C였다. 이때 표준물질은 Sigma사 제품인 8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide (capsaicin)과 8-methyl-N-vanillyl-nonanamide(dihydrocapsaicin)를 사용하였다.

Table 1. Comparative effects of electron beam and gamma ray irradiation on pH of powdered *Capsicum annum* L. during storage at room temperature

Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
		0	2.5	5.0	7.5	10	15
Electron beam	0	4.81	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79
	4	4.77	4.74	4.74	4.73	4.71	4.70
Gamma ray	0	4.81	4.79	4.78	4.78	4.78	4.78
	4	4.77	4.70	4.70	4.70	4.70	4.68

Fig. 1. Comparative effects of electron beam and gamma ray irradiation on soluble solid of powdered *Capsicum annum* L.

저장안정성 시험

고추분말의 위생화를 위한 전자선 및 감마선 조사가 시료의 저장 중 품질변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 밀폐용기에 포장된 시료를 실온에서 4개월간 저장한 다음 처리 직후와 동일하게 상기의 방법으로 pH, 수용성 색소, capsanthin, capsaicin 등에 대하여 3회 반복 실시하였다.

결과 및 고찰

pH와 가용성고형분

살균을 위하여 전자선과 감마선이 조사된 시료의 물 추출물에 대한 pH를 측정해 본 결과, Table 1과 같이 고추분말의 pH는 4.78~4.81 범위로 15 kGy까지의 조사선량에서는 pH에 변화가 나타나지 않았다. 이는 감마선에 의해 살균처리된 식물성 혼합조미료의 pH값이 10 kGy 이하의 조사선량에서는 거의 변화되지 않았다는 Kwon 등⁽²²⁾의 보고와 일치하였다. 또한 동일한 시료를 실온에서 4개월간 저장한 후 모든 시험구에 대한 pH를 측정해 본 결과, 다소 낮아지는 경향을 보여 저장 중 시료의 물리화학적 상태 변화에 따른 유기산

Fig. 2. Comparative effects of electron beam and gamma ray irradiation on the contents of total (A) and reducing sugars (B) of powdered *Capsicum annum* L.

등의 생성이 그 원인으로 생각된다. 이같은 결과는 Byun 등⁽²³⁾의 향신료에 대한 보고와 유사하게 저장기간이 경과할수록 pH가 다소 감소되었다는 보고와 일치하는 경향이었지만, 고추분말의 살균을 위한 7.5 kGy 이하의 전자선 및 감마선 처리구에서 저장기간에 따른 pH의 변화는 아주 미미함을 알 수 있었다.

또한 전자선 및 감마선 조사된 고추 분말의 물 추출물에 대한 가용성고형분 함량을 측정한 결과, Fig. 1에 나타난 바와 같이 전자선 조사구 6.60~6.75% 범위, 감마선 조사구 6.44~6.70% 범위로 15 kGy까지의 방사선 조사는 시료의 고형분 함량에 거의 영향을 미치지 않았다.

Table 2. Comparative effects of electron beam and gamma ray irradiation on soluble pigment of powdered *Capsicum annum* L. during storage at room temperature (unit: O.D. at 420 nm)

Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
		0	2.5	5.0	7.5	10	15
Electron beam	0	0.725	0.676	0.670	0.616	0.597	0.580
	4	0.698	0.659	0.657	0.642	0.628	0.636
Gamma ray	0	0.725	0.683	0.666	0.654	0.653	0.647
	4	0.698	0.677	0.663	0.660	0.655	0.640

Table 3. Comparative effects of electron beam and gamma ray irradiation on capsanthin contents of powdered *Capsicum annum* L. during storage at room temperature (unit: O.D. at 460nm)

Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
		0	2.5	5.0	7.5	10	15
Electron beam	0	0.725	0.683	0.666	0.654	0.653	0.647
	4	0.689	0.677	0.663	0.660	0.655	0.640
Gamma ray	0	0.725	0.676	0.670	0.646	0.641	0.638
	4	0.698	0.659	0.657	0.642	0.628	0.636

Table 4. Comparative effects of electron beam and gamma ray irradiation on the contents of capsaicin and dihydrocapsaicin of powdered *Capsicum annum* L. during storage at room temperature (unit: mg/100 g, d.b.)

Spice	Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
			0	2.5	5.0	7.5	10	15
Capsaicin	Electron beam	0	17.43	17.55	16.40	17.35	17.28	17.54
		4	16.58	18.82	18.36	18.06	17.14	18.64
	Gamma ray	0	17.43	17.05	16.82	17.16	17.37	17.62
		4	16.58	18.14	18.13	17.73	17.73	18.42
Dihydrocapsaicin	Electron beam	0	21.22	21.65	20.21	21.17	21.17	20.44
		4	19.97	22.83	18.26	19.12	20.81	22.50
	Gamma ray	0	21.22	20.39	20.72	21.27	21.60	21.07
		4	19.97	21.97	19.28	20.55	19.59	19.94

총당 및 환원당

방사선 조사된 고추분말의 총당 및 환원당 함량을 측정하여 본 결과는 Fig. 2와 같다. 총당의 함량은 31% 내외로 조사선량과 선량에 따라 차이를 보이지 않았다. 환원당의 함량은 10% 내외의 수준을 보였으며, 10 kGy 이상의 감마선 조사구에서는 다소 증가되는 듯 하였으나 큰 영향은 없었다. 일반적으로 고선량의 방사선 조사는 전분의 저분자화를 초래하여 덱스트린, 맥아당, 포도당 등을 생성시킬 수 있으며, 따라서 당용액의 점도를 감소시키고, 특히 수분의 함량이 높은 상태에서 전분을 조사하면 여러 가지의 당, 알데히드, 케톤, 알콜, 산 및 퍼록사이드들이 생성된다고⁽²⁴⁾ 보고되어 있다. 그러나 살균선량 범위의 5~7 kGy의 전자선 및 감마선 조사는 당함량에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

수용성색소

전자선과 감마선 조사선량별 수용성 색소의 함량을

측정해 본 결과는 Table 2와 같이 처리 직후 조사선량의 증가와 더불어 점차 감소되는 경향을 보였다. 특히 전자선의 경우 5 kGy 이상 조사구에서는 감소가 현저하였으나 감마선 조사구는 이보다 완만하였다. 방사선 조사 후 실온에서 4개월 저장 후에는 조사선량에 따른 차이가 저장초기에 비하여 완만하였다. Byun 등⁽³⁾은 실온에 저장된 건조 통고추의 경우 감마선 조사 직후에는 비조사구와 조사구간에 수용성 색소의 함량에 유의적인 차이가 없었으나 저장기간이 경과함에 따라 모든 시료에서 갈변도가 크게 증가하였다고 보고하여 감마선 조사의 영향보다는 저장조건의 영향이 더 큰 것으로 보고하여 본 실험의 결과와는 상이하였다. 특히 Kim 등⁽²⁰⁾의 연구결과에 의하면 건조고추의 상품성 판단의 지표는 고추의 capsanthin 및 capsaicin의 함량보다는 수용성색소의 평가가 관능적 기호도에 의한 상품성 평가와 더 높은 유의성을 보였다고 하여 살균처리와 저장 중 색택의 변화를 줄일 수 있는 방안이 요구되고 있다.

Capsanthin 함량

고추분말의 외관적 품질은 적색소의 함량, 즉 capsanthin의 함량과 상관관계⁽³⁾를 보여준다. 살균처리를 위한 전자선 조사가 capsanthin 함량에 미치는 영향을 실험해 본 결과, Table 3과 같이 조사선량의 증가와 더불어 다소 감소하는 경향으로 살균선량인 7.5 kGy 조사에서 전자선 조사는 10% 미만, 감마선 조사는 15% 내외의 capsanthin 함량의 감소를 나타내었다. 방사선 조사 후 실온에서 4개월 저장 후 capsanthin 함량의 변화는 전반적으로 다소 감소하였으나 비조사구가 조사구에 비하여 capsanthin의 감소가 큰 것으로 나타났으며, 처리구간의 차이는 크게 감소되어 방사선 조사구에서 보다 안정한 것으로 나타났다. Osuna-garcia 등⁽²⁵⁾은 방사선 조사 후 실온에 저장된 paprika의 경우 저장기간이 증가함에 따라 capsanthin의 감소가 크게 나타나 조사선량에 의한 요인보다 저장기간에 따른 요인이 더 큰 것으로 보고하였다. Chen 등⁽²⁶⁾은 고추가루에 10 kGy의 감마선을 조사하였을 때 capsanthin 함량은 유의적으로 변화하지 않았다고 하였으며, Farkas 등⁽²⁷⁾은 ground paprika의 carotenoid계 색소는 시료의 살균선량에서는 거의 변화되지 않았다고 보고한 바 있어 본 실험의 결과와 다소 상이하였다. 또한 감마선 조사구가 전자선 조사구에 비해 조사선량의 증가와 더불어 capsanthin의 감소가 현저하게 나타났다. Odake 등⁽²⁸⁾은 분말식품착색료의 색소변화는 전자선 조사선량의 증가에 따라 감소하였다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사한 경향이었으며, 전자선의 경우 감마선과 동일한 살균효과를 얻기 위해서는 감마선보다 20~30% 높은 선량을 조사할 필요가 있으나, 이 때의 품질저하는 감마선과 같거나 그 이하가 되므로 전자선을 이용하는 별도의 기술적 불이익은 없다고 하였다.

Capsaicin 함량

Capsaicin과 dihydrocapsaicin은 capsaicinoid에 속하는 고추의 매운맛 성분으로 이들 외에도 nordihydrocapsaicin 및 homocapsaicin 등이 있다. Capsaicin과 dihydrocapsaicin은 다른 유사물질에 비하여 2배 정도의 매운맛이 있다고 알려져 있다^(29,30). 전자선 조사된 고추분말의 매운맛 성분의 변화를 알아보기 위하여 capsaicin과 dihydrocapsaicin을 GC로 분석한 결과는 Table 4와 같다. 각 시료의 capsaicin과 dihydrocapsaicin 함량은 방사선 조사선량에 따라 감소가 완만하게 나타났다. 즉, capsaicin과 dihydrocapsaicin은 각각 13.44~14.28 mg%와 16.56~17.58 mg% 범위로서 처리구간의 함량 차이는 거의 없었다. 그리고 방사선 조사

후 실온에서 4개월 저장 후 조사선량에 따른 차이는 크지 않았으며, 특히 조사구에 비해 무처리 대조구에서 매운맛 성분의 감소가 유의적으로 나타났다. Byun 등⁽³⁾은 건고추의 capsaicin은 dihydrocapsaicin보다 안정하며, 이들 성분은 감마선 조사에 대하여 안정한 것으로 보고하여 본 실험의 결과와 유사한 경향이었다. 또한 고추분말에 대하여 Lee 등⁽³¹⁾은 10 kGy까지의 감마선 조사는 대조구와 유의적인 함량 변화를 나타내지 않았다는 보고하였으나, Kwon 등⁽³²⁾은 조사선량의 증가와 더불어 3~15%의 감소율을 나타내었다고 보고하여 시료의 살균 처리시 환경조건, 선량률 등에 따른 영향이 어느 정도 작용하는 것으로 사료되었다.

이상의 결과에서 볼 때 고추분말의 미생물학적 품질개선이 가능한 5~7.5 kGy 범위의 전자선 조사는 시료의 pH, 가용성 고형분, 당 및 capsaicin 함량에 영향을 미치지 않았으나, 수용성색소와 적색소 capsanthin 함량을 다소 감소시키는 것으로 확인되었으며, 이 같은 경향은 감마선조사와 거의 유사하였다.

요 약

전자선 조사기법을 이용하여 고추분말의 살균방법을 연구하면서 살균이 가능한 조사선량이 고춧가루의 품질에 관련된 이화학적 특성에 미치는 영향을 감마선 조사와 비교하였다. 전자선 및 감마선 조사된 시료의 pH와 가용성 고형분은 조사선량 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 시료의 총당과 환원당 함량은 살균선량에서 변화가 없었다. 고추분말의 수용성색소와 capsanthin 함량은 조사선량의 증가와 더불어 감소하는 경향이었다. 그러나 고추의 매운맛 성분인 capsaicin과 dihydrocapsaicin 함량은 방사선 조사에 비교적 안정하여 15 kGy까지도 거의 변화가 없었다. 이상의 결과에서 전자선은 감마선과 시료의 이화학적 특성에 미치는 영향이 유사하였다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 지원으로 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사 드립니다.

문 헌

1. Kim, H.K., Jo, K.S., Park, M.H., Chang, Y.S. and Shin, Z.I. Comparison of sorption characteristics of red

- pepper powders with their seeds mixing ratio. Korean J. Food Sci. Technol. 22: 817-823 (1990)
2. Hawer, W.S., Ha, J., Hwang, J. and Nam, Y. Effective separation and quantitative analysis of major heat principles in red pepper by capillary gas chromatography. Food Chem. 49: 99-104 (1994)
 3. Byun, M.W., Yook, H.S., Kwon, J.H. and Kim, J.O. Improvement of hygienic quality and long-term storage of dried red pepper by gamma irradiation. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 482-489 (1996)
 4. Kwon, J.H., Byun, M.W., Cho, H.O. and Han, B.H. 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 (1994)
 5. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. Quality evaluation of groundgarlic and onions treated with chemical fumigants and ionizing radiation. Korean J. Food Sci. Technol. 19: 107-112 (1987)
 6. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. Effect of gamma irradiation on the sterilization of red pepper powder. J. Korean Soc. Food Nutr. 26: 188-192 (1984)
 7. Kwon, J.H. Advances in food irradiation and its potential roles in Korea. Journal of Food Hygiene and Safety. 17: 311-318 (1985)
 8. Kwon, J.H., Kim, S.W., Byun, M.W., Cho, H.O. and Lee, G.D. Determination of ethylene oxide residue and its secondary products in powdered food. Journal of Food Hygiene and Safety. 9: 43-48 (1994)
 9. Kwon, J.H., Byun, M.W., Lee, S.J. and Chung, H.W. Biological quality and storage characteristics of gamma-irradiated white ginseng. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 28: 40-46 (1999)
 10. WHO. Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Technical Report Series-659, p.34 (1981)
 11. Codex Alimentarius Commission. 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 (1984)
 12. IAEA. Clearance of item by name. Food Irradiation Newsletter, 20, Supplement-2 (1996)
 13. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiation food in Korea. Radioisotopes. 41: 654-662 (1992)
 14. Josephson, E.S. and Peterson, M.S. Preservation of Food by Ionizing Radiation, Vol. I-III, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida (1983)
 15. KMHW. Korean Food Standard Code. The Korean Ministry of Health and Welfare, pp. 101, pp. 389-416 (1999)
 16. Ito, H. and Islam, S. Effect of dose rate on inactivation of microorganisms in spices by electron-beams and gamma-rays irradiation. Radiat. Phys. Chem. 43: 545-550 (1994)
 17. Lee, M.K., Lee, M.H. and Kwon, J.H. Sterilizing effect of electron beam on ginseng powders. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 1362-1366 (1998)
 18. Lee, J.E. Effect of Electron-beam irradiation on quality attributes of powdered red pepper and ginger. M.S. thesis, Kyungpook National University, Taegu, Korea (1997)
 19. Kobayashi, T. and Tabuchi, T. A method employing a tribasic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicroquantities of reducing sugars. J. Agric. Chem. Soc. Japan. 28: 171-174 (1954)
 20. Kim, H.K. A study on the shelf-life and storage condition improvement of red pepper powder. Korea Food Research Institute, Songnam, Korea, I, 1029-0150 (1991)
 21. Rosebrook, D.D., Bolze, C.C. and Barney, J. E. Improved method for determination of extractable color in Capsicum spices. J. A.O.A.C. 51: 637-641 (1968)
 22. Kwon, J.H., Byun, M.W. Cha, B.S., Yang, J.S. and Cho, H.O. Improvement of hygienic quality of vegetable mixed condiments using gamma-irradiation. Kor. J. Food Hygiene. 3: 233-239 (1988)
 23. Byun, M.W., Kwon, J.H. and Cho, H.O. Sterilization and storage of spices by irradiation. Korean J. Food Sci. Technol. 15: 359-363 (1987)
 24. WHO. Review of the safety and nutritional adequacy of irradiated food. Report of a joint WHO/HPP/FOS expert committee (1994)
 25. Osuna-garcia, J.A., Wall, M.M. and Waddell, C.A. Natural antioxidants for preventing color loss in stored paprika. J. Food Sci. 62: 1017-1021 (1997)
 26. Chen, S.L. and Gutmanis, F. Auto-oxidation of extractable color pigments in Chili pepper with special reference to ethoxyquin treatment. J. Food Sci. 33: 274-279 (1968)
 27. Farkas, J. and Beczner, K. Radiation Preservation of Food, IAEA-SM-166/66, p.389 (1973)
 28. Odake, K., Hatanaka, A., Kajiwarra, T., Higashimura, Y., Wada, S. and Ishihara, M. Application of electron beam irradiation to powdered natural food colorants. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 40: 697-701 (1993)
 29. Hoffman, P.G., Mary, C.L. and William, G.G. Separation and quantitation of red pepper major heat principles by reserve-phase high pressure liquid chromatography. J. Agric. Food Chem. 31: 1326-1330 (1983)
 30. Connell, D.W. The pungent principles of ginger and their importance in certain ginger products. Food Technol Austral. 21: 570-576 (1969)
 31. Lee, S.H., Lee, H.J. and Byun, M.W. 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)